

Entomología General: morfología y fisiología de insectos

Salomón Barrezueta Unda

Entomología General: morfología y fisiología de insectos

Salomón Barrezueta Unda

ISBN: 978-9942-53-002-8

DOI: <http://doi.org/10.48190/9789942530028>



© **Salomón Barrezueta Unda**

Docente de la Universidad Técnica de Machala
sabarrezueta@utmachala.edu.ec

Primera edición, 2025-11-09

ISBN: 978-9942-53-002-8

DOI: <http://doi.org/10.48190/9789942530028>

Distribución online

 Acceso abierto

Cita

Barrezueta, S. (2025) Entomología General: morfología y fisiología de insectos. Editorial Grupo Compás

Este libro es parte de la colección de la Universidad Técnica de Machala y ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad de la publicación. El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

Contenido

Prólogo4

Introducción general5

Enfoque y uso del libro5

Capítulo 1: introducción a la entomología..... 7

 1.1 Resumen.....7

 1.2 Objetivos De Aprendizaje7

 1.3 Historia Y Desarrollo De La Entomología9

 1.4 Importancia De Los Insectos En La Biodiversidad Y Ecosistemas..... 10

 Síntesis Y Transición: 14

 Actividad Autonoma 15

 Autoevaluación Capítulo I..... 16

Capítulo 2.- Origen de los insectos 19

 Resumen 19

 Objetivos De Aprendizaje..... 19

 Introducción 20

 2.1 Relaciones Filogenéticas De Los Insectos 22

 2.2 Clase Insecta 24

 Actividad Autónoma 28

 Autoevaluación Capítulo 2..... 29

 Referencias Bibliográficas 31

Capítulo 3: Anatomía interna y morfología de los insectos..... 34

 Resumen 34

 Objetivos De Aprendizaje..... 34

 Introducción 35

 3.1 Función Del Exoesqueleto En Los Insectos 36

 3.2 Región Cefálica..... 40

 3.3 El Tórax 49

3.4. Las Patas.....	54
3.5 El Abdomen	58
Actividades Autónomas.....	61
Autoevaluación Capítulo 3.....	62
Referencias Bibliográficas	64
Capítulo 4: Los Sistemas internos de los insectos	67
Resumen	67
Objetivo De Aprendizaje.....	67
Introducción	68
4.1 Sistema Respiratorio	69
4.2 Sistema Circulatorio	72
4.3 Sistema Digestivo	76
4.4 Sistema Nervioso	79
4.5 Sistema Muscular.....	81
Actividad Autónoma	88
Autoevaluación Capítulo 4.....	89
Referencias Bibliográficas	91
Capítulo 5: Reproducción y metamorfosis en los insectos.....	93
Resumen	93
Objetivos De Aprendizaje	93
5.1 Huevo O Cigoto.....	94
5.2 Desarrollo Embrionario	97
5.3 Desarrollo Post-Embrionario	100
Actividad Autónoma	104
Preguntas De Selección Múltiple	104
Referencias Bibliográficas	106
Glosario.....	109

PRÓLOGO

La entomología agrícola constituye un pilar fundamental para comprender las complejas interacciones entre los insectos y los cultivos. Su estudio orienta tanto el manejo integrado de las especies que actúan como plagas y afectan la productividad agrícola, como la conservación de aquellas que desempeñan funciones benéficas dentro de los agroecosistemas. Esta obra se propone ofrecer al lector una visión integral de los insectos desde su evolución, morfología y anatomía, hasta su importancia ecológica y su papel en la sostenibilidad agrícola. Cada capítulo ha sido estructurado con un enfoque didáctico que combina rigor científico con aplicaciones prácticas, dirigidas especialmente a estudiantes, investigadores y profesionales del área agropecuaria.

El contenido se fundamenta en literatura científica actualizada, integrando avances recientes en la fisiología y ecología de los insectos. Asimismo, se destacan los servicios ecosistémicos esenciales que brindan los insectos, como la polinización y el control biológico aspectos cruciales para enfrentar los desafíos del cambio climático y la pérdida de biodiversidad.

Este libro invita al lector a desarrollar una comprensión crítica sobre el rol de los insectos en la agricultura moderna y a valorar la necesidad de estrategias de manejo sustentable de los sistemas agropecuarios.

INTRODUCCIÓN GENERAL

La entomología agrícola estudia el impacto de los insectos en los sistemas de producción vegetal, abarcando tanto las especies que actúan como plagas como aquellas que prestan servicios ecológicos fundamentales como la polinización, la descomposición de materia orgánica y el control natural de plagas.

La estructuración de este libro responde a la necesidad de integrar conocimientos de entomología básica –morfología, anatomía, fisiología y reproducción–, considerando también aspectos evolutivos y ecológicos. Por esto, el lector encontrará contenidos actualizados que fomentan la comprensión de los insectos no solo como enemigos potenciales de la agricultura, sino como aliados imprescindibles en los sistemas productivos sustentables.

La información científica recopilado en el libro resulta, por tanto, esencial para desarrollar estrategias innovadoras de manejo integrado de plagas y para promover prácticas agrícolas resilientes y sostenibles ante los retos ambientales contemporáneos.

Enfoque y uso del libro

El libro articula contenidos con resultados de aprendizaje, actividades y evaluación sumativas para favorecer la transferencia al contexto agropecuario. La secuencia didáctica combina estudio de conceptos clave y de análisis de casos, promoviendo aprendizaje activo y basado en problemas propios de los sistemas agropecuarios. Para docentes, el texto funciona como guía curricular: cada capítulo sugiere tareas formativas y criterios de desempeño, de modo que la planificación avance “de atrás hacia adelante”, primero metas, luego evidencias y finalmente experiencias.

Entomología general: morfología y fisiología de insectos

Para estudiantes, el uso recomendado integra lectura dirigida, fichas de especies y salidas de campo que conectan morfología, fisiología y ecología, con énfasis en decisiones en el conocimiento de insectos.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN A LA ENTOMOLOGÍA

1.1 RESUMEN

La entomología es la rama de la Zoología que estudia los insectos, abarcando su clasificación, ecología, evolución e interacción con otros organismos, incluyendo los humanos. Se divide en entomología general y aplicada, esta última con subdivisiones como la entomología sistemática, médica, agrícola, forense y ecológica. A lo largo de la historia, el estudio de los insectos ha evolucionado desde las primeras referencias en el Antiguo Egipto y los estudios de Aristóteles hasta la consolidación de la entomología como disciplina científica en el siglo XX. Los insectos son fundamentales para la biodiversidad y el equilibrio ecológico, desempeñando roles clave en la polinización, el control biológico de plagas y la descomposición de materia orgánica. Sin embargo, la disminución global de sus poblaciones debido a factores como el cambio climático y la pérdida de hábitat pone en riesgo estos servicios ecosistémicos esenciales. El estudio entomológico resulta crucial para la continuidad de los servicios ecosistémicos que sostienen la productividad agrícola y el equilibrio ambiental global.

1.2 Objetivos de Aprendizaje

- Comprender los fundamentos de la entomología identificando su relación con otras disciplinas científicas y su importancia en el estudio de los insectos, su clasificación y sus interacciones ecológicas.
- Conocer la evolución histórica de la entomología desde sus primeras referencias en la antigüedad hasta su consolidación como una disciplina científica, destacando los principales avances y contribuciones de investigadores clave.
- Analizar el papel ecológico de los insectos en los ecosistemas considerando sus funciones en la polinización, el control biológico de plagas,

la descomposición de materia orgánica y su impacto en la biodiversidad y la sostenibilidad ambiental.

La entomología es una disciplina dentro de la biología que se dedica al estudio de los insectos. Se ubica como una rama de la zoología, que es la ciencia que estudia a los animales (Gullan y Cranston, 2014; Ortega et al., 2021). El término "entomología" proviene del griego *entomos*, que significa "insecto", y *logos*, que significa "estudio" o "ciencia" (Ortega et al., 2021). Esta disciplina principalmente se enfoca en la identificación y clasificación de los insectos, pero también estudia su ecología, la evolución y en su interacción con otros organismos, incluidos los seres humanos. La entomología mantiene una estrecha relación con diversas ciencias como la ecología, la genética, la fisiología, la medicina, la agronomía e incluso la economía. El estudio de los insectos permite comprender su papel en los ecosistemas, su interacción con los cultivos, su capacidad como vectores de enfermedades y su impacto económico, tanto por los daños que ocasionan como plagas como por el aprovechamiento de especies beneficiosas. Esta interdisciplina es fundamental para el desarrollo de estrategias integradas de manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales (de La Cruz Lozano 2005; Ortega et al., 2021).

Por la diversidad de forma y de interacciones ecológicas la entomología, se divide en entomología general y entomología aplicada (Ortega et al., 2021). Dentro de la entomología aplicada, se pueden identificar varias subdivisiones (Figura 1). Primero la entomología sistemática, que se centra en la clasificación y nomenclatura de los insectos; la entomología médica y veterinaria, que estudia los insectos que afectan la salud humana y animal. La entomología agrícola, que investiga los insectos que impactan la agricultura, tanto como plagas como agentes de control biológico. La entomología forense, que utiliza el estudio de los insectos para resolver crímenes y determinar

el tiempo de muerte en investigaciones criminales; y la entomología ecológica, que examina las interacciones de los insectos con su entorno y otros organismos.

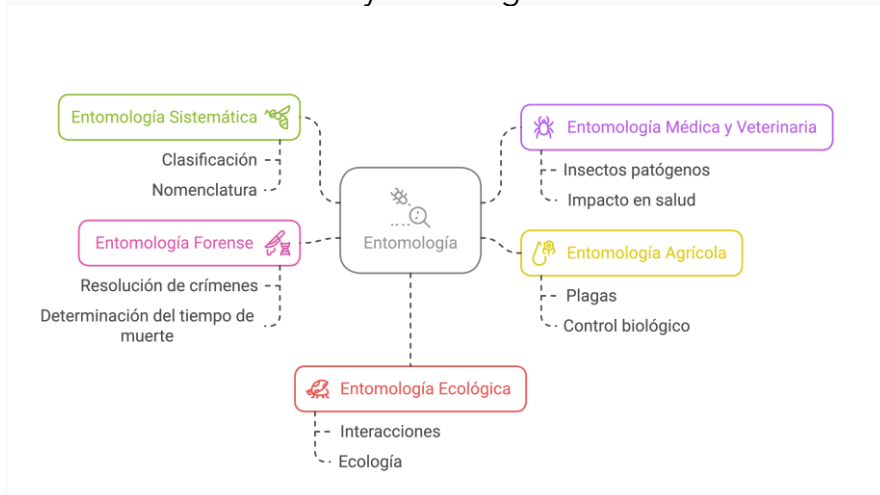


Figura 1.- Subdivisión de la entomología aplicada
Generado con IA- Napkin

1.3 Historia y desarrollo de la entomología

Desde la Edad Antigua hasta el siglo XX, el estudio de los insectos ha evolucionado significativamente. En el tiempo de Ramsés II (1.400 a.C.), los cronistas egipcios ya mencionaban la destrucción del trigo por gusanos y langostas. Aristóteles (384-322 a.C.) fue uno de los primeros en estudiar insectos describiendo y comparando sus partes en su obra *Historia Animalium* (Mayr, 1982). Un aporte importante en la época antigua fue de Plinio el Viejo (23-79 d.C.) que recopiló conocimientos sobre insectos en su enciclopedia *Naturalis Historia*, destacando su importancia en agricultura y medicina (Egerton, 2007).

Durante el Renacimiento, Ulisse Aldrovandi (1522-1605) clasificó insectos basándose en características morfológicas (Egerton, 2007). En el siglo XVII, Jan Swammerdam (1637-1680) utilizó el microscopio para estudiar insectos, y Maria Sibylla Merian (1647-1717) ilustró detalladamente las etapas de desarrollo de insectos tropicales. En el siglo XVIII, Carl

Linnaeus (1707-1778) estableció un sistema binomial para nombrar especies, incluyendo insectos (Mayr, 1982).

El siglo XIX vio un auge en la entomología con el desarrollo del darwinismo, con Charles Darwin (1809-1882) que utilizó observaciones sobre insectos para su teoría evolutiva (Mayr, 1982). Mientras que, en el siglo XX, la entomología se consolidó como una disciplina científica dentro de la rama de la zoología con aplicaciones prácticas en agricultura, medicina y ecología, gracias a avances tecnológicos y la Revolución Verde.

Entre los años 2000 y 2020, la entomología experimentó avances significativos, consolidándose con el uso de códigos de barras genéticos para la identificación de especies, lo que permitió la creación de un banco genético de las principales especies conocidas (Garibaldi et al., 2013). Asimismo, durante este período, un metaanálisis global reveló una alarmante disminución en las poblaciones de insectos terrestres, especialmente de polinizadores, lo que generó un intenso debate científico sobre las causas subyacentes como el uso de pesticidas en agricultura (Sánchez-Bayo y Wyckhuys, 2019). Estos desarrollos han orientado los estudios entomológicos actuales hacia la explicación de las relaciones filogenéticas entre insectos y otros artrópodos, así como hacia la conservación de los insectos en los ecosistemas naturales.

1.4 Importancia de los insectos en la biodiversidad y ecosistemas

Los insectos son fundamentales para la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas. Un rol clave en el ecosistema es la polinización (Figura 2), donde los insectos actúan como vectores de polen, esencial para la reproducción de muchas plantas con flores (Hunter, 2001; Sánchez-Bayo y Wyckhuys, 2019). Esta polinización es característica de los órdenes Hemíptera y Lepidóptera, aunque también la realizan otros ordenes como en los coleópteros. Por esto, la disminución de polinizadores

puede afectar negativamente la reproducción de las plantas y la diversidad vegetal (Hunter, 2001; Garibaldi et al., 2013).

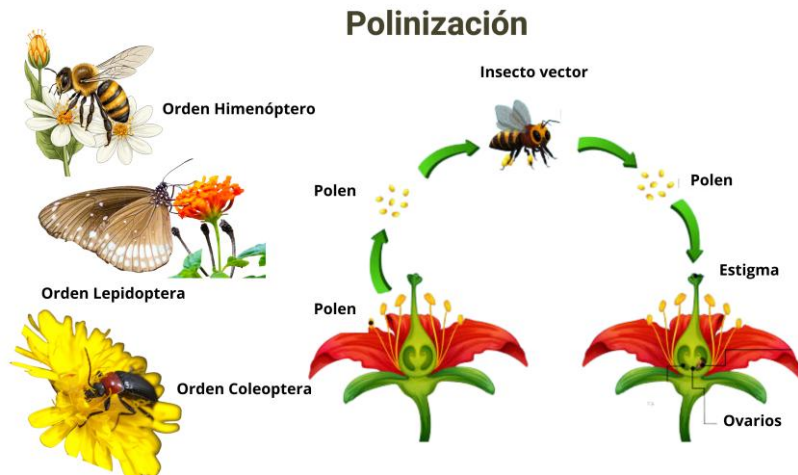


Figura 2. Polinización de flores por insectos
Generado en Canva

Otra función importante en la interacción biótica de los insectos es el control biológico. Los insectos depredadores y parasitoides como hormigas y avispas que pertenecen a la orden Hymenóptera juegan un papel crucial en el control natural de plagas (Figura 3), manteniendo el equilibrio en las comunidades en los ecosistemas sin necesidad de pesticidas químicos (Sumar y Lalita, 2021). Sin embargo, estudios recientes han advertido sobre el declive global de las poblaciones de insectos del orden Hymenóptera debido a factores como el cambio climático y la pérdida de hábitat por causas naturales (inundaciones, erosión del suelo, etc.) y antrópicas, lo que pone en riesgo el control natural de poblaciones de insectos (Hunter, 2001; Sánchez-Bayo y Wyckhuys, 2019).



