

El microbioma de los insectos al descubierto: su importancia marca la diferencia

The insects' microbiome exposed: its importance makes the difference

Stephany Rodríguez-González

stephany1694@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-6831-9076>

Zenón Cano-Santana

zcs@ciencias.unam.mx

<https://orcid.org/0000-0003-4860-6696>

Universidad Nacional Autónoma de México

Recibido: 14 de septiembre de 2023.

Aceptado: 25 de octubre de 2023.

Publicado: 5 de enero de 2024.

<https://doi.org/10.29057/h.v6i1.11564>

Fondo creado por: Vecstock en Freepik.com

Resumen

Los insectos tienen interacciones con microorganismos benéficos o perjudiciales que viven en su cuerpo y conforman su microbioma (bacterias, hongos, protistas, virus y arqueas). Este puede influir en el comportamiento y desarrollo de los hexápodos, ya que pueden moldearlo al ingerir alimentos con microorganismos beneficiosos, lo cual desempeña un papel crucial en la evolución de estos animales al interactuar con su genoma y afectar su adaptabilidad. Tiene un gran potencial en aplicaciones prácticas, como la agricultura, la salud animal y la biotecnología con el uso de la paratransgénesis como una nueva forma de controlar las poblaciones de insectos o su capacidad para transmitir enfermedades. Además, pueden intervenir en los procesos de tolerancia o resistencia a los insecticidas.

Palabras clave: Bacterias, hongos, paratransgénesis, protistas heterotróficos, virus.

Abstract

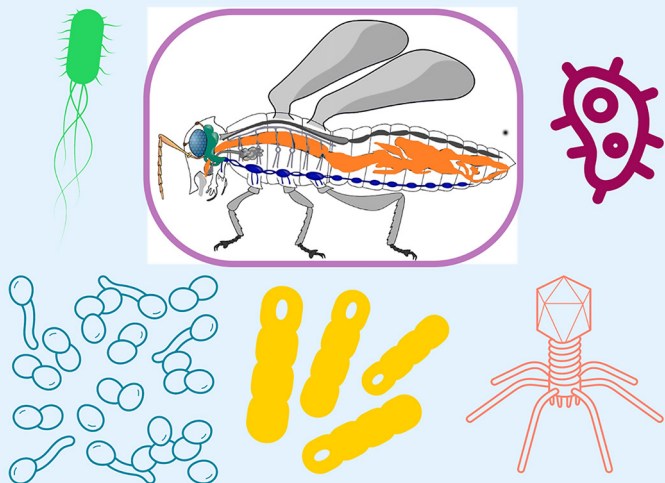
Insects have interactions with beneficial or harmful microorganisms that live in their body and make up their microbiome (bacteria, fungi, protists, viruses, and archaea). This can influence the behavior and development of hexapods, since they can shape it by ingesting foods with beneficial microorganisms, which plays a crucial role in the evolution of these animals by interacting with their genome and affecting their adaptability. It has great potential in practical applications, such as agriculture, animal health and biotechnology with the use of paratransgenesis as a new way to control insect populations or their ability to transmit diseases. In addition, it can intervene in the processes of tolerance or resistance to insecticides.

Keywords: Bacteria, fungi, paratransgenesis, heterotrophic protists, viruses.

Introducción

Los insectos son un grupo diverso y abundante con numerosos estilos de vida. Una de las claves de su éxito son las interacciones que mantienen con microorganismos que viven en su cuerpo. Un microbioma es el conjunto de microorganismos, genes y metabolitos que se encuentran en el cuerpo de un animal, sobre todo en su tracto digestivo y su sistema circulatorio (Morgan-Richards *et al.*, 2023). En particular, el microbioma de los insectos (MBI) incluye arqueas (López-Reyes *et al.*, 2022), bacterias, hongos, protistas heterótrofos y virus, dichas asociaciones pueden ser benéficas o perjudiciales para su huésped (Gurung *et al.*, 2019). Dicho microbioma cumple diversas funciones, como: la absorción de nutrientes, la regulación inmunitaria, el metabolismo

Microbioma



El microbioma de los insectos está conformado por arqueas, bacterias, hongos, protistas heterótrofos y virus, se encuentra principalmente en el tracto digestivo y en la hemolinfa del insecto.