Figura 3.- Interacciones bióticas entre insectos: depredadores y parasitoides

Fuente: <https://seviplagas.com/avispa-parasitoide-braconidae/>

Los insectos fitófagos influyen en la dinámica de las poblaciones vegetales, afectando el crecimiento, reproducción y distribución de las plantas. A este, algunas plantas han desarrollado defensas contra los insectos fitófagos como compuestos tóxicos, mientras que los insectos han evolucionado adaptaciones para superarlas, creando una coevolución constante (Schoonhoven, Van Loon y Dicke 2005). Las defensas vegetales incluyen tricomas, látex o toxinas digestivas), pero los insectos fitófagos contrarrestan estas defensas por adaptaciones de tipo conductuales, fisiológicas y bioquímicas, desde cortar venas para evitar el flujo de látex hasta detoxificar o secuestrar compuestos tóxicos y usarlos para su propia protección (p. ej., salicilatos en crisomélidos o alcaloides en algunas polillas tigre) como indica (Kaur y Kariyat 2023; Huber 2024). Pero también, los insectos al alimentarse de plantas transfieren nutrientes a través de la cadena alimentaria, afectando su disponibilidad en diferentes niveles tróficos. Esto ocurre cuando los insectos consumen tejidos vegetales ricos en compuestos esenciales como nitrógeno, fósforo y otros minerales (Schoonhoven, Van

Loon y Dicke 2005). Al alimentarse de las plantas, los insectos incorporan estos nutrientes a su biomasa corporal. Posteriormente, los insectos son depredados por otros organismos, como aves, anfibios, mamíferos o insectos depredadores, transfiriendo así los nutrientes vegetales hacia niveles tróficos superiores (Eilenberg et al., 2001; Suman y Lalita 2021). Además, la excreción de desechos y la descomposición de los insectos muertos liberan nutrientes al suelo, favoreciendo su reciclaje y contribuyendo al sostenimiento de la productividad primaria. De este modo, los insectos cumplen un papel clave como intermediarios en el flujo de materia y energía dentro de los ecosistemas.

También los insectos, dada su vasta diversidad y capacidad de dispersión, desempeñan roles críticos en las interacciones abióticas (entre organismos y el entorno no vivo) dentro de los ecosistemas. Insectos como escarabajos (orden: Coleóptera) y larvas de moscas (orden: Díptera) son descomponedores vitales de restos orgánicos, alimentándose de materia orgánica y acelerando la descomposición y reciclaje de nutrientes, esenciales para la fertilidad del suelo y el ciclo de nutrientes en los ecosistemas (Bardgett y Klironomos, 2003; Schowalter, 2016; Rivera Berrío y Rivera García 2023). Además, insectos como los escarabajos, termitas y hormigas modifican la estructura del suelo (Figura 5). Por ejemplo, las hormigas (orden: Hymenoptera) construyen montículos y túneles que afectan la estructura del suelo y la disponibilidad de agua (Jouquet et al., 2011; Bardgett y Klironomos, 2003), mientras que los escarabajos (orden: Coleoptera) alteran el suelo al construir bolas con el estiérco y enterrar en el suelo mejorando su estructura (Rivera Berrío y Rivera García 2023). También, los insectos también influyen en el microclima, ya que la defoliación por herbívoros puede aumentar la luz que llega

al suelo, afectando temperatura y humedad, factor que afecta de manera directa a otros organismos (Hunter, 2001).

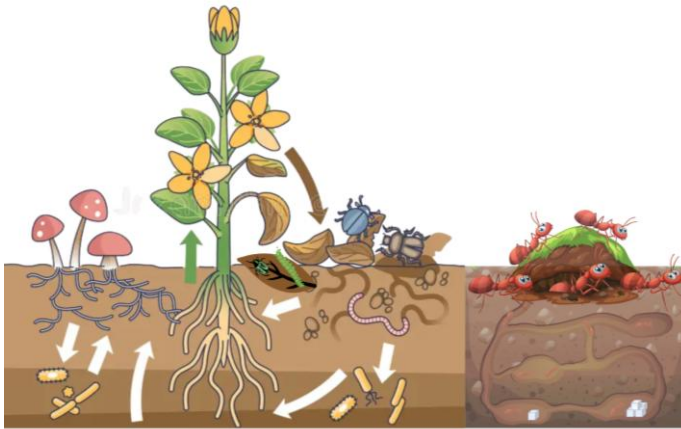


Figura 5.- Interacción abiótica: reciclaje de nutrientes
Generado en Canva

Síntesis y transición:

Este capítulo sintetiza el valor ecológico de los insectos y prepara el giro hacia sus orígenes y diversificación. Por esto el capítulo I es clave para orientar el papel de la entomología como disciplina y el rol de ecológico de los insectos en el entorno para relacionar con su evolución en el capítulo II. Preguntas de transferencia: ¿La diversidad morfológica de los insectos ha sido una ventaja para su supervivencia?

ACTIVIDAD AUTONOMA

Objetivo

Evaluar el papel de los insectos en los ecosistemas y su importancia para la biodiversidad y la agricultura.

Descripción de la actividad

Los estudiantes realizarán una revisión bibliográfica de los polinizadores en cacao y banano

Resultado de aprendizaje

Los estudiantes serán capaces de explicar la importancia de los insectos en los ecosistemas y su impacto en la biodiversidad y la agricultura, destacando la necesidad de su conservación.

AUTOEVALUACIÓN CAPÍTULO I

1. ¿Qué disciplina dentro de la entomología estudia a los insectos que afectan la salud humana y animal?

- a) Entomología agrícola
- b) Entomología sistemática
- c) Entomología forense
- d) Entomología médica y veterinaria

2. ¿Qué avance tecnológico entre 2000 y 2020 fortaleció la identificación de especies de insectos?

- a) Microscopía óptica
- b) Clasificación morfológica
- c) Uso de códigos de barras genéticos
- d) Análisis del ADN mitocondrial

3. ¿Qué porcentaje de los insectos descritos a nivel mundial se considera fitófago?

- a) 10-15%
- b) 25-30%
- c) 40-45%
- d) 5-10%

4. ¿Qué orden de insectos es responsable en gran medida del servicio ecosistémico de la polinización?

- a) Orthoptera
- b) Coleoptera
- c) Hemiptera y Lepidóptera
- d) Díptera y Odonata

5. ¿Qué función cumplen los escarabajos y las larvas de moscas en los ecosistemas?

- a) Controladores biológicos
- b) Polinizadores principales
- c) Descomponedores de materia orgánica
- d) Dispersores de semillas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bardgett, R. D., & Klironomos, J. N. (2003). Soil biota as drivers of ecosystem processes. *Ecology Letters*, 6(11), 1007-1019.
- Egerton, F. N. (2007). A history of the ecological sciences: Early modern naturalists and ecologists in Italy and France. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 88(4), 401-414.
- Eilenberg, J., Hajek, A., & Lomer, C. (2001). Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*, 46(4), 387-400.
- Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Fries, I., Bommarco, R., Cunningham, S. A., & Klein, A. M. (2013). Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honeybee abundance. *Science*, 339(6127), 1608-1611.
<https://doi.org/10.1126/science.1230200>
- Gullan, P. J., & Cranston, P. S. (2014). *The insects: An outline of entomology* (5th ed.). Wiley-Blackwell.
- Huber, M. (2024). Latex—a potential plant defense against microbes. *Trends in Microbiology*, 32(8), 689-701.
<https://doi.org/10.1016/j.tim.2024.05.010>
- Hunter, M. D. (2001). Insect population dynamics meet ecosystem ecology: Effects of herbivory, plant competition, and resources. *Oikos*, 92(3), 596-602.
- Jouquet, P., Dauber, J., Lagerlöf, J., Lavelle, P., & van der Putten, W. H. (2011). Soil invertebrates as ecosystem engineers: Impacts on soil and agroecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 142(3-4), 153-164.
- Kaur, I., & Kariyat, R. (2023). Trichomes mediate plant-herbivore interactions in two Cucurbitaceae species through pre- and post-ingestive ways. *Journal of Pest*

Science, 96, 1077-1089.

<https://doi.org/10.1007/s10340-023-01611-x>

- Mayr, E. (1982). *The growth of biological thought: Diversity, evolution and inheritance*. Harvard University Press.
- Ortega, J., & Manobanda-Guamán, M. (Eds.). (2021). *Entomología aplicada para agropecuarios*. Grupo COMPAS, Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Rivera Berrío, J., & Rivera García, J. (2023). *Escarabajos: Coleópteros*. Fondos Editorial Red Descartes.
- Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. G. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232(1), 8-27.
- Schowalter, T. D. (2016). *Insect ecology: An ecosystem approach*. Academic Press.
- Schoonhoven, L. M., van Loon, J. J. A., & Dicke, M. (2005). *Insect-plant biology*. Oxford University Press.

CAPITULO 2.- ORIGEN DE LOS INSECTOS

RESUMEN

El capítulo aborda la evolución temprana y diversificación de los insectos durante la era paleozoica. Los primeros insectos, Arqueognatos (sin alas), surgieron hace aproximadamente 480 millones de años en el Ordovícico, coincidiendo con la colonización terrestre por musgos, hongos y plantas primitivas. El registro fósil más antiguo indiscutible data del Devónico inferior. La evolución de los insectos alados (Pterygota) sin metamorfosis completa ocurrió en el Carbonífero, mientras que los Endopterygota insectos con metamorfosis completa se diversificaron en el Pérmico. A pesar de las extinciones masivas del Pérmico y Triásico y Jurásico, los insectos sobrevivieron y se adaptaron gracias a su capacidad para ocupar diversos nichos ecológicos. El árbol filogenético de los Hexápodo sugiere que los insectos se subdividen en varios subgrupos: Paleoptera, Polyneoptera, Condylognatha y Holometabola. cada subgrupo con características identificables en cuanto a la disposición y forma de sus alas y al tipo de metamorfosis.

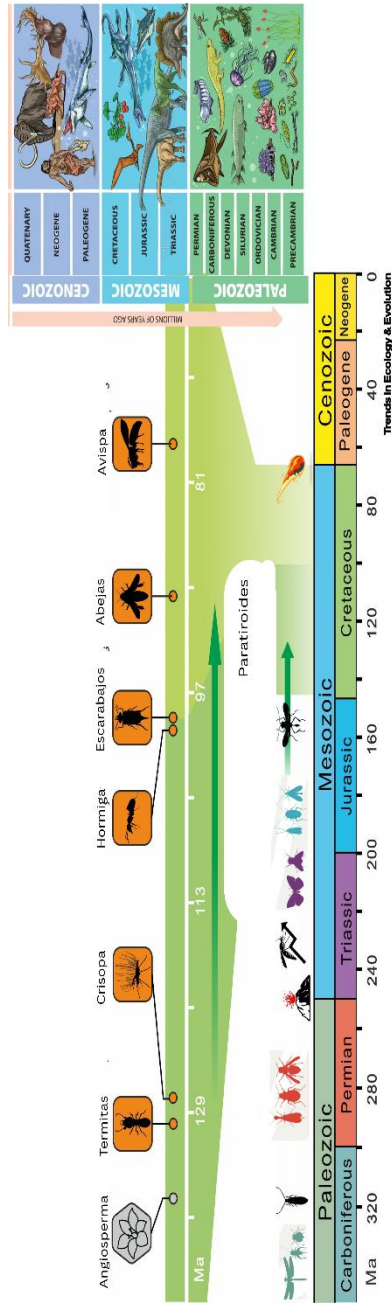
Objetivos de Aprendizaje

- Describir el origen de los primeros insectos terrestres y los factores ecológicos que favorecieron su aparición y expansión durante el paleozoico.
- Explicar como la evolución de los insectos le permitió separarse de otros grupos de artrópodos y como se diversificaron.

INTRODUCCIÓN

Varios estudios sobre el origen de los insectos coinciden en la era paleozoica, en el periodo Ordovícico (409 a 480 millones de años) coincidiendo con la colonización de tierra por musgos, hongos y las primeras plantas primitivas (Behura 2015; Misof et al., 2014; Wang et al., 2022). Análisis genéticos y de fósiles, indican que los primeros insectos no tenían alas y se denominaron *Arqueognatos* (grupo base de todos los insectos), que surgieron hace aproximadamente 480 millones de años durante el periodo Ordovícico (Figura 1). El registro fósil más temprano de insectos verdaderos se encuentra en el periodo Devónico temprano en Rhynie, Escocia (hace aproximadamente 411 millones de años). La evolución de los insectos con alas (Apterygota) pero sin metamorfosis completa, ocurrió en el periodo Carbonífero (365-299 millones de años atrás), mientras que los insectos alados (Pterygota) con metamorfosis completa (huevo, larva, pupa y adulto), se diversificaron en el periodo Pérmico (299 millones de años). Mientras que la diversificación de insectos polinizadoras (Hymenoptera, Lepidóptera, entre otros) curre en la era Mesozoica en el periodo jurásico junto con la radiación de las plantas angiospermas en el planeta (Figura 1).

Figura 1.- Origen de los insectos: radiación a nivel de ordenes por eras geológicas



Fuente: Wang, B., Xu, C., & Jarzembowski, E. A. (2022). Ecological radiations of insects in the Mesozoic. *Trends in ecology & evolution*, 37(6), 529–540. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.02.007>

Fuente: Adaptación de Misof et al., (2014). Artículo Phylogenomics resolves the timing and pattern of insect evolution. *Revista Science*.

Adaptación de Wang, Xu y Jarzembowski (2022).
Artículo Ecological radiations of insects in the
Mesozoic. Revista Trends in ecology & evolution.



2.1 Relaciones filogenéticas de los insectos

Misof et al (2014) y Wanninger et al., (2015) proponen que los hexápodos se separaron de subphylum Chelicerata (ácaros, arácnidos rárnicos, arañas y escorpiones) de los artrópodos durante el Cámbrico (era Paleozoica), hace aproximadamente 541 millones de años. Mientras que la clase Myriapoda, que comprenden ciempiés y milpiés, se separaron durante el periodo Devónico (también en el Paleozoico), hace aproximadamente 450 millones de año y tienen una larga historia evolutiva independiente de los hexápodos que incluye a los insectos.

Los estudios morfológicos tradicionales apoyan la teoría del ancestro único (monofilia) para de la clase Hexápoda, a partir de un artrópodo mandibulado, que incluye también a los crustáceos por caracteres compartidos, como la tagmosis división en segmentos cabezas, tórax y abdomen, así como la pérdida de apéndices abdominales (Grimaldi y Engel 2005; Misof et al., 2014; Tihelka et al., 2021).

La clase hexápoda (6 patas) se divide en los falso insectos que se denomina *Entognatos* que incluye especies como Colémbolas, Proturas y Dipluras separados evolutivamente de la subclase Insecta o *Ectognatha*, aproximadamente hace 480 millones de años (Figura 2) (Tihelka et al., 2021). La separación de estas clases se encuentra en su cavidad bucal que es interna y carecen de alas en *Entognatos*, mientras en *Ectognatha* las piezas bucales son externas y tiene alas (Tabla 1) (Grimaldi y Engel 2005).

Tabla 1.- Comparación entre *Entognatos* (sin alas)y *Ectognatha* (con alas)

Característica	Entognatha	<i>Ectognatha</i>
Piezas bucales	Internas (dentro de una cavidad de la cabeza)	Externas (visibles y móviles)
Antenas	Segmentadas sin musculatura interna	Segmentadas con musculatura interna
Alas	Sin alas (ápteros)	Pueden tener alas funcionales o no
Ejemplos	 <i>Diplura</i>	 <i>Coleóptera</i>

Fuente: Grimaldi y Engel (2005)

El grupo más primitivo de los Ectognatha corresponde a los Paleópteros, insectos que no pueden plegar las alas hacia atrás sobre el abdomen, como ocurre en las libélulas (orden *Odonata*). El orden Ephemeroptera (efímeras) es considerado el grupo hermano de todos los insectos alados (Grimaldi y Engel, 2005; Wipfler et al., 2019). Por su parte, Tihelka et al. (2021) describen a los Neoptera, insectos caracterizados por la capacidad de plegar las alas, los cuales se subdividen en tres grandes linajes, a saber

- Polyneoptera: Incluye órdenes como: Ortoptera (saltamontes) y Blattodea (cucarachas).
- Acercaria o Paraneoptera: Agrupa a los órdenes Hemípteros (chinches, áfidos, cochinillas) y Psocópteros, con adaptaciones especializadas para alimentación succionadora.
- Holometabola: Insectos con metamorfosis completa, como Coleoptera (escarabajos) y

Lepidóptera (mariposas), Díptera (moscas) entre otros que representan el 85% de la diversidad de insectos.

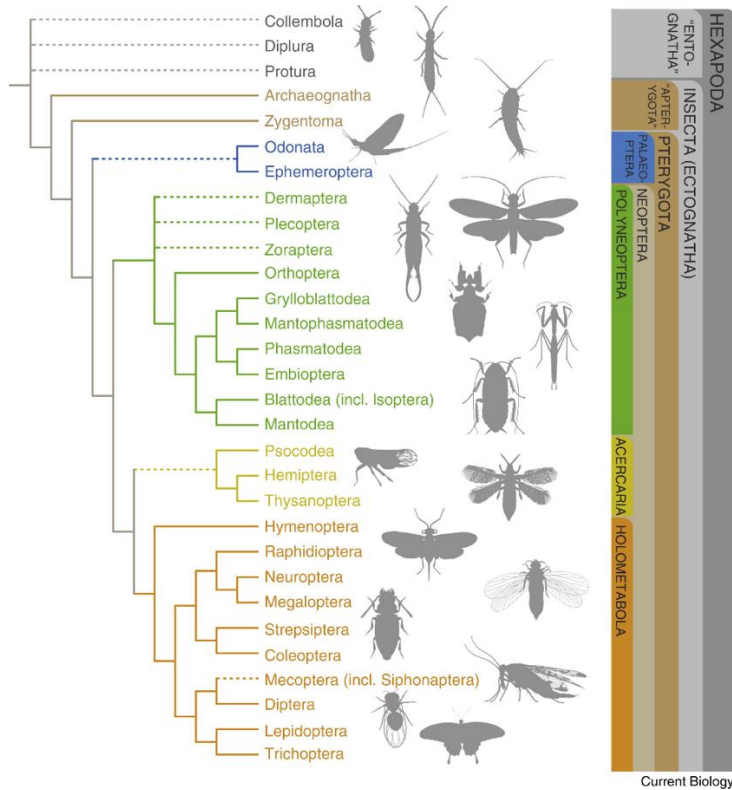


Figura 2.- Linaje de la clase Hexapoda por subclase, grupos y orden

Fuente: Adaptación de Tihelka et al., (2021). Artículo The evolution of insect biodiversity. Revista Current Biology

2.2 Clase insecta

Los insectos pertenecen al filo Arthropoda, clase Insecta y representan el grupo más diverso y abundante dentro del reino animal, constituyendo aproximadamente el 80 % de todas las especies animales descritas hasta la actualidad (Bakshi et al., 2024). Los insectos han existido en la Tierra

hace 450 millones de años atrás (Herhold et al., 2023), y se reconocen en 28 órdenes de insecto, más de 1000 familias y más de un millón de especies, lo que los convierte en los animales terrestres dominantes en términos de diversidad (Zhang, 2011). La capacidad de adaptación de los insectos les ha permitido colonizar prácticamente todos los hábitats del planeta, siendo el orden más exitoso el Coleoptera, con 387100 especies identificadas (Zhang 2011). Esta cualidad y su alta diversidad hacen de los insectos un componente fundamental de los ecosistemas, (por estos, presentan un impacto dual significativo en los ecosistemas y en las actividades humanas (Gullan y Cranston, 2014). Por un lado, numerosas especies como el orden Díptera (moscas y mosquitos) actúan como vectores de enfermedades responsables de la malaria, fiebre amarilla, dengue, entre otros que afectan gravemente tanto a personas como al ganado (de La Cruz Lozano 2005; Gullan y Cranston, 2014). Por otra parte, los insectos fitófagos, es decir, aquellos que se alimentan directamente de tejidos vegetales vivos, representan aproximadamente entre el 25% y el 30% de todas las especies de insectos descritas a nivel global (Schoonhoven, Van Loon y Dicke 2005). Por esto numerosos insectos fitófagos constituyen plagas agrícolas de alta relevancia, un ejemplo representativo es *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), cuyas larvas se alimentan vorazmente de las hojas del maíz, pudiendo llegar a una defoliación total de las plantas y una drástica reducción en el rendimiento del cultivo. Por ello, el control efectivo de estas plagas resulta fundamental para preservar la salud pública y proteger la estabilidad de la economía agropecuaria de un país. En contraste con estos efectos perjudiciales, los insectos también desempeñan roles ecológicos y económicos vitales (Gullan y Cranston, 2014). Destaca especialmente la polinización. Se estima que la labor de las abejas contribuye miles de millones de dólares anuales a la producción

agrícola en todo el mundo (Jiménez Martínez 2009; Garibaldi et al., 2013).

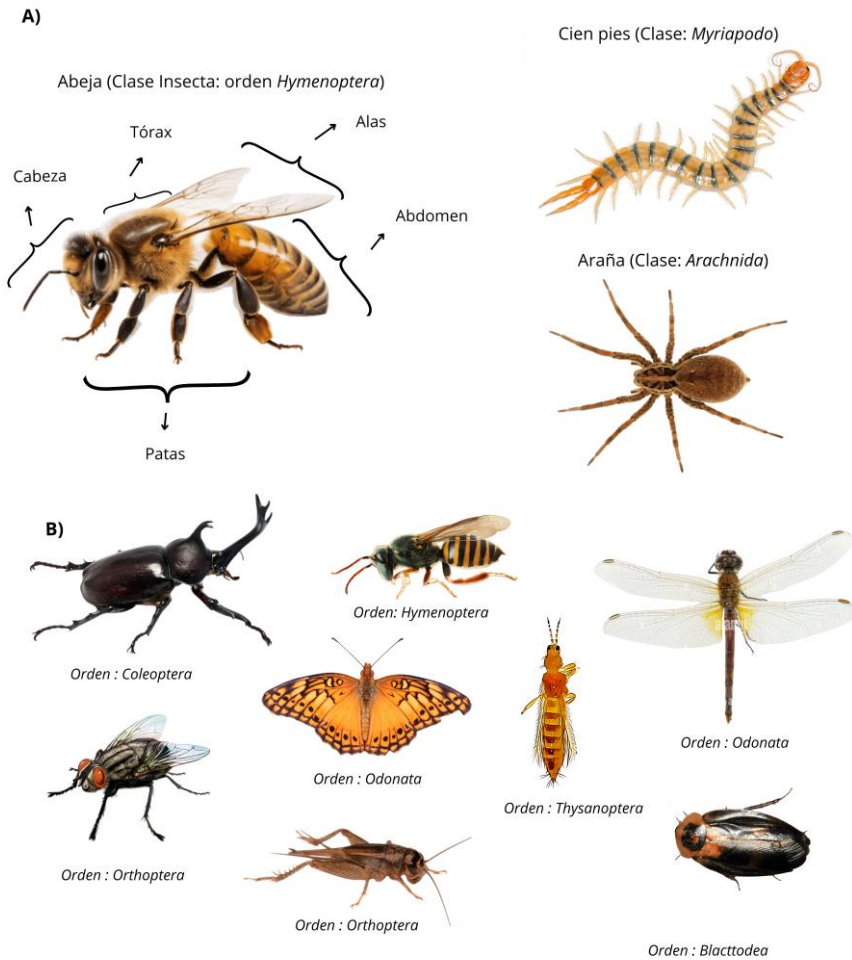


Figura 3.- Diferencia de insectos con otros artrópodos (A) y diversidad de insectos terrestres (B). Generado en Canva

Tabla 2.- Ordenes de insecto

Orden de insectos	Nombre común
Archaeognatha	Tisanuros
Zygentoma	pececillo de plata
Ephemeroptera	Efímeras
Odonata	Libélulas y caballitos del diablo
Plecoptera	moscas de las piedras
Dermaptera	Tijeretas
Zoraptera	zoraptera
Orthoptera	Saltamontes, grillos
Embioptera	tejedores de seda
Phasmatodea	Fásmidos, insectos palo e insectos hoja
Grylloblattodea	caminadores del hielo
Mantophasmatodea	mantopérlidos
Mantodea	Mantis religiosa
Blattodea	cucarachas
Psocodea	piojos
Thysanoptera	Thrips
Hemiptera	Chinches, cochinillas, escamas etc.
Raphidioptera	Ráfidos o moscas serpiente
Megaloptera	Sialinos
Neuroptera	crisopas
Coleoptera	Escarabajos y gorgojos
Strepsiptera	Estrepsípteros
Diptera	Moscas y mosquitos
Mecoptera	Mecópteros, mosca escorpion
Siphonaptera	pulgas
Trichoptera	Frigáneas
Lepidoptera	Polillas y mariposas
Hymenoptera	Hormigas, avistas, abejas,

Síntesis y transición:

En este capítulo, los hitos macroevolutivos como la radiación de órdenes por el cambio climático, que provocó cambios en la flora permitió la innovación alar, y la metamorfosis en los insectos, esto influyo con rasgos morfo-diagnósticos actuales, útiles para identificación aplicada.

Preguntas de transferencia: ¿Los rasgos a nivel de orden en los insectos inciden en su adaptación local?

ACTIVIDAD AUTÓNOMA

Objetivo de aprendizaje

Comprender la evolución y diversificación de los insectos

Descripción de la actividad:

Comparación de Artrópodos: Los estudiantes realizarán una tabla comparativa de los subgrupos de artrópodos identificando sus características distintivas y ejemplos de especies representativas.

Resultado de aprendizaje

Los estudiantes podrán explicar las etapas clave en la evolución de los insectos y su diversificación durante la era paleozoica.

AUTOEVALUACIÓN Capítulo 2

1. ¿En qué periodo surgieron los primeros insectos terrestres (Arqueognatos)?

- a) Cámbrico
- b) Ordovícico
- c) Devónico
- d) Jurásico

2. ¿Cuál es el grupo base de todos los insectos descrito en el texto?

- a) Paleoptera
- b) Polyneoptera
- c) Arqueognatos
- d) Holometabola

3. ¿Dónde se encuentra el registro fósil más antiguo de insectos verdaderos?

- a) Siberia
- b) Rhynie, Escocia
- c) Amazonas
- d) Desierto del Sahara

4. ¿Qué característica distingue a los Entognatha de los Ectognatha?

- a) Presencia de alas
- b) Tipo de metamorfosis
- c) Localización de las piezas bucales
- d) Coloración corporal

5. ¿En qué periodo los insectos alados (Pterygota) con metamorfosis completa comenzaron su diversificación?

- a) Cámbrico
- b) Ordovícico
- c) Pérmico
- d) Triásico

6. ¿Qué orden de insectos se considera como el grupo hermano de todos los insectos alados?

- a) Coleoptera

- b) Lepidóptera
- c) Ephemeroptera
- d) Hemiptera

7. ¿Qué evento botánico está relacionado con la diversificación de insectos polinizadores en el Jurásico?

- a) Aparición de musgos
- b) Radiación de plantas angiospermas
- c) Formación de helechos
- d) Colonización de líquenes

8. ¿A qué filo pertenecen los insectos?

- a) Mollusca
- b) Annelida
- c) Arthropoda
- d) Chordata

9. ¿Qué orden de insectos es considerado el más diverso en número de especies?

- a) Lepidóptera
- b) Diptera
- c) Hymenóptera
- d) Coleoptera

10. ¿Qué grupo de artrópodos se separó primero del linaje que dio origen a los insectos?

- a) Myriapoda
- b) Crustácea
- c) Chelicerata
- d) Trilobita

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bakshi, D., Kaushal, B., & Brar, P. S. (2024). *Insect morphology and physiology: Insights into form and function*. CRC Press.
- Behura, S. K. (2015). Insect phylogenomics. *Insect Molecular Biology*, 24(4), 403-411.
<https://doi.org/10.1111/imb.12174>
- Engel, M. S., & Grimaldi, D. A. (2020). Insect evolution: A review of fossil evidence. *Annual Review of Entomology*, 65, 1-25.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025257>
- Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Fries, I., Bommarco, R., Cunningham, S. A., & Klein, A. M. (2013). Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honeybee abundance. *Science*, 339(6127), 1608-1611.
<https://doi.org/10.1126/science.1230200>
- Grimaldi, D., & Engel, M. S. (2005). *Evolution of the insects*. Cambridge University Press.
- Gullan, P. J., & Cranston, P. S. (2014). *The insects: An outline of entomology* (5th ed.). Wiley-Blackwell.
- Herhold, H. W., Davis, S. R., DeGrey, S. P., & Grimaldi, D. A. (2023). Comparative anatomy of the insect tracheal system part 1: Introduction, apterygotes, Paleoptera, Polyneoptera. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 459(1), 1-184.