Ilustración: Stephany Rodríguez-González.

energético, el desarrollo reproductivo, el comportamiento y, la emisión de señales hormonales y bioquímicas para retrasar o impedir la metamorfosis (Lewis y Lizé, 2015; Morgan-Richards *et al.*, 2023; Xiao *et al.*, 2023).

En este trabajo se revisa la relación entre los insectos y sus microbiomas, en el que se destacan los efectos sobre la nutrición, la protección contra patógenos, la comunicación, el desarrollo, la adaptación ambiental y el comportamiento de los insectos. Además, se abordan las implicaciones de esta relación para la ecología y la conservación de los insectos, así como para la investigación y el desarrollo de aplicaciones biotecnológicas.

Composición del microbioma de los insectos

Los microorganismos pueden estar de manera permanente o transitoria en el cuerpo de los insectos (Gurung *et al.*, 2019). Las bacterias pueden encontrarse en el intestino o migrar a través de la hemolinfa hacia diferentes partes del cuerpo; sin embargo, en la hemolinfa son poco diversas y se limitan principalmente al género *Spiroplasma* y a la familia Enterobacteriaceae, mientras que en el intestino se incluyen alfa, beta y gammaproteobacterias (*Pseudomonas*), actinobacterias, Actinomycetes, Bacteroidetes, Clostridia, Firmicutes (*Lactobacillus* y *Bacillus*), Spirochetes y Verrucomicrobias (Blow y Douglas, 2019; Engel y Moran, 2013). Otros organismos que se encuentran en el intestino de los insectos, especialmente los que se alimentan de madera o detritos, son los hongos (Gupta y Nair, 2020). Algunos géneros de hongos asociados con insectos son: *Aspergillus*, *Beauveria*, *Candida*, *Debaryomyces*, *Hanseniaspora*, *Kluyveromyces*, *Saccharomyces*, *Metschnikowia* y *Pichia*, a pesar de que algunas especies de estos géneros son entomopatógenas, otras se han encontrado en el sistema digestivo de los insectos (Gurung *et al.*, 2019; Ruiz-Barrionuevo *et al.*, 2022).

Otro componente son algunos virus, los cuales pueden tener efectos benéficos en su huésped en interacciones mutualistas (Gurung *et al.*, 2019). Los virus que se han asociado comúnmente con insectos pertenecen a las familias Ascoviridae, Baculoviridae, Bunyaviridae, Flaviviridae, Parvoviridae, Rhabdoviridae y Togaviridae (Jupatanakul *et al.*, 2014).

Por último, los protistas heterótrofos también se pueden encontrar en el microbioma, un ejemplo es el caso de las termitas que albergan protistas intestinales de los órdenes Trichomonadida, Hypermastigida y Oxymonada, involucrados en la degradación de la materia vegetal seca (Liu *et al.*, 2023).

Funciones del microbioma en los insectos

En el Cuadro 1 se muestran diferentes grupos de insectos hospederos y algunos ejemplos de los microorganismos que forman parte de su microbioma y el efecto que tienen sobre ellos. En él se destaca la complejidad de las interacciones entre el hospedero y su microbioma y se observa que, en la mayoría de los casos, la interacción que hay es benéfica, ya que proporcionan protección contra patógenos, ayudan en la defensa contra parasitoides, proveen nutrientes esenciales para el hospedero y favorecen el desarrollo del insecto. En particular, el MBI actúa como un modulador clave de sus diferentes estilos de vida en términos de dieta y nichos ecológicos (Gupta y Nair, 2020).

Insectos huésped	Microorganismos del microbioma	Efecto sobre el insecto	Cita
Abeja mielera europea <i>Apis mellifera</i> (Hymenoptera: Apidae)	Bacteria <i>Snodgrassella alvi</i>	Protección contra patógenos.	Elston <i>et al.</i> (2022)
Avispas parasitoides (Hymenoptera: Ichneumonidae y Braconidae)	Virus de la familia Polydnaviriformidae (=Polydnaviridae)	Supresión de la defensa inmunitaria de los huéspedes de las avispas.	Gurung <i>et al.</i> (2019)
Chicharritas (Hemiptera: Cicadellidae)	Bacterias <i>Pantoea agglomerans</i> y <i>Candidatus Sulcia muelleri</i>	Provisión de nutrientes.	Gurung <i>et al.</i> (2019)
Escarabajos <i>Hydromedion sparsutum</i> y <i>Perimylops antarcticus</i> (Coleoptera: Perimylopidae)	Bacterias <i>Pseudomonas</i> spp.	Tolerancia al frío.	Morgan-Richards <i>et al.</i> (2023)
Mosca de la fruta <i>Drosophila melanogaster</i> (Diptera: Drosophilidae)	Bacterias <i>Spiroplasma</i> spp.	Protección contra parásitos y parasitoides.	Blow y Douglas (2019)
Mosca del olivo <i>Bactrocera oleae</i> (Diptera: Tephritidae)	Bacteria <i>Candidatus Erwinia daciicola</i>	Provisión de aminoácidos esenciales.	Gurung <i>et al.</i> (2019)
Moscas tsé-tsé <i>Glossina</i> spp. (Diptera: Glossinidae)	Bacterias <i>Sodalis glossinidius</i> y <i>Wigglesworthia glossinidia</i>	Promueven el adecuado desarrollo de las larvas para que las moscas adultas no tengan malformaciones ante la presencia de tripanosomas, un protozoario parásito.	Engel y Moran (2013)
Mosquitos (Diptera: Culicidae)	Bacterias <i>Asaia</i> spp. y <i>Wolbachia</i> spp.	Protección contra patógenos y virus. Aprovisionamiento nutricional.	Elston <i>et al.</i> (2022)
Pulgones (Hemiptera: Aphididae)	Bacterias <i>Buchnera aphidicola</i> y <i>Hamiltonella defensa</i>	Provisión de aminoácidos y vitaminas. Defensa contra parasitoides.	Engel y Moran (2013)

Cuadro 1. Ejemplos de microorganismos benéficos (es decir, mutualistas) que conforman el microbioma de diferentes tipos de insectos y sus efectos sobre estos.

Las bacterias intestinales mejoran la digestión de los alimentos al descomponer la celulosa y aumentar la absorción de nutrientes, lo que incrementa la gama de fuentes de alimentos y las tasas de crecimiento de los huéspedes (Morgan-Richards *et al.*, 2023). La mediación entre insectos y microorganismos es crítica en la descomposición de la biomasa vegetal y el ciclo del carbono, así como en las tasas de fijación de nitrógeno (Engel y Moran, 2013). Además, están involucrados en el almacenamiento de grasa, la producción de aminoácidos esenciales y la protección contra patógenos, lo que mejora la respuesta inmune del huésped (Gurung *et al.*, 2019; Morgan *et al.*, 2023). Las bacterias también contribuyen a la comunicación entre miembros de esta y de distintas especies, brindan protección contra enemigos naturales y gobiernan los sistemas reproductivos y de apareamiento (Engel y Moran, 2013).

Gurung *et al.* (2019) mencionan que los hongos (incluyendo mohos y levaduras) también contribuyen a la provisión de nutrientes y a la regulación de las defensas del huésped y, que las levaduras están involucradas en las rutas metabólicas de aminoácidos y ácidos grasos, y la ausencia de estas puede conducir a una metamorfosis incompleta.

Por otra parte, se ha demostrado que virus específicos de insectos suprimen o mejoran la transmisión de virus médicamente importantes, lo cual puede afectar el desarrollo óptimo y la supervivencia de los propios insectos (Gurung *et al.*, 2019). Por el contrario, los virus simbióticos también pueden evitar la acción de los parasitoides o influir en la resistencia a los insecticidas, lo cual obstaculiza las estrategias de control de plagas (Gurung *et al.*, 2019; Roossinck, 2015). Además, pueden inducir cambios en el comportamiento del huésped, como la alteración de su respuesta a las feromonas sexuales, lo que también puede hacer que sea menos atractivo para los insectos parasitoides que los atacan (Lee *et al.*, 2009).

Por otro lado, el MBI juega un papel importante en la regulación del comportamiento de apareamiento y oviposición de los artrópodos (Gupta y Nair, 2020). Por ejemplo, pueden determinar si un individuo es seleccionado como adecuado para el apareamiento (Jordan y Tomberlin, 2021). Se ha encontrado que las bacterias rectales asociadas con el macho de la mosca oriental de la fruta, *Bactrocera dorsalis*, producen feromonas sexuales que atraen a las hembras vírgenes (Ren *et al.*, 2021). También la bacteria *Citrobacter* que es clave en la nutrición de larvas y adultos de la mosca oriental puede propagarse a nuevos hábitats al atraer la oviposición a sitios específicos (He *et al.*, 2022).