- Misof, B., Liu, S., Meusemann, K., Peters, R. S., Donath, A., Mayer, C., Frandsen, P. B., & Zhou, X. (2014). Phylogenomics resolves the timing and pattern of insect evolution. *Science*, *346*(6210), 763–767. <https://doi.org/10.1126/science.1257570>
- Schoonhoven, L. M., van Loon, J. J. A., & Dicke, M. (2005). *Insect-plant biology*. Oxford University Press.
- Tihelka, E., Cai, C., Giacomelli, M., Lozano-Fernandez, J., Rota-Stabelli, O., Huang, D., Engel, M. S., Donoghue, P. C. J., & Pisani, D. (2021). The evolution of insect biodiversity. *Current Biology*, *31*(19), R1299–R1311. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.08.057>
- Trautwein, M. D., Wiegmann, B. M., Beutel, R., Kjer, K. M., & Yeates, D. K. (2012). Advances in insect phylogeny at the dawn of the postgenomic era. *Annual Review of Entomology*, *57*, 449–468. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100538>
- Wang, B., Xu, C., & Jarzembowski, E. A. (2022). Ecological radiations of insects in the Mesozoic. *Trends in Ecology & Evolution*, *37*(6), 529–540. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.02.007>
- Wanninger, A. (Ed.). (2015). *Evolutionary developmental biology of invertebrates 3: Ecdysozoa I: Non-Tetraconata*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1865-8>
- Wipfler, B., Letsch, H., Frandsen, P. B., Kapli, P., Mayer, C., Liu, S., & Misof, B. (2019). Evolutionary history of Polyneoptera and interordinal relationships.

Proceedings of the National Academy of Sciences,
116(1), 302-307.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1818200116>

Zhang, Z. Q. (2011). *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*. Magnolia Press.

CAPÍTULO 3: ANATOMÍA INTERNA Y MORFOLOGÍA DE LOS INSECTOS

RESUMEN

El capítulo aborda la estructura y función general del cuerpo de los insectos que se caracteriza por un exoesqueleto, y por la tagmosis, que agrupa los segmentos en tres tagmas: cabeza, tórax y abdomen. El exoesqueleto se conforma de quitina y proteína. La cabeza alberga órganos sensoriales como ojos compuestos y simples, antenas y piezas bucales, esenciales para la detección de estímulos, alimentación e interacción con el entorno. Las formas de la cabeza varían según la orientación de las piezas bucales: hipognata, prognata y opistognata, adaptadas a diferentes hábitos alimentarios. Los ojos compuestos, formados por omatidios, permiten una visión amplia y detallada, crucial para detectar depredadores y buscar alimento. Los ocelos, ojos simples, detectan cambios en la intensidad de la luz y ayudan en la orientación espacial. Las antenas, ubicadas en la parte anterior de la cabeza, están formadas por el escapo, pedicelo y flagelo, y son esenciales para la percepción sensorial. El tórax se compone de 3 segmentos (protórax, mesotórax y metatórax) y se ubican los órganos de locomoción de los insectos como los dos pares de alas y los 3 pares de patas. El último segmento es el abdomen donde se encuentran varios apéndices como los cercos y los órganos genitales.

Objetivos de aprendizaje

- Identificar las capas que conforman el exoesqueleto en los insectos.
- Explicar la estructura general de las tres tagmas en los insectos: cabeza, tórax y abdomen.
- Reconocer las estructuras y piezas bucales, antenas y ojos ubicados en la cabeza de los insectos, las alas y patas ubicadas en el tórax y el abdomen.

INTRODUCCIÓN

La anatomía constituye una subdisciplina de la morfología encargada del estudio, denominación y descripción de las estructuras de los organismos, a partir de observaciones macroscópicas, disecciones y análisis microscópicos. Por su parte, la morfología se relaciona directamente con la forma y función de dichas estructuras anatómicas. En este contexto, el estudio de la estructura externa de los insectos adquiere especial relevancia.

Debido a la historia evolutiva compartida entre los artrópodos, particularmente de los subfilos Chelicerata y Myriapoda, la terminología empleada para describir segmentos, apéndices y órganos muestra similitudes entre estos grupos (Rocha, Hoffmann y Souto, 2019). La morfología en los insectos está íntimamente vinculada con su comportamiento y funcionalidad (Headrick y Gordh, 2009; Wanninger et al., 2015). Por ejemplo, la morfología del aparato bucal (masticador, picador-chupador, entre otros) revela su forma de alimentación y el tipo de daño potencial a las plantas (Ricci y Margaría, 2014). De igual manera, la estructura de las patas refleja adaptaciones específicas para correr, saltar, nadar o excavar, influyendo en su capacidad de dispersión y ocupación del hábitat (Triplehorn y Johnson, 2005; Rocha et al., 2019). Asimismo, la conformación de las alas ofrece información clave sobre sus capacidades de vuelo y movilidad en entornos agrícolas (Herhold et al., 2023).

Una característica distintiva de los insectos respecto a otros artrópodos es la tagmosis, proceso evolutivo que permitió agrupar y especializar segmentos corporales en regiones funcionales denominadas tagmas (Triplehorn y Johnson, 2005). En los insectos, esta especialización ha dado lugar a tres tagmas principales: cabeza (tagma cefálica), tórax y abdomen (Bakshi et al., 2024). No obstante, la forma y estructura de cada tagma puede variar notablemente entre especies.

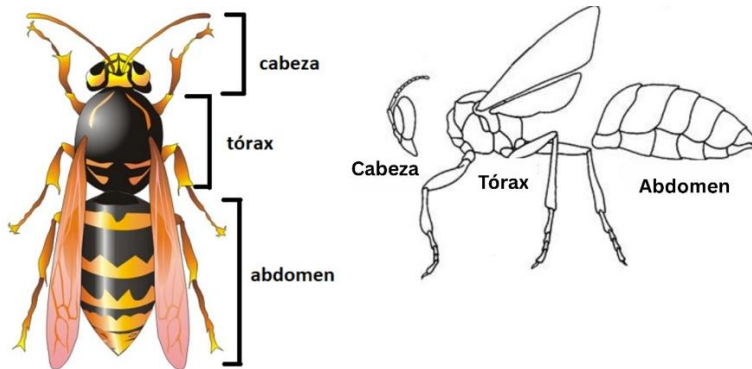


Figura 1.- Cuerpo de un insecto (Orden: *Hymenoptera*) dividido en segmentos

Fuente:

<https://web.bioucm.es/cont/vespa/images/partes-cuerpo.gif>

3.1 Función del exoesqueleto en los insectos

El exoesqueleto en los insectos constituye la envoltura externa del cuerpo y desempeña un papel fundamental en la definición de su forma, tamaño y color (Triplehorn y Johnson, 2005; Headrick y Gordh, 2009). Es una estructura compleja y multicapa, compuesta por células vivas (epidermis) y por productos de secreción no celulares, como la cutícula, que forman la capa más externa (Nation, 2015). Cada una de las capas del exoesqueleto presenta un grosor y una composición química particulares, lo que determina sus funcionalidades (Headrick y Gordh, 2009).

El exoesqueleto cumple funciones esenciales para la supervivencia del insecto, como la protección física, la percepción sensorial, la excreción, y actúa además como interfaz entre el organismo y su entorno (Ortega et al., 2021). En algunos insectos el exoesqueleto está fuertemente esclerotizada como Coleóptera y Orthoptera, y en otro es un más blanda recubierto de pelos o zetas como es el caso de Lepidóptera (Triplehorn y Johnson, 2005; de La Cruz Lozano

2005). El exoesqueleto en los insectos también juega un papel crucial en la locomoción y la interacción con el entorno, ya que está segmentado y articulado, lo que permite una gran movilidad y flexibilidad (Rogers, 2019). Además, el exoesqueleto debe renovarse periódicamente para permitir el crecimiento del insecto, proceso conocido como muda o ecdisis (Costa e Ide 2008).

En todos los artrópodos, incluido la subclase Insecta, el exoesqueleto está formado principalmente por quitina, un polisacárido estructural de cadena larga similar a la celulosa, que confiere rigidez y soporte (Headrick y Gordh, 2009; Gullan y Cranston, 2014). En los insectos, esta quitina suele estar entrelazada con proteínas, así como la posible incorporación de melanina, lo que refuerza aún más la estructura del exoesqueleto (Ortega et al., 2021). Las áreas endurecidas (esclerotizadas) del exoesqueleto se conocen como escleritos y están conectadas por zonas membranosas más delgadas y flexibles (Costa e Ide 2008; Zumbado y Azofeif 2018). Dependiendo de su ubicación, los escleritos tienen diferentes nombres: los situados en la parte dorsal del abdomen se llaman terguitos (tergon), los de la parte ventral del abdomen se denominan esternitos (esternón) y los laterales se conocen como pleuritos (pleuron) (Zumbado y Azofeif 2018). En las larvas, que tienen un cuerpo más blando, las áreas esclerotizadas se concentra principalmente en la cabeza, las mandíbulas y en las patas articuladas (Zumbado y Azofeif 2018; Ortega et al., 2021).

3.1.1 Estructura del exoesqueleto

El exoesqueleto de los insectos está formado por dos capas: la cutícula y la epidermis (Figura 2), cada una con funciones específicas. La cutícula no es capa uniforme en su grosor, esta se conforma de varias capas, la primera es la epicutícula, la capa más externa y delgada, compuesta principalmente por lípidos y ceras, proporciona una barrera impermeable que protege al insecto de la deshidratación y la entrada de patógenos (Nation 2015; Zumbado y Azofeif 2018). La segunda capa es la procutícula, ubicada debajo de la

epicutícula, y está formada por dos subcapas: la exocutícula, más gruesa, compuesta de quitina y proteínas que les confieren rigidez y resistencia frente a daños físicos, y la endocutícula, también constituida por quitina y proteínas, pero menos endurecida, lo que le otorga flexibilidad y permite el crecimiento del insecto durante la muda (Chapman, 2013).

La epidermis (Figura 2), que se ubica después de la cutícula, es una capa conformada de células basales que juega un papel crucial en la regeneración del exoesqueleto durante la muda (Zumbado y Azofeifa 2018; Nation 2015). Debajo de la epidermis se encuentra la membrana basal, estructura fundamental desde la cual se originan diversas glándulas, incluyendo aquellas responsables de la formación de proyecciones cuticulares como las setas o pelos, que atraviesan la epidermis y la cutícula hasta alcanzar la superficie del cuerpo (Gullan y Cranston, 2010). En los insectos, estas extensiones dérmicas que incluyen setas, cerdas y escamas, estructuras derivadas de la cutícula tienen funciones sensoriales y protectoras.

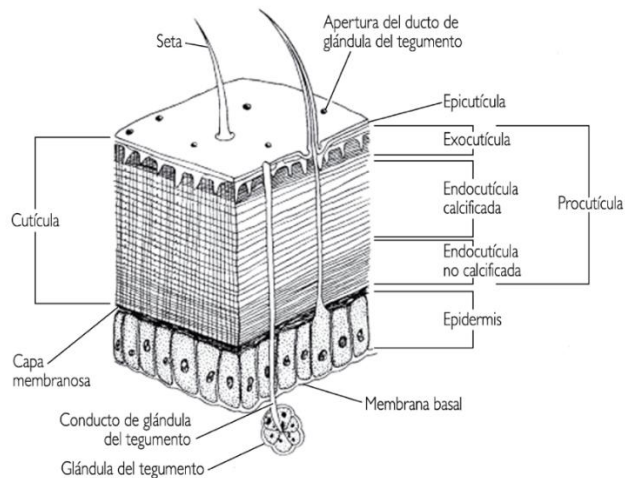


Figura 2.- Capas que conforman el exoesqueleto de los insectos

Fuente: Zumbado y Azofeifa (2018)

La formación de una seta implica la participación de dos tipos de células epidérmicas especializadas. La célula tricógena (del griego *trichos*, pelo) es la responsable de dar origen a la seta durante la muda. Esta estructura es hueca, no celular, y se proyecta hacia el exterior del cuerpo; su función puede ser quimiorreceptora (detectar estímulos químicos), dependiendo de su asociación con neuronas sensoriales (Chapman, 2013; Gullan y Cranston, 2014). Asociada a esta se encuentra la célula tormógena, ubicada en la base de la tricógena, cuya función es formar una membrana flexible que sostiene la seta. Esta membrana actúa como punto de anclaje y permite que la estructura sensorial responda a estímulos externos mediante un ligero movimiento, facilitando así la transducción sensorial (Nation, 2015).

Existen diferentes tipos de setas según su localización y función. Las setas de revestimiento cubren la superficie corporal, como ocurre en las abejas melíferas; los pelos glandulares, presentes en larvas de lepidópteros, rodean glándulas epidérmicas; y las setas sensoriales, comunes en antenas, patas y piezas bucales, actúan como mecanorreceptores o quimiorreceptores clave en la fisiología del insecto. Además, las escamas, presentes en Lepidópteros adultos, representan setas modificadas, planas y pequeñas, que protegen las alas (Figura 3). Por otro lado, las cerdas son estructuras más robustas y rígidas, frecuentemente observadas en insectos del orden Diptera familia Tachinidae (Gullan y Cranston, 2010). Todas estas adaptaciones cumplen funciones esenciales en la percepción sensorial, la protección corporal y la regulación fisiológica.



Figura 3.- Tipos de setas que recubren el exoesqueleto de los insectos
Generado en Canva

3.2 Región cefálica

La región cefálica se conforma de la integración de varios segmentos que se denominan suturas y escleritos (Figura 4), los cuales se funcionan para formar la cabeza del insecto. Las suturas que se encuentra en la cabeza son: sutura epistomal o frontoclipeal, sutura subgenal que se prolonga de sutura epistomal hacia los lados y borde inferior de la cabeza, sutura occipital (separa el segmento mandibular del maxilar), sutura postoccipital (separa el maxilar del labial), suturas tentoriales (anterior y posterior) relacionadas con la inserción del tentorio dentro de la cabeza de los insectos, sutura coronal que puede dividir el vértex, y suturas epicraneales (en insectos jóvenes) en forma de y en el vértex (Figura 4). Los principales escleritos (placas endurecidas) de la cabeza del insecto incluyen: clipeo, vértex y venas (regiones laterales).

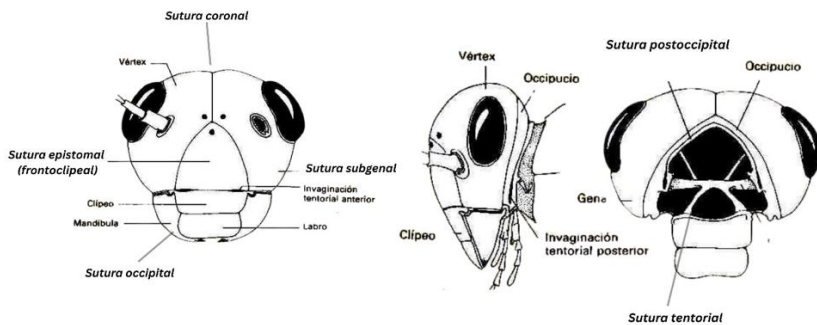


Figura 4. Suturas y escleritos de la cabeza del insecto: representación de la cabeza de un orthóptero

Fuente:

<https://www.bioscripts.net/zoowiki/temas/26C/Cabeza01.JPG>

La forma de la cabeza puede variar significativamente entre diferentes órdenes de insectos, pero generalmente se presenta como una cápsula esclerotizada (endurecida) que protege los órganos sensoriales (ojos y antenas) y las piezas bucales. Las principales formas de la cabeza en los insectos, según la orientación de las piezas bucales, incluyen la cabeza hipognata, prognata y opistognata (Figura 5), cada una adaptada a diferentes hábitos alimentarios y modos de vida (Chapman 2013).

1. **Cabeza Hipognata:** En esta disposición, las piezas bucales están orientadas hacia abajo. Este tipo de cabeza es común en insectos fitófagos, como los del orden Orthoptera (grillos y saltamontes), que se alimentan de plantas. La orientación hacia abajo facilita la alimentación en superficies horizontales, permitiendo a estos insectos raspar o masticar el material vegetal.
2. **Cabeza Prognata:** Aquí, las piezas bucales están dirigidas hacia adelante. Este tipo de cabeza es típico de insectos depredadores, como los escarabajos (orden: Coleóptera) que necesitan una orientación frontal para capturar y manipular a sus presas. La disposición prognata permite una mayor precisión y fuerza en la captura de alimentos, lo que es crucial para su modo de vida depredador.
3. **Cabeza Opistognata:** En esta configuración, las piezas bucales están orientadas hacia abajo y hacia atrás. Es común en insectos que se alimentan de líquidos, como las cucarachas

(Orden: Blattodea) y pulgones, cochinillas, afidos y otros insectos del Orden: Hemíptera. La orientación opistognata facilita la inserción de las piezas bucales en el sustrato para succionar líquidos, adaptándose perfectamente a su dieta basada en fluidos.



Figura 4.- Tipos de cabeza en insectos en función de la orientación de las piezas bucales

Fuente: Chapman (2013)

En la cabeza de los insectos se albergan varios órganos sensoriales y estructuras especializadas que son cruciales para su supervivencia y adaptación (Bustillo 2008). Entre estos órganos están: los ojos compuestos y simples, las antenas y las piezas bucales, que desempeña funciones esenciales para la detección de alimentos y la interacción con el entorno (Ricci y Margaría, 2014). Estos órganos y su función se detallan a continuación.

3.2.1 Aparato Bucal

El aparato bucal de los insectos es una estructura altamente diversificada y especializada que refleja la adaptación de estos organismos a una amplia variedad de hábitos alimentarios. La función principal del aparato bucal es la adquisición y procesamiento de alimentos (Bustillo 2008; Ricci y Margaría, 2014).

La estructura básica del aparato bucal incluye: el cípeo, el labro (labio superior), las mandíbulas, las maxilas, el labio (labio inferior) y la hipofaringe (Figura 5). Estas piezas

pueden modificarse de diversas maneras para cumplir funciones específicas según el tipo de alimentación del insecto (Ricci y Margaría, 2014).

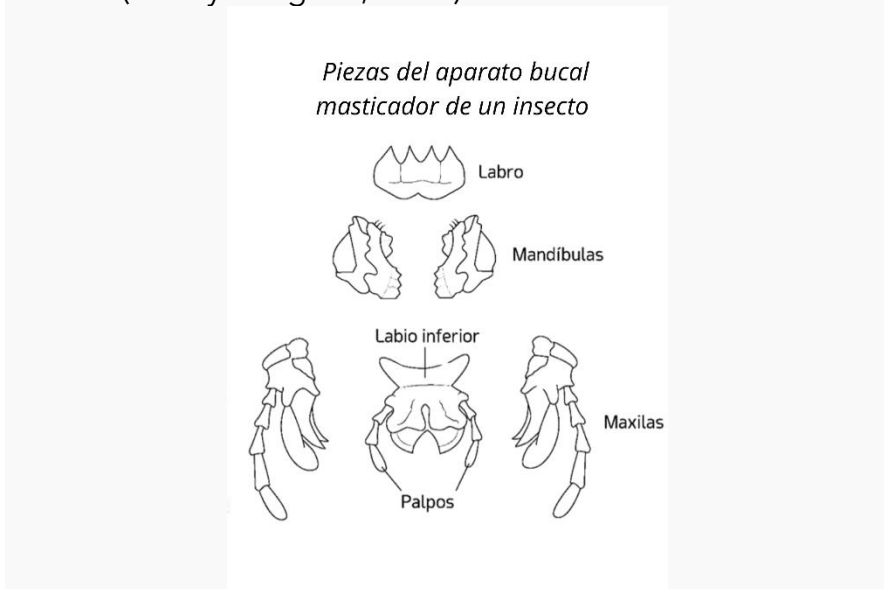


Figura 5.- Piezas del aparato bucal de los insectos, representación gráfica de un aparato masticador (Orden: Orthoptera)

Fuente: Bustillo (2008)

Tipos de Aparatos Bucales

La diversidad en la estructura del aparato bucal permite a los insectos alimentarse de una amplia gama de recursos alimentarios, desde hojas y madera hasta néctar y sangre. Esta especialización ha sido un factor clave en la diversificación y éxito evolutivo de los insectos, identificando las siguientes variaciones del aparato bucal (Chapman, 2013; Ricci y Margaría, 2014).

1. Aparato bucal masticador: Este es el tipo más primitivo de aparato bucal y se encuentra en insectos como los escarabajos (orden Coleóptera) y las langostas (orden Orthoptera). Las mandíbulas son robustas y están diseñadas para cortar y triturar alimentos sólidos (Figura 6 a). Las maxilas y el labio ayudan a manipular el alimento mientras

que la hipofaringe actúa como una lengua (Rivera Berrío y Rivera García 2023).

2. Aparato bucal cortador chupador: diseñado para cortar tejidos vegetales o animales y succionar los líquidos resultantes. Las mandíbulas y maxilas están modificadas en forma de estiletes afilados, se utilizan para perforar los tejidos del hospedero (Figura 6 b). La hipofaringe y el labio forman un canal de alimentación a través del cual el insecto succiona líquidos, como savia de plantas o fluidos corporales de animales (Gullan y Cranston, 2014). Este aparato se encuentra, por ejemplo, en insectos del orden Hemiptera, como chinches y áfidos, los cuales pueden alimentarse de la savia de plantas o de sangre en especies hematófagas.
3. Aparato bucal masticador lamedor: Este tipo se encuentra en las abejas (*Hymenoptera*). Las abejas utilizan su lengua larga y peluda para lamer y succionar néctar. El labio y las maxilas forman una estructura que ayuda a canalizar el líquido hacia la boca. Las mandíbulas se utilizan para masticar cera y manipular objetos (Figura 6 d).
4. Aparato bucal picador chupador: Característico de los mosquitos (Diptera) y los pulgones (Hemiptera), este aparato bucal está adaptado para perforar tejidos y succionar líquidos (Figura 6 e). En los mosquitos, las mandíbulas y maxilas se han alargado y afilado para formar un estilete que perfora la piel, mientras que el labio forma una vaina protectora (Gullan y Cranston, 2014).
5. Aparato bucal succionador (sifón): Común en mariposas y polillas (*Lepidoptera*), este tipo de aparato bucal está adaptado para succionar líquidos (6 f). La probóscide, una estructura tubular enrollada también denominada espiritrompa, se desenrolla para alcanzar néctar en las flores (Figura 6 f). Las mandíbulas están reducidas o

ausentes, y las maxilas se han alargado para formar la probóscide (Ortega et al., 2021)

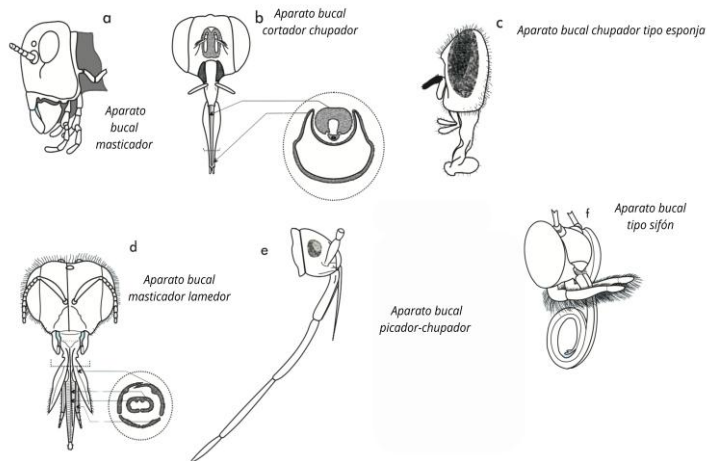


Figura 6.- Tipos de aparato bucal en insectos: a) masticador, b) cortador chupador, c) chupador, d) masticador lamedor, e) picador chupador, f) tipo sifón
Fuente: Bustillo (2008)

3.2.2 Los ojos

La cabeza de los insectos también alberga los ojos de tipo compuestos, que están formados por múltiples unidades receptoras llamadas omatidios (Figura 7). Estos ojos proporcionan una visión en mosaico, donde cada omatidio capta una pequeña porción del campo visual, permitiendo a los insectos percibir movimientos con gran precisión (Tripplehorn y Johnson 2005; Ortega et al., 2021). Los ojos compuestos se ubican de manera lateral en la cabeza y su forma es característica de cada orden y familia (Figura 7), y están presentes principalmente en los órdenes: Díptera (moscas), Himenóptera (abejas y avispas) y Coleóptera (escarabajos). El tamaño de los ojos compuestos se puede usar para relacionarlo con el dimorfismo sexual (diferencias morfológicas entre hembra y macho): en la mosca casera el macho tiene los ojos grandes (Holópticos) y las hembras pequeñas (Dicópticos) (de La Cruz Lozano 2005; Chapman, 2013).

Además de los ojos compuestos, los insectos poseen ojos simples llamados ocelos, que detectan cambios en la intensidad de la luz y ayudan en la orientación espacial, se ubican por lo general en la parte superior de la cabeza, formando un triángulo entre los ojos compuestos y las antenas (Figura 7). Aunque no proporcionan una imagen detallada del entorno, los ocelos son importantes para la detección de cambios en la luz (de La Cruz Lozano, 2005). Los ocelos son comunes en insectos del orden Hymenóptera, como las avispas (familia Vespidae) y las abejas (familia Apidae), donde ayudan en la navegación y orientación durante el vuelo.

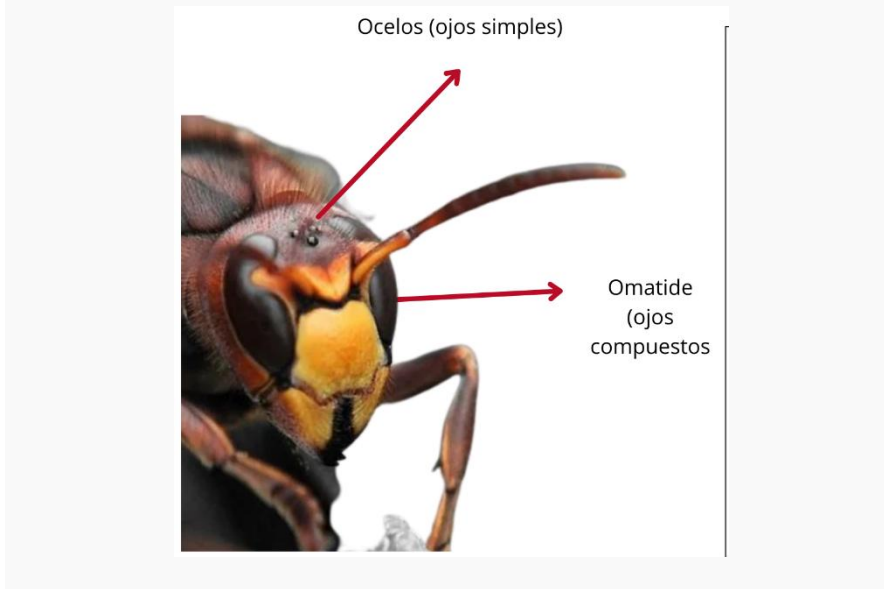




Figura 7. Tipos y ubicación de ojos compuestos en insectos
Generado en Canvas

3.2.3 Las antenas

Las antenas de los insectos son estructuras sensoriales ubicadas en la parte anterior de la cabeza, generalmente entre o por encima de los ojos compuestos (Chapman, 2013). Estas estructuras están formadas por tres piezas (Figura 8): el escapo, el pedicelo y el flagelo (Gullan y Cranston, 2014). El escapo es la base de la antena y se conecta directamente a la cabeza del insecto; el pedicelo es la sección intermedia y suele ser la más pequeña; el flagelo es la parte más larga y segmentada, que puede variar en forma y tamaño según la especie (Bustillo 2008, Chapman, 2013).