Adicionalmente, varios grupos de bacterias endosimbiontes transmitidas de madre a hijos, como *Spiroplasma* y *Wolbachia*, están involucrados en la determinación del sexo en algunos insectos y pueden inducir aberraciones sexuales (Gupta y Nair, 2020). Por ejemplo, en la chicharrita, *Zyginidia pullula*, la bacteria *Wolbachia pipientis* tiene un efecto feminizante en machos, que ocurre debido a que la bacteria reduce la producción de la hormona juvenil, que es esencial para el desarrollo normal de los machos (Negri *et al.*, 2006). Las bacterias del género *Cardinium*, por su parte, pueden inducir partenogénesis en machos haploides de ácaros *Brevipalpus* y transformar a machos diploides en hembras partenogénicas en avispas Braconidae mediante



la manipulación de la expresión génica del huésped (Kageyama *et al.*, 2012).

Además, ciertos microorganismos facilitan la congelación controlada, ya que les permite sobrevivir en condiciones de frío extremo; por ejemplo, en el caso de la cucaracha alpina (*Celatoblatta quinque maculata*), las bacterias Blattabacteriaceae que albergan en su cuerpo le permiten sobrevivir en ambientes de alta montaña al producir proteínas que previenen la cristalización del agua (Morgan-Richards *et al.*, 2023).

Factores que modifican el microbioma en los insectos

El MBI es altamente dinámico en términos de su estructura, función y composición, ya que experimenta altas presiones evolutivas (Gupta y Nair, 2020). Los insectos pueden moldear su microbiota intestinal al ingerir alimentos que contienen microbios benéficos (Muñoz-Benavent *et al.*, 2021). Asimismo, la colonización microbiana depende de las condiciones en los diferentes compartimentos intestinales, y estos pueden mostrar variaciones extremas tanto en el pH, en la disponibilidad de oxígeno y en el potencial redox (Engel y Moran, 2013). Adicionalmente, el ambiente influye en la composición de la comunidad microbiana y la abundancia de sus miembros. Xiao *et al.* (2023) encontraron que las altas temperaturas, los antibióticos y los insecticidas pueden inhibir la cantidad de bacterias; no obstante, discuten que la genética del huésped parece ser un determinante mucho más vital.

Otros factores que afectan el MBI son el estado nutricional del huésped, la estación del año, la inoculación de la descendencia

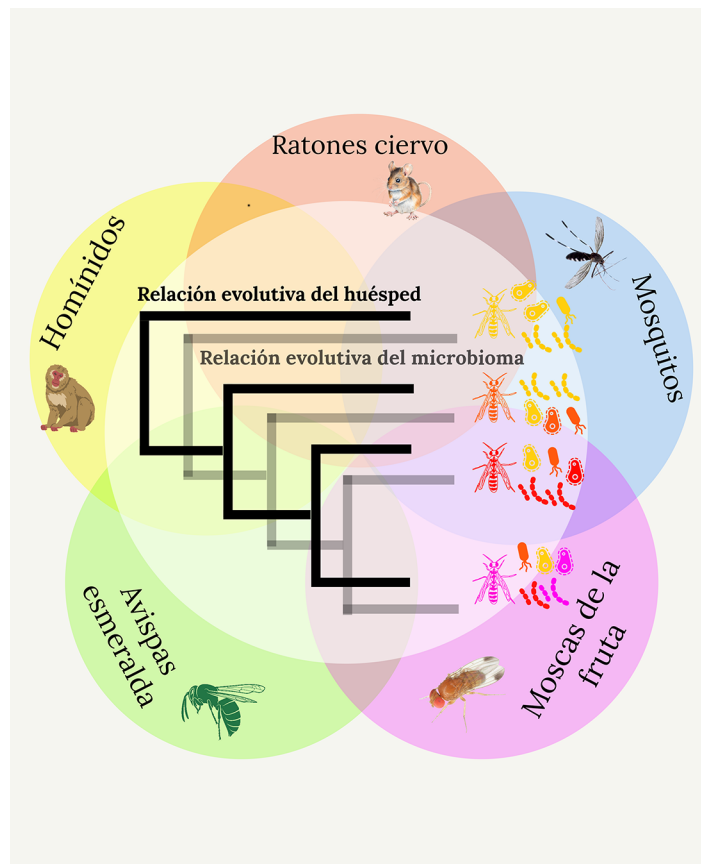
por parte de las hembras y el sistema inmunitario innato (Engel y Moran, 2013; Blow y Douglas, 2019). Por ejemplo, durante el desarrollo larvario, los insectos mudan numerosas veces, lo que interrumpe o elimina las poblaciones bacterianas adheridas (Ferguson *et al.*, 2018).