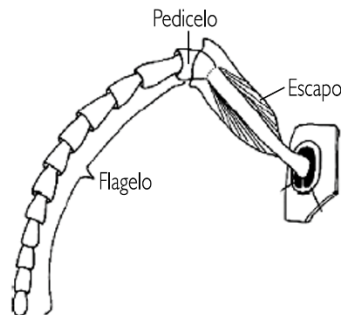
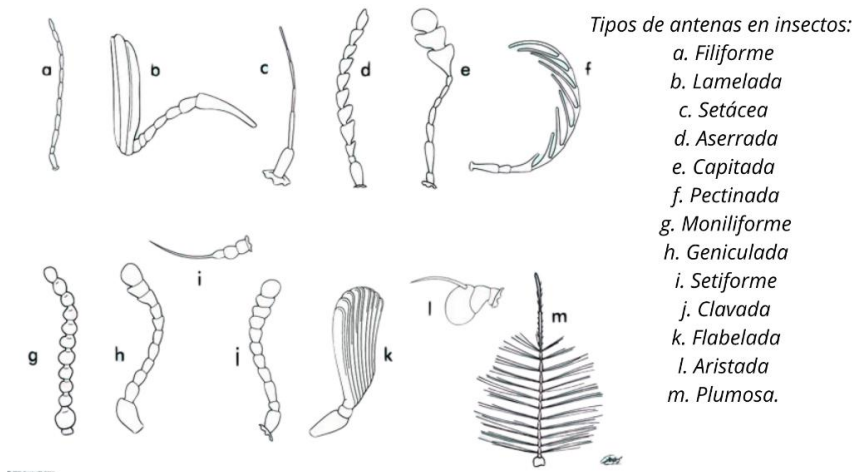


Figura 8.- Parte de las antenas en los insectos
Fuente: Bustillo (2008)

Las antenas cumplen múltiples funciones, que incluyen la detección de olores, vibraciones, cambios en la temperatura y humedad, y en algunos casos, incluso sonidos (Gullan y Cranston, 2014). Estas funciones están en relación con el tipo de antenas (Figura 9). Por ejemplo, las antenas filiformes (Figura 9 a), que son largas y delgadas, se encuentran en insectos como los grillos (Orden: Ortóptera, familia Gryllidae) que las utilizan para detectar vibraciones en el suelo (Bustillo 2008; Chapman, 2013). Las antenas plumosas, que tienen una apariencia de plumas (Figura 9 m), son comunes en polillas (Orden: Lepidóptera, familia Saturniidae) y son altamente eficientes para detectar feromonas en el aire (Gullan y Cranston, 2014). Otro tipo de antenas, las antenas geniculados, que tienen una forma de codo, son características de las hormigas (Orden: Himenóptera, familia Formicidae) y son cruciales para la comunicación y navegación dentro de la colonia (Chapman, 2013). La diversidad en la forma y función de las antenas refleja la adaptación de los insectos a sus respectivos entornos y modos de vida, demostrando su importancia evolutiva y ecológica (Gullan y Cranston, 2014; Grimaldi 2023).



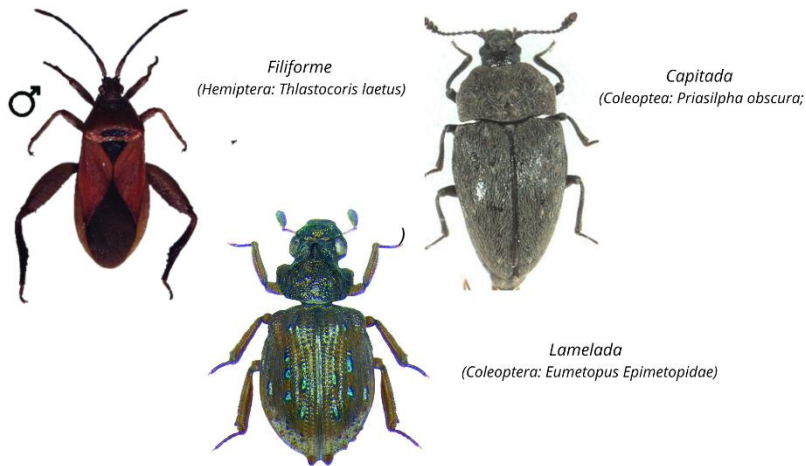


Figura 9.- Tipos de antenas en insectos
Fuente: Balke et al., (2004), Bustillo (2008), Oliveira (2023)

3.3 El tórax

El tórax de los insectos es una región crucial para la locomoción y está compuesto por tres segmentos: el protórax, el mesotórax y el metatórax (Figura 10). Cada uno de estos segmentos tiene funciones específicas y alberga diferentes apéndices que son esenciales para el movimiento y otras actividades vitales.

El protórax es el primer segmento y generalmente soporta el primer par de patas. El mesotórax, el segundo segmento, no solo soporta el segundo par de patas, sino también el primer par de alas en los insectos alados (Gullan y Cranston, 2014). Finalmente, el metatórax, el tercer segmento, soporta el tercer par de patas y el segundo par de alas (Figura 10) (Gullan y Cranston, 2014).

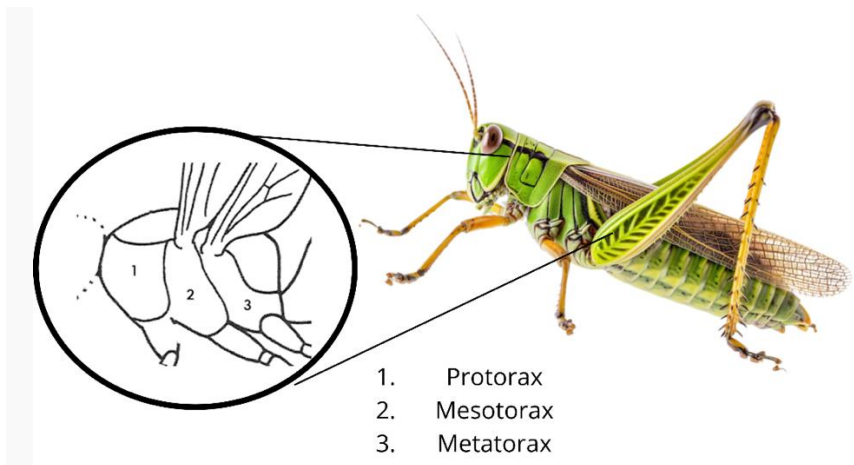


Figura 10- Segmentos que conforman el tórax en los insectos (representación de un Ortóptero)

Generado con Canvas

3.3.1 Las Alas

Las alas son estructura que permiten a los insectos desplazarse de un lugar a otro para buscar alimento, reproducirse y escapar de depredadores (Zumbado y Azofeifa 2018). Además, las alas pueden variar considerablemente en forma, tamaño y función, lo que refleja la diversidad y adaptabilidad de los insectos en diferentes entornos (Engel y Grimaldi, 2020).

Los insectos adultos se caracterizan por poseer dos pares de alas. Sin embargo, existen insectos sin alas, conocidos como ápteros, como algunas del orden Hemípteras como chinches, cochinillas y pulgones (Gullan y Cranston, 2014).

Otros insectos, como Díptera (moscas) y Strepsiptera poseen solo un par de alas, el par faltante está representado por estructuras rudimentarias llamadas balancines o halterios, que se utilizan para equilibrar el vuelo (de La Cruz Lozano). Tienen forma de pequeñas mazas o palillos con una cabeza engrosada (Figura 11). Actúan como órganos sensoriales giroscópicos. Vibran rápidamente durante el vuelo en contrafase con las alas funcionales, detectando cambios en la rotación del cuerpo y enviando información al

sistema nervioso para mantener el equilibrio, la estabilidad y la orientación espacial durante el vuelo (Tripplehorn y Johnson 2005).

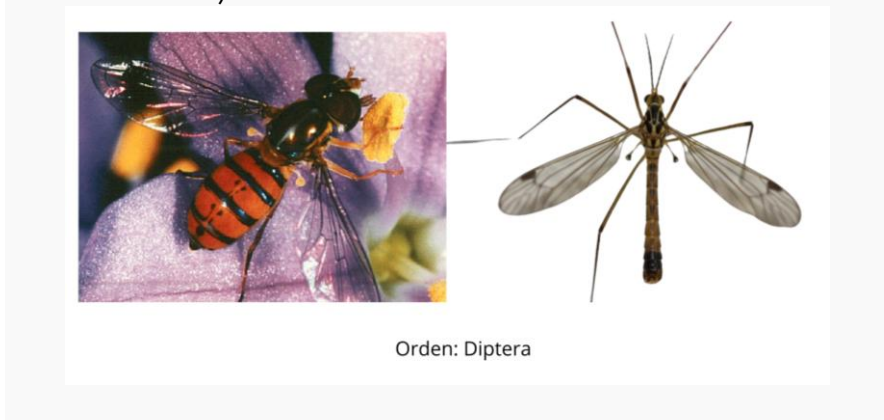


Figura 11.- Insectos con un solo par de alas Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f7/Nephrotoma_guestfalica.jpg/720px-Nephrotoma_guestfalica.jpg

Tipos de alas

La estructura de las alas tiene mucha variación es entre los órdenes de insectos, siendo una característica fundamental para una identificación rápida. Los tipos de alas más importante son:

1. **Alas Membranosas:** Estas alas son delgadas y transparentes, con un patrón de venas bien definido (Figura 12). Son comunes en insectos como las libélulas (orden Odonata) y las abejas (orden Himenóptera). Las alas membranosas permiten un vuelo ágil y rápido, lo que es crucial para la caza y la evasión de depredadores.
2. **Alas escamosas:** Las alas escamosas son propias del orden Lepidóptera, que incluye mariposas y polillas. Estas alas están recubiertas por escamas microscópicas, de forma aplanada y aspecto de espátula o lanza, adheridas a la membrana alar mediante un

pequeño pedúnculo (Figura 12). Están compuestas por quitina, al igual que el resto del exoesqueleto.

3. **Tegminas:** Son alas delanteras coriáceas y duras que protegen las alas traseras membranosas (Figura 12). Se encuentran en insectos como los saltamontes (orden Orthoptera), Mantis (Orden Mantodeae) y las cucarachas (orden Blattodea). Las alas tegminas proporcionan protección adicional y ayudan en la locomoción terrestre.
4. **Élitros:** Son alas delanteras endurecidas que protegen las alas traseras membranosas. (Figura 12) Se encuentran en escarabajos (orden Coleóptera). Los élitros no se utilizan para volar, sino que actúan como una cubierta protectora para las alas funcionales y el abdomen.
5. **Hemélitros:** Son alas delanteras parcialmente endurecidas, con la mitad basal coriácea y la mitad distal membranosa (Figura 12). Este tipo de alas es característico de los chinches (orden Hemíptera). Los hemélitros combinan protección y funcionalidad en el vuelo.





Alas Elitros



Alas Hemielitros

Figura 12. - Tipo de alas en insectos: a) alas membranosas (Orden Odonata), b) alas tegminas, (Mantodea) c), alas escamosas (Orden Lepidoptera), d) alas tipo élitros (Orden Coleoptera), e) alas hemielitros (Orden hemiptera)

Generado en Canva

La venación en las alas de los insectos

Las alas de los insectos no son planas, tienen una red de venas compleja, que le dan fortaleza y estructura (Chapman, 2013). Existen muchas variaciones en la venación de los insectos lo que indica la gran diversidad de patrones de vuelo (Engel y Grimaldi, 2020). El conjunto de venas en las alas se denomina venación o nerviación (Gullan y Cranston, 2014). Debido a la amplia variedad de venación que presentan los insectos, sus alas proporcionan muchas características útiles para su clasificación (Figura 13).

El sistema más utilizado para describir la venación alar en insectos es el sistema de Comstock-Needham (1899) citado por Triplehorn y Johnson (2005), el cual identifica seis venas longitudinales principales: costa (C), situada en el borde anterior del ala; subcostal (Sc), radio (R), media (M), cúbito (Cu) y venas anales (A) (Figura 13). Todas, excepto la costa, pueden presentar ramificaciones (Snodgrass 1935; Triplehorn y Johnson, 2005).

La subcostal puede dividirse en Sc_1 y Sc_2 . El radio se bifurca en una rama anterior (R_1) y una posterior llamada sector radial (R_s), que puede dividirse nuevamente en hasta cuatro

ramas terminales. La media (M) también puede bifurcarse dos veces, generando cuatro ramas que llegan al margen alar (Figura 13). El cúbito (Cu) se divide típicamente en Cu₁ y Cu₂, aunque algunos autores proponen que Cu₁ se subdivide en Cu_{1a} y Cu_{1b}. Las venas anales (A), por lo general, no se ramifican y se denominan en orden anterior-posterior como 1A, 2A, etc.

Adicionalmente, las venas transversales conectan las venas longitudinales y se nombran según las venas que unen, como la medio-cubital (m-cu). Algunas tienen nombres específicos, como la vena humeral (h) y la sectorial (s).

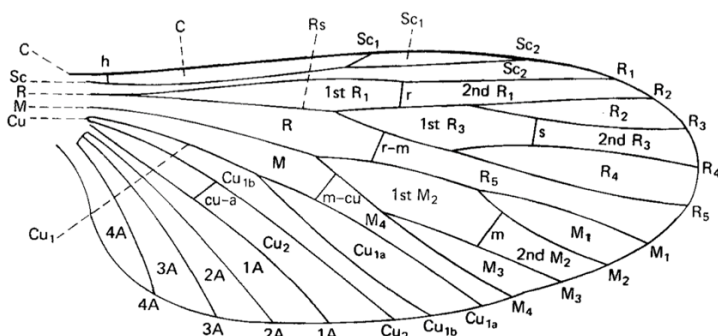


Figura 13.- Detalle de la venación en las alas de los insectos

Fuente: Triplehorn y Johnson (2005)

3.4. Las Patas

Las patas de los insectos son estructuras complejas y altamente especializadas que permiten una variedad de funciones, desde la locomoción hasta la manipulación de objetos, incluyendo caminar, correr, saltar, nadar y cavar (Adler 2009).

Cada pata está formada por varias piezas cada una con una función específica (Figura 14):

1. Coxa: Es la base de la pata y se conecta directamente al cuerpo del insecto. La coxa actúa como un punto de articulación que

permite el movimiento de la pata en diferentes direcciones.

2. Trocánter: Es la sección intermedia entre la coxa y el fémur. Aunque es generalmente pequeña, el trocánter permite la flexión y extensión de la pata, facilitando movimientos más precisos.
3. Fémur: Es la parte más robusta de la pata y está diseñada para soportar la carga y proporcionar fuerza al saltar o caminar. El fémur es crucial para movimientos como el salto en los saltamontes (familia *Acrididae*) y la excavación en los escarabajos peloteros (familia *Scarabaeidae*).
4. Tibia: Es la sección larga y delgada que sigue al fémur. La tibia proporciona estabilidad y soporte adicional, y en algunos insectos, está equipada con espinas o pelos que ayudan en la locomoción o la captura de presas.
5. Tarso: Es la parte distal de la pata y está formada por varios segmentos pequeños. El tarso permite una gran flexibilidad y precisión en los movimientos, y en muchos insectos, está adaptado para caminar en superficies verticales o irregulares.
6. Pretarso: Incluye las garras y almohadillas adhesivas en el extremo de la pata. Estas estructuras son esenciales para la adherencia a superficies y la manipulación de objetos. Por ejemplo, las garras en las patas de las mantis religiosas (familia *Mantidae*) son cruciales para atrapar y sujetar presas.