Finalmente, los virus, helmintos y protistas heterótrofos que residen en el intestino también pueden alterar la composición del microbioma, lo que puede tener importantes efectos posteriores sobre la inmunidad del huésped y el bienestar intestinal (Gurung *et al.*, 2019).

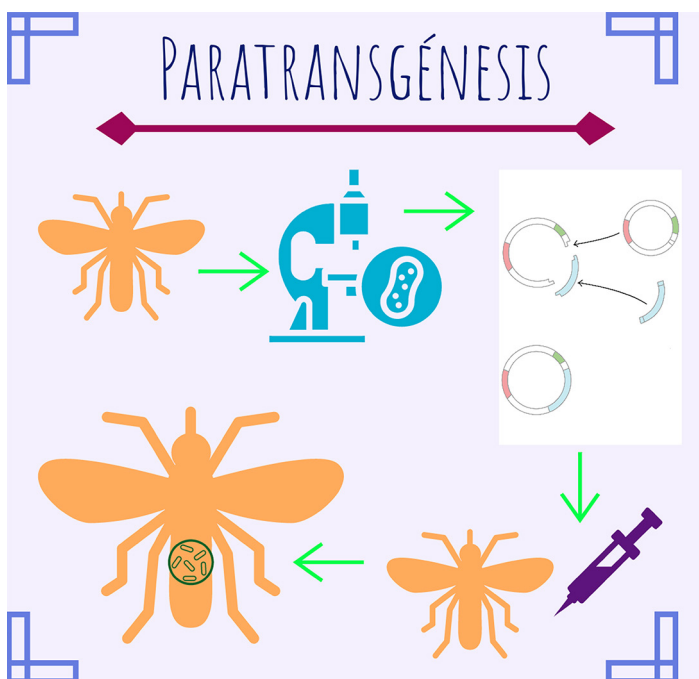
Papel del microbioma en la evolución de los insectos

Elston *et al.* (2022) discuten que los insectos, por su flexibilidad genómica, pueden adaptarse rápidamente a sobrevivir en condiciones adversas a través de cambios en el tamaño y composición de su genoma. Además, debido al gran tamaño de sus poblaciones, cualquier variación benéfica se fija rápidamente. Ellos encuentran que los genomas de las bacterias endosimbióticas de los insectos llevan firmas que representan su posición filogenética y revelan el tipo de estilo de vida al que se ha adaptado. Además, las bacterias presentes en el intestino de los insectos tienen un genoma altamente reducido debido a la pérdida de genes, lo que indica una alta dependencia del huésped (Muñoz-Benavent *et al.*, 2021).

A pesar de que se ha demostrado que algunos insectos tienen un estilo de vida libre de simbiontes microbianos, también hay evidencia que sugiere lo contrario, donde el microbioma es esencial para el bienestar de los insectos. EL MBI desempeña un papel crucial en la evolución de los insectos al interactuar con su genoma y afectar su adaptabilidad.



En un estudio se analizaron el microbioma de 24 especies de cuatro grupos diferentes y se comparó su composición con el grado de parentesco evolutivo. Se descubrió que las especies más relacionadas evolutivamente tenían microbiotas similares, mientras que las más distantes tenían microbiotas diferentes. Por lo tanto, ha habido una selección para mantener interacciones específicas entre el huésped y su microbioma a lo largo del tiempo. **Ilustración:** Andrew Brooks en Richardson (2017), modificada por Stephany Rodríguez-González.



Paratransgénesis

La paratransgénesis es una técnica que utiliza el microbioma nativo del insecto manipulado genéticamente. Ratcliffe y colaboradores (2022); Elston *et al.* (2022) señalan que esta técnica es muy útil para encontrar nuevas formas de controlar las poblaciones de insectos que son plagas agrícolas o que transmiten enfermedades, y que tiene la ventaja de que los microorganismos transformados pueden colonizar diferentes especies de insectos y su producción en grandes cantidades es muy sencilla. De esta manera, el microorganismo transformado se multiplica en el insecto y puede transmitirse entre miembros de la misma especie o a través de madre a hijos. Idealmente, el microorganismo debe colonizar todos los estadios del desarrollo del insecto a lo largo del ciclo de vida y no ser patógeno para humanos y animales. En contraste, la técnica tiene como desventajas: (1) la posibilidad de que los microorganismos puedan ser adquiridos por especies de insectos no objetivo; (2) muchas bacterias son difíciles o imposibles de cultivar de forma aislada, y (3) se corre el riesgo de alterar las interacciones normales de los microorganismos con sus insectos huésped. Ratcliffe *et al.* (2022), por su parte, recomiendan que se hagan evaluaciones de riesgos ambientales y que se minimicen los riesgos de transmisión genética a los genomas de otros organismos.


La paratransgénesis es una técnica que utiliza el microbioma nativo del insecto manipulado genéticamente.
Ilustración: Stephany Rodríguez-González.

Conclusiones

El MBI es un campo fascinante de estudio, que revela la existencia de una variedad asombrosa de especies y funciones. A medida que se profundiza en la investigación, se han descubierto nuevas relaciones entre los insectos y otros artrópodos con los microorganismos que albergan en sus cuerpos, y se ha evidenciado la importancia crítica en procesos biológicos clave, como la digestión, el sistema inmunológico, la reproducción y el comportamiento. Además, el manejo del MBI tiene un gran potencial en aplicaciones prácticas, como la agricultura (control de plagas), la salud animal y la biotecnología. La comprensión de estas relaciones y aplicaciones solo aumentará a medida que continúen las investigaciones en este fértil campo. Todavía queda mucho por conocer sobre el MBI, especialmente en lo que respecta a su impacto en los ecosistemas.

En general, queda claro que el MBI es un tema con múltiples ramas de investigación y en constante evolución, que ofrece un sinfín de posibilidades para nuevos descubrimientos y aplicaciones prácticas en el futuro.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo técnico del M. en C. Iván Castellanos Vargas a ZC-S. Stephany Rodríguez-González goza de una beca doctoral otorgada por el CONAHCYT con el número 959368. 