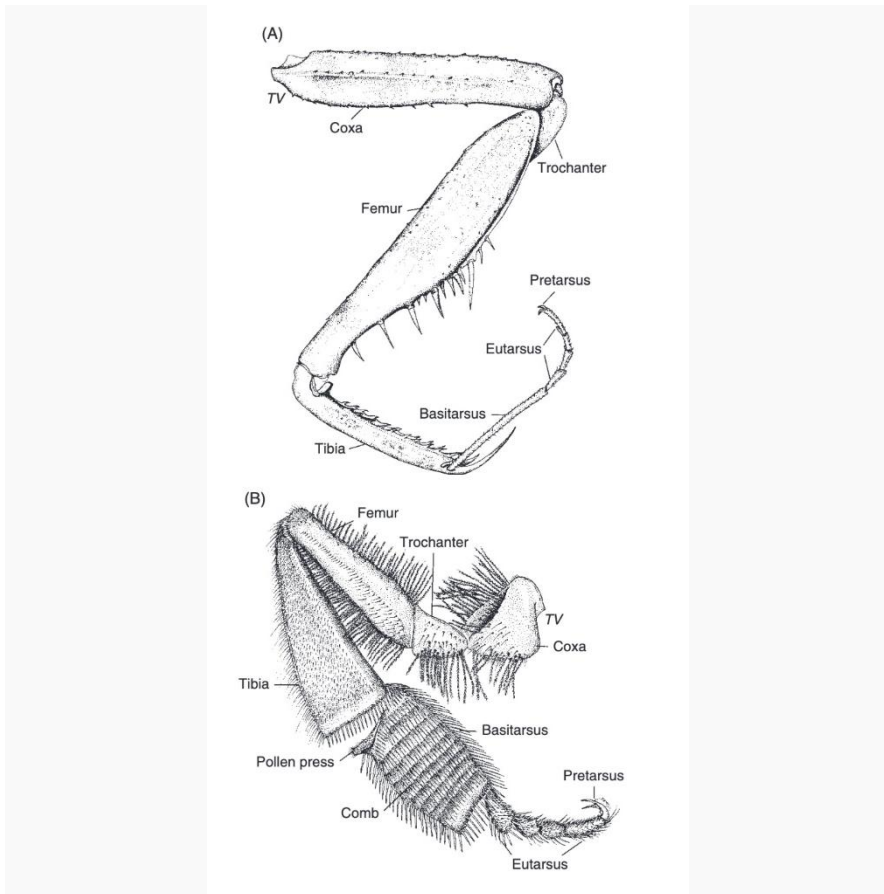


Figura 14.- Piezas que conforman las patas de los insectos: A) Pata raptora de *Staphylinus carolinus* ; B) Pata recolectora de *Apis mellifera*

Fuente: Adler (2009), ilustración de Vshivkova

Los tipos de patas en los insectos varían según su función y el entorno en el que viven (Figura 15), permitiendo su locomoción, así como su defensa y depredación en algunos casos (Chapman, 2013). A continuación, se detallan:

1. **Patas Caminadoras:** Estas patas son largas y delgadas, ideales para la velocidad y la agilidad en terrenos planos. Se encuentran en insectos como las cucarachas (familia *Blattidae*) y las hormigas (familia *Formicidae*).

2. **Patas Saltadoras:** Adaptadas para el salto, estas patas tienen un fémur y una tibia alargados y robustos. Son comunes en insectos como los saltamontes (familia *Acrididae*) y las pulgas (Orden Siphonaptera; familia *Pulicidae*).
3. **Patas Nadadoras:** En el tercer par de patas, los segmentos se aplanan horizontalmente y contienen pelos fuertes, dando la apariencia de un remo. Estas patas son comunes en escarabajos acuáticos (familia *Dytiscidae*).
4. **Patas Prensiles:** Adaptadas para atrapar y sujetar presas, estas patas tienen fuertes garras en sus extremos. Se encuentran en insectos depredadores como las mantis religiosas (Orden Mantodea familia *Mantidae*).
5. **Patas Colectoras:** Estas patas están cubiertas de pelos o setas que ayudan a recoger polen. Son comunes en abejas (Orden Hymenoptera familia *Apidae*), donde las patas traseras tienen estructuras especializadas para transportar polen a la colmena.

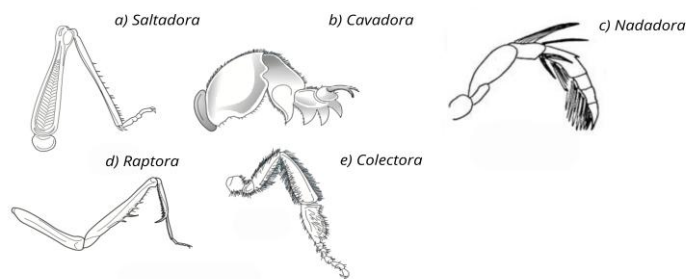


Figura 15.- Tipos de patas en los insectos: a) raptora (orden Orthoptera; b) cavadora; c) nadadora; d) raptora (orden Mantodea); e) colectoras (orden hemynoptera); f) prensil
Fuente: Rochas et al., (2019)

3. 5 El abdomen

El abdomen es la región posterior del cuerpo del insecto y generalmente está compuesto por lo general entre diez a once segmentos llamados urómeros (Gullan y Cranston, 2014). Los primeros siete segmentos abdominales de los adultos (los segmentos pregenitales) son similares en estructura y sin apéndices (Chapman, 2013). El abdomen es el menos especializado de las tagmas corporales, pero se ubican órganos importantes como los genitales masculino y femenino, y los apéndices no reproductivos como el ano y los cercos.

Los segmentos del abdomen están formados por un tergo (placa dorsal) también llamados tergitos, por esternitos (placa ventral) y áreas laterales membranosas que conectan estas dos estructuras, donde se ubican los espiráculos, estructura que permiten el intercambio de gases, facilitando la respiración en los insectos (Figura 16) (Tripplehorn y Johnson 2005).

En el abdomen también se encuentra la estructura de los genitales está asociada al conjunto de esternito abdominales, desde el octavo en adelante. El genital del macho se encuentran a partir del noveno esternito abdominal forman el órgano copulador conocido como edeago (Chapman, 2013). La genital de la hembra se conforma de pares de valvas provenientes de modificaciones de los segmentos octavo y noveno esternito, que forman el ovipositor, pieza involucrados en la deposición de huevos a través del ovipositor, sobre o dentro de un sustrato adecuado como el tejido vegetal (Gullan y Cranston, 2014).

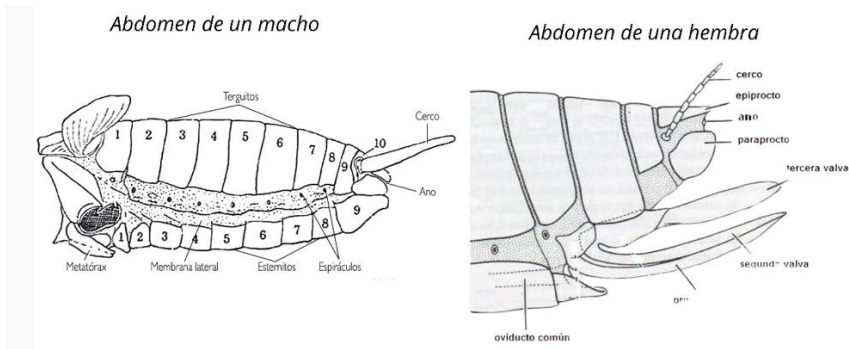


Figura 16. Diagrama del abdomen de los insectos: a) macho y b) hembra

Fuente: Rochas et al., (2019)

El abdomen puede unirse al tórax de distinta manera. Cuando la unión es en todo el perímetro, el abdomen se denomina sésil o sentado y la articulación puede considerarse nula o presentar un estrechamiento de dimensiones variables llamado pedunculado o pedicelado, como presentan ciertos himenópteros (Figura 17) (Adler 2009; Chapman 2013).



Figura 17.- Tipos de abdomen en insectos: a) pedunculado; b) sésil

Generadas en Canvas

En algunos insectos como por ejemplo en langostas, se observa el órgano timpánico en el primer segmento. Mientras en los últimos segmentos otros insectos presentan

los cercos apéndices sensoriales ubicados en el último segmento del abdomen y son comunes en insectos como los grillos (familia *Gryllidae*) y las cucarachas (familia *Blattidae*). Estos cercos ayudan a detectar vibraciones y cambios en el entorno, proporcionando una alerta temprana ante posibles depredadores (Chapman, 2013). En algunos himenópteros como la familia de *Vespidae*, el ovopositor está modificado en un aguijón que inyecta veneno, y los huevos son expulsados en la base del aguijón (Figura 18) (Chapman, 2013).

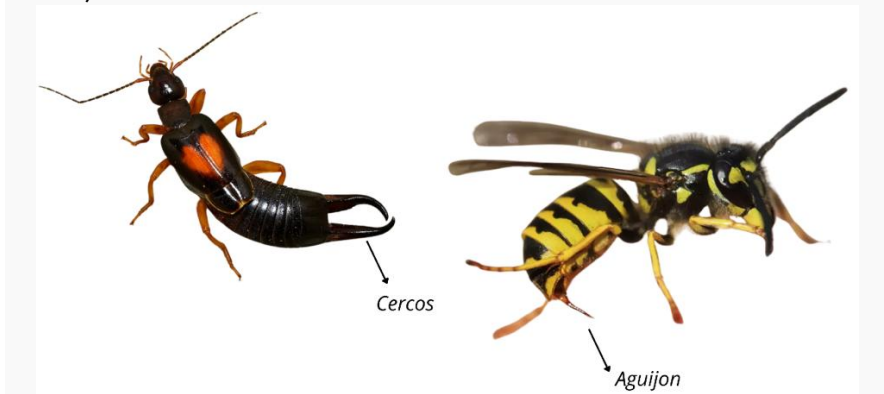


Figura 18.- Estructuras especializadas ubicada en el abdomen de los insectos: a) cercos (orden Dermaptera); b) aguijón (orden Hymenoptera)

Generado en Canvas

Síntesis y transición:

En el Capítulo III se analizó cómo el exoesqueleto, el aparato bucal, las antenas y otros órganos externos condicionan la manera en que los insectos se alimentan, respiran y vuelan, preparando al lector para el estudio de los sistemas internos.

Pregunta de transferencia: Dado un aparato picador-chupador, ¿qué muestreo utilizaría?"

Actividades Autónomas

Objetivo

Comprender la estructura y función del exoesqueleto y los órganos sensoriales de los insectos, y cómo estas características contribuyen a su supervivencia y adaptación.

Descripción de la actividad

Investigar sobre un insecto específico y realizar una presentación describiendo su exoesqueleto y órganos sensoriales, destacando cómo estas características le ayudan a adaptarse a su entorno. A continuación, dibujar un insecto y etiquetar sus partes principales, incluyendo el tipo de aparato bucal, las antenas, patas y alas explicando brevemente la función de cada parte.

Resultado de Aprendizaje

1. Describir las capas del exoesqueleto de los insectos y sus funciones.
2. Identificar las diferentes formas de los apéndices que forman en cada segmento que conforma el cuerpo del insecto.

Autoevaluación capítulo 3

1. ¿Qué caracteriza estructuralmente a los insectos en cuanto a su organización corporal?

- a) Segmentación continua y patas no articuladas
- b) Exoesqueleto y tagmosis en cabeza, tórax y abdomen
- c) Esqueleto interno y simetría radial
- d) Presencia de dos tagmas y endoesqueleto

2. ¿Qué función cumple principalmente la epicutícula en los insectos?

- a) Soporte estructural interno
- b) Formación de las alas
- c) Barrera impermeable contra deshidratación y patógenos
- d) Facilitación de la locomoción

3. ¿Cuál de los siguientes tipos de aparato bucal es característico de insectos como las mariposas?

- a) Masticador
- b) Cortador-chupador
- c) Succionador (sifón)
- d) Picador-chupador

4. ¿Qué segmento del tórax sostiene el primer par de alas en los insectos alados?

- a) Protórax
- b) Mesotórax
- c) Metatórax
- d) Epítórax

5. ¿Qué estructuras componen las antenas de los insectos?

- a) Trocánter, fémur y tibia
- b) Escapo, pedicelo y flagelo
- c) Clípeo, labro y mandíbulas
- d) Vértex, gena y occipucio

6. ¿Qué tipo de alas son características de los escarabajos (Coleoptera)?

- a) Tegminas

- b) Hemélitros
- c) Élitos
- d) Alas membranosas

7. ¿Cuál es el principal componente estructural del exoesqueleto de los insectos?

- a) Celulosa
- b) Quitina
- c) Colágeno
- d) Proteína queratínica

8. ¿Qué tipo de patas poseen los insectos adaptados para nadar?

- a) Saltadoras
- b) Caminadoras
- c) Nadadoras
- d) Prensiles

9. ¿Cómo se denomina la estructura en los insectos que detecta cambios en la intensidad de la luz?

- a) Omatidio
- b) Antena
- c) Ocelos
- d) Cercos

10. ¿Qué apéndices sensoriales se ubican en el último segmento del abdomen de algunos insectos como grillos y cucarachas?

- a) Halterios
- b) Cercos
- c) Ocelos
- d) Pretarsos

Referencias bibliográficas

- Adler, P. H. (2009). Legs. In *Encyclopedia of insects* (pp. 555-558). Academic Press.
- Bakshi, D., Kaushal, B., & Brar, P. S. (2024). Insect Morphology and Physiology: Insights into Form and Function. In *Entomology Redefined* (pp. 32-83). CRC Press.
- Balke, M., Jäch, M. A., & Hendrich, L. (2004). Insecta: Coleoptera. *Freshwater Invertebrates of the Malaysian Region*. Academy of Sciences Malaysia, Kuala Lumpur, 555-609.
- Behura, S. K. (2015). Insect phylogenomics. *Insect Molecular Biology*, 24(4), 403-411. <https://doi.org/10.1111/imb.12174>
- Bustillo P., A. E. (Ed.). (2008). *Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana*. Chinchiná (Colombia), Cenicafé.
- Chapman, R. F. (2013). *The Insects: Structure and Function* (5ª ed.). Cambridge University Press.
- Costa, C., & Ide, S. (2006). *Crecimiento y Muda*. In *Insectos inmaduros: metamorfosis e identificación*, Eds: Costa, Ide y Simonka. SEA, Volumen 5. 29-34.
- Engel, M. S., & Grimaldi, D. A. (2020). Insect evolution: A review of fossil evidence. *Annual Review of Entomology*, 65, 1-25. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025257>
- Gullan, P. J., & Cranston, P. S. (2014). *The Insects: An Outline of Entomology* (5ª ed.). Wiley-Blackwell.
- Herhold, H. W., Davis, S. R., DeGrey, S. P., & Grimaldi, D. A. (2023). Comparative anatomy of the insect tracheal system Part 1: Introduction, apterygotes, Paleoptera,

- Polyneoptera. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 459(1), 1-184
- Headrick, D. Gordh, G (2009). anatomy: Head, thorax, abdomen, and genitalia. Resh, V. H., & Cardé, R. T. (Eds.). *Encyclopedia of insects*. Academic press.
- Misof, B., Liu, S., Meusemann, K., Peters, R. S., Donath, A., Mayer, C., Frandsen, P. B., ... & Zhou, X. (2014). Phylogenomics resolves the timing and pattern of insect evolution. *Science*, 346(6210), 763-767. <https://doi.org/10.1126/science.1257570>
- Nation Sr, J. L. (2022). *Insect physiology and biochemistry*. CRC press.
- Oliveira, S. P., Acioli, A. N., Silva, W. M., Pinheiro, F. S., Silva, N. M., & Costa, V. A. (2023). First Parasitism Record of the Eggs of *Thlastocoris laetus* Mayr, 1866 (Hemiptera: Coreidae) and New Host and Distribution Records for *Hadronotus vitripennis* (Masner, 1983)(Hymenoptera: Scelionidae). *Entomological Communications*, 5, ec05027-ec05027.
- Ortega J, Manobanda-Guamán M (Ed.) (2021) Entomología aplicada para Agropecuarios. Grupo COMPAS, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador. 155 p.
- Ricci, E. M., & Margaría, C. B. (2014). *Aparatos bucales de insectos: Estructura, funcionamiento, daños ocasionados de importancia agroforestal y hábitos de alimentación*. Universidad Nacional de La Plata.
- Rivera Berrío, J., & Rivera García, J. (2023). Escarabajos: coleópteros. Fondos Editorial Red Descartes, Córdoba, España.
- Rocha, Hoffmann & Souto. (2019). Insect morphology. En J. Vonk & T. K. Shackelford (Eds.), *Encyclopedia of animal cognition and behavior*. Springer Nature Switzerland
- Rogers, C. (2019). Arthropoda: Introduction to Crustacea and Hexapoda. En J. H. Thorp & D. C. Rogers (Eds.), *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates* (4ª ed.,

pp. 695-743). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385024-9.00017-4>

Snodgrass, R. E. (1935). *Principles of Insect Morphology*. Cornell University Press.