Referencias

- Blow, F. y Douglas, A. E. (2019). The hemolymph microbiome of insects. *Journal of Insect Physiology*, 115, 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2019.04.002>
- Elston, K. M., Leonard, S. P., Geng, P., Bialik, S. B., Robinson, E. y Barrick, J. E. (2022). Engineering insects from the endosymbiont out. *Trends in Microbiology*, 30 (1), 79-96. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2021.05.004>
- Engel, P. y Moran, N. A. (2013). The gut microbiota of insects—diversity in structure and function. *FEMS Microbiology Reviews*, 37 (5), 699-735. <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12025>
- Ferguson, L. V., Dhakal, P., Lebenzon, J. E., Heinrichs, D. E., Bucking, C. y Sinclair, B. J. (2018). Seasonal shifts in the insect gut microbiome are concurrent with changes in cold tolerance and immunity. *Functional Ecology*, 32 (10), 2357-2368. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13153>
- Gurung, K., Wertheim, B. y Falcao-Salles, J. (2019). The microbiome of pest insects: it is not just bacteria. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 167 (3), 156-170. <https://doi.org/10.1111/eea.12768>
- Gupta, A. y Nair, S. (2020). Dynamics of insect–microbiome interaction influence host and microbial symbiont. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1357. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01357>
- He, M., Chen, H., Yang, X., Gao, Y., Lu, Y. y Cheng, D. (2022). Gut bacteria induce oviposition preference through ovipositor recognition in fruit fly. *Communications Biology*, 5 (1), 973. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03947-z>
- Jordan, H. R. y Tomberlin, J. K. (2021). Microbial influence on reproduction, conversion, and growth of mass-produced insects. *Current Opinion in Insect Science*, 48, 57-63. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.10.001>
- Jupatanakul, N., Sim, S. y Dimopoulos, G. (2014). The insect microbiome modulates vector competence for arboviruses. *Viruses*, 6 (11), 4294-4313. <https://doi.org/10.3390/v6114294>
- Kageyama, D., Narita, S. y Watanabe, M. (2012). Insect sex determination manipulated by their endosymbionts: incidences, mechanisms and implications. *Insects*, 3 (1), 161-199. <https://doi.org/10.3390/insects3010161>
- Lee, M., Kalamarz, M., Paddibhatla, I., Small, C., Rajwani, R. y Govind, S. (2009). Virulence factors and strategies of *Leptopilina* spp.: selective responses in *Drosophila* hosts. *Advances in Parasitology*, 70, 123-145. [https://doi.org/10.1016/S0065-308X\(09\)70005-3](https://doi.org/10.1016/S0065-308X(09)70005-3)
- Lewis, Z. y Lizé, A. (2015). Insect behaviour and the microbiome. *Current Opinion in Insect Science*, 9, 86-90. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2015.03.003>
- Liu, X., Floate, K. D., Gorzelak, M. A., Holman, D. B., Hrycauk, S., Kubota, H., Lupwayi, N., Neilson, J., Ortega, R., Petri, R., Tran, L., Wang, H., Wilches, D., Yang, X., Zorz, J. y Guarna, M. (2023). Prairie agroecosystems: interconnected microbiomes of livestock, soil and insects. *Agriculture*, 13 (2), 326. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020326>
- López-Reyes, N., Ábrego-García, A. y Poggi-Valardo, H. (2022). Mecanismos de inhibición de la metanogénesis con lovastatina y análisis de la expresión génica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 58-67. <https://doi.org/10.20937/RICA.54357>
- Morgan-Richards, M., Marshall, C. J., Biggs, P. J. y Trewick, S. A. (2023). Insect freeze-tolerance downunder: the microbial connection. *Insects*, 14 (1), 89. <https://doi.org/10.3390/insects14010089>
- Muñoz-Benavent, M., Pérez-Cobas, A. E., García-Ferris, C., Moya, A. y Latorre, A. (2021). Insects' potential: understanding the functional role of their gut microbiome. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 194, 113787. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2020.113787>
- Negri, I., Pellicchia, M., Mazzoglio, P., Patetta, A. y Alma, A. (2006). Feminizing *Wolbachia* in *Zyginidia pullula* (Insecta, Hemiptera), a leafhopper with an XX/X0 sex-determination system. *Proceedings: Biological Sciences*, 273 (1599), 2409-2416. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3592>
- Ratcliffe, N. A., Furtado-Pacheco, J. P., Dyson, P., Castro, H. C., González, M. S., Azambuja, P. y Mello, C. B. (2022). Overview of paratransgenesis as a strategy to control pathogen transmission by insect vectors. *Parasites & Vectors*, 15 (1), 112. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-05132-3>
- Ren, L., Ma, Y., Xie, M., Lu, Y. y Cheng, D. (2021). Rectal bacteria produce sex pheromones in the male oriental fruit fly. *Current Biology*, 31 (10), 2220-2226. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.02.046>
- Richardson, L. A. (2017). Evolving as a holobiont. *PLoS Biology*, 15 (2), e2002168. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2002168>
- Roossinck, M. (2015). Move over, bacteria! Viruses make their mark as mutualistic microbial symbionts. *Journal of Virology*, 89 (13), 6532-6535. <https://doi.org/10.1128/jvi.02974-14>
- Ruiz-Barrionuevo, J. M., Vilanova-Cuevas, B., Alvarez, A., Martín, E., Malizia, A., Galindo-Cardona, A., Cristóbal, R., Occhionero, M., Chalup, A., Monmany-Garzia, A. y Godoy-Vitorino, F. (2022). The bacterial and fungal gut microbiota of the greater wax moth, *Galleria mellonella* L. consuming polyethylene and polystyrene. *Frontiers in Microbiology*, 13, 918861. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.918861>
- Xiao, Q., Wang, L., Chen, S. Q., Zheng, C. Y., Lu, Y. Y. y Xu, Y. J. (2023). Gut microbiome composition of the fire ant *Solenopsis invicta*: an integrated analysis of host genotype and geographical distribution. *Microbiology Spectrum*, e03585-22. <https://doi.org/10.1128/spectrum.03585-22>