Trautwein, M. D., Wiegmann, B. M., Beutel, R., Kjer, K. M., & Yeates, D. K. (2012). Advances in insect phylogeny at the dawn of the postgenomic era. *Annual Review of Entomology*, 57, 449-468. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100538>

Triplehorn, C. A., & Johnson, N. F. (2005). Borror and DeLong's introduction to the study of insects. *Thomson Brooks/Cole, Belmont, California*.

Wipfler, B., Letsch, H., Frandsen, P. B., Kapli, P., Mayer, C., Liu, S., ... & Misof, B. (2019). Evolutionary history of Polyneoptera and interordinal relationships. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(1), 302-307. <https://doi.org/10.1073/pnas.1818200116>

Zumbado, M. A., & Azofeifa, D. (2018). *Insectos de Importancia Agrícola. Guía Básica de Entomología*. Heredia, Costa Rica: Programa Nacional de Agricultura Orgánica (PNAO).

Capítulo 4: Los Sistemas internos de los insectos

RESUMEN

El capítulo aborda la anatomía interna de los insectos, destacando la importancia de sus sistemas respiratorio, circulatorio, digestivo, nervioso, muscular y reproductivo en su adaptación al ambiente. El sistema respiratorio, compuesto por espiráculos, tráqueas, y traqueolas, permite la difusión directa de oxígeno a las células. El sistema circulatorio, abierto, por la vena dorsal y el homocelos, distribuye la hemolinfa y participa en funciones inmunológicas y termorregulación. El sistema digestivo, dividido en estomodeo, mesenterón y proctodeo, facilita la digestión, absorción de nutrientes y eliminación de residuos. El sistema nervioso presenta una organización descentralizada que incluye cerebro, ganglios y nervios periféricos, permitiendo respuestas rápidas y coordinadas. El sistema muscular, compuesto exclusivamente por músculo estriado, posibilita movimientos complejos relacionados con locomoción y vuelo. Finalmente, el sistema reproductivo, altamente variable, permite funciones complejas como almacenamiento de esperma, reproducción por partenogénesis y diversas estrategias reproductivas. Estos sistemas internos permiten a los insectos enfrentar desafíos ambientales complejos, lo que resulta crucial para su supervivencia y éxito evolutivo.

Objetivo de aprendizaje

- Reconocer la estructura y función general de los sistemas internos en insectos.
- Describir cómo los sistemas internos permiten adaptaciones específicas en diferentes ambientes.

INTRODUCCIÓN

Los insectos poseen sistemas internos altamente especializados que permiten su adaptación a diversos ambientes. Por esto es fundamental el estudio de la anatomía interna de los insectos para comprender su fisiología y comportamiento, aspectos esenciales en la entomología aplicada. Al conocer y entender el funcionamiento de sus principales sistemas las estrategias de control o de conservación serán más eficaces.

Los insectos se conforman en su interior de los sistemas: respiratorio, circulatorio, digestivo, nervioso, muscular y reproductivo (Figura 1), que desempeñan funciones críticas en el proceso de adaptación y supervivencia (Schoonhoven et al. 2005). El aparato digestivo, en particular, se destaca por su capacidad especializada de metabolizar una amplia gama de compuestos vegetales defensivos, lo que permite a los insectos herbívoros superar barreras químicas impuestas por sus plantas hospederas (Fürstenberg-Hägg, Zagrobelny y Bak, 2013). Además, el sistema circulatorio abierto, característico de los insectos, facilita el transporte eficiente de nutrientes, productos metabólicos y compuestos inmunológicos a través de la hemolinfa, posibilitando respuestas rápidas frente a sustancias tóxicas ingeridas desde tejidos vegetales (Schoonhoven et al., 2005). Por otra parte, el sistema nervioso central y periférico regula las respuestas sensoriales y motoras cruciales para la identificación, selección y consumo de plantas específicas, modulando las estrategias de alimentación según la percepción química y mecánica de las defensas vegetales (Ortega et al., 2021).

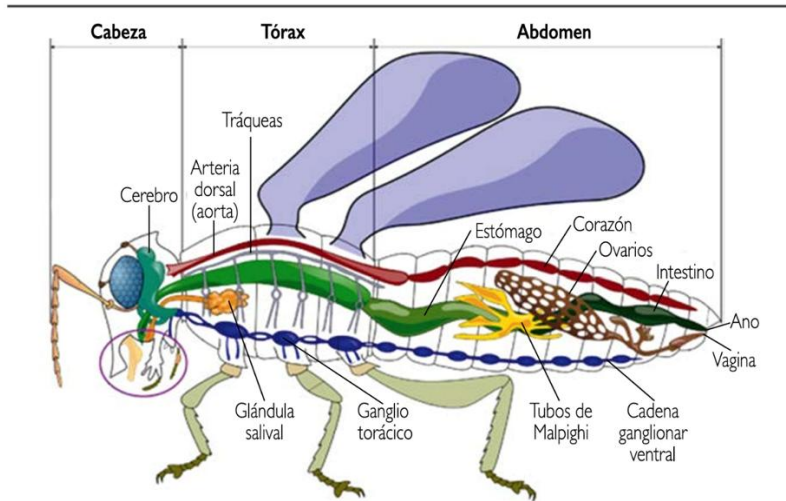


Figura 1.- Anatomía interna de los insectos

Fuente: [https://www.thoughtco.com/thmb/NNVh4Dzmflnd-7JvA_NlcqxVWA=/1500x0/filters:no_upscale\(\):max_bytes\(150000\):strip_icc\(\)/intanatomy-56a51ed65f9b58b7d0dae78c.jpg](https://www.thoughtco.com/thmb/NNVh4Dzmflnd-7JvA_NlcqxVWA=/1500x0/filters:no_upscale():max_bytes(150000):strip_icc()/intanatomy-56a51ed65f9b58b7d0dae78c.jpg)

4.1 Sistema Respiratorio

El sistema respiratorio de los artrópodos terrestres es una característica distintiva de este grupo de artrópodos altamente exitoso. Las tráqueas se presentan en miriápodos, algunos arácnidos como los Ácaros y en todos los hexápodos (Herhold, DeGrey y Grimaldi 2023). Las tráqueas conforman el sistema respiratorio de los insectos que transportan oxígeno al interior del insecto y se distribuye mediante difusión directamente a las células (Dade 2009; Chapman 2013; Harryson 2009; Gullan y Cranston 2014). Las principales características del sistema respiratorio traqueal son:

1. **Sistema Tráqueas:** En lugar de pulmones, poseen una red de tubos internos que se denominan tráqueas, que distribuyen el aire por todo el cuerpo. Este sistema lleva el

oxígeno directamente a los tejidos y recoge el CO_2 de las células.

2. **Espiráculos:** El aire entra al cuerpo a través de aberturas en el exoesqueleto llamadas espiráculos, situadas en los laterales de tórax y abdomen. Los espiráculos actúan como válvulas que se abren y cierran para regular el intercambio gaseoso y minimizar la pérdida de agua por evaporación. El número de espiráculos varía entre los insectos, el número más común de espiráculos en los insectos es de diez pares, distribuidos con dos pares en el tórax y ocho pares en el abdomen.
3. **Traqueolas:** Las tráqueas se ramifican internamente en tubos cada vez más finos que se denominan traqueolas que llegan a todas las células, para difundir el oxígeno directamente al citoplasma celular y el CO_2 se saca hacia fuera.
4. **Sacos aéreos:** El papel principal de los sacos aéreos es almacenar oxígeno en particular en insectos voladores, permitiendo la inhalación y exhalación de un volumen considerable de aire. Esta función mecánica es crucial para satisfacer las elevadas demandas de oxígeno necesarias para el vuelo, una actividad que consume mucha energía.

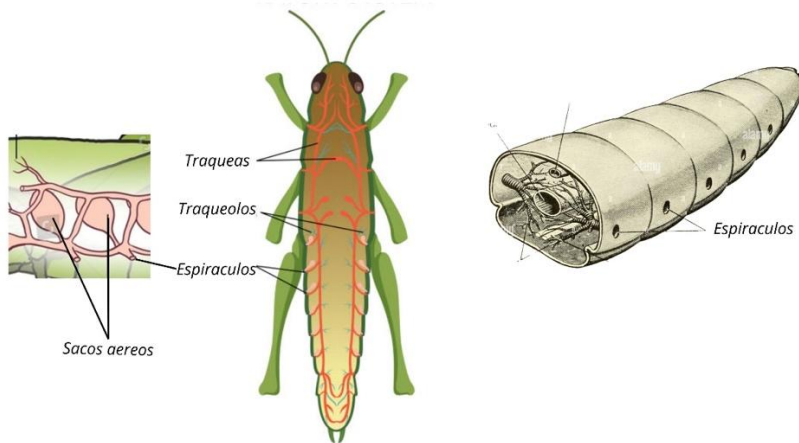


Figura 2.- Estructura del sistema de respiración tipo traqueal en los insectos: a) vista dorsal; b) vista lateral del abdomen

Generado en Canva

4.1.1 Funcionamiento del sistema respiratorio

La difusión y expulsión directa del oxígeno por el sistema respiratorio en los insectos se producen de la siguiente manera: el intercambio de gases ocurre por difusión a corta distancia a través de las paredes delgadas de las traqueolas, que proporcionan una superficie húmeda de contacto con las células (Harrison, 2009). En insectos pequeños, la difusión pasiva del aire es suficiente para oxigenar los tejidos, mientras que los insectos de mayor tamaño requieren ventilación activa: movimientos rítmicos del abdomen u otras partes del cuerpo bombean aire dentro y fuera de las tráqueas para satisfacer sus necesidades metabólicas (Chapman 2013). Tanto la difusión y expulsión directa de aire en los insectos está en relación con el número de espiráculos que permiten estas funciones. En los *Dytiscidae* (orden Coleoptera), el séptimo y el octavo par de espiráculos abdominales se abren para el ingreso de aire, mientras que los otros seis pares abdominales sirven principalmente para la expulsión del aire. En la familia notonectidae (orden

Hemiptera), solo el último par de espiráculos es de expulsión de aire.

Como se indicó, los insectos terrestres tienen un sistema traqueal abierto, es decir, con espiráculos abiertos al exterior (Harrison, 2009); sin embargo, ciertos insectos acuáticos como larvas de los órdenes Odonatos, Efemerópteros y Tricópteros presentan un sistema traqueal cerrado, sin espiráculos funcionales. En estos casos, el intercambio gaseoso ocurre a través de branquias traqueales (expansiones finas del tegumento irrigadas por tráqueas) o por difusión cutánea, permitiendo respirar bajo el agua.

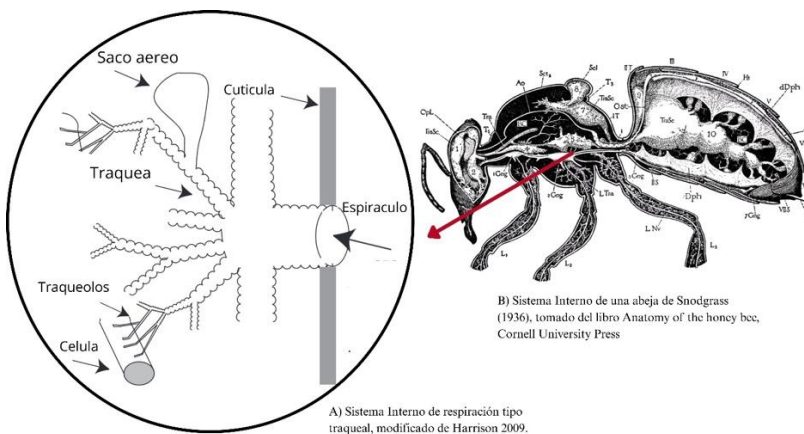


Figura 3.- Funcionamiento del sistema traqueal en los insectos

Modificado de Harrison (2009) y Herhold, DeGrey y Grimaldi (2023)

4.2 Sistema Circulatorio

El sistema circulatorio en los insectos desempeña un papel central en la regulación de numerosos procesos fisiológicos. Entre sus funciones principales se encuentran el transporte de nutrientes y hormonas hacia las células, así como la eliminación de productos de desecho. Además, este sistema participa activamente en las respuestas inmunológicas, en la regulación térmica del cuerpo, en el intercambio gaseoso,

en la facilitación del proceso de muda del exoesqueleto, cumpliendo así un rol multifuncional esencial para la supervivencia de los insectos (Hillyer y Pass, 2020).

El sistema circulatorio en los insectos (Figura 4) se compone de:

1. **Hemolinfa:** La hemolinfa es un fluido acuoso que contiene iones inorgánicos (como sodio, potasio, magnesio y calcio), moléculas orgánicas (incluyendo carbohidratos, lípidos y proteínas) y células conocidas como hemocitos (Chapman, 2013). A diferencia de la sangre de los vertebrados, la hemolinfa carece de glóbulos rojos y, por lo tanto, no transporta oxígeno de manera significativa. En larvas de insectos, la hemolinfa puede representar entre el 15% y el 75% del volumen corporal, mientras que en adultos suele constituir menos del 20%. La hemolinfa desempeña funciones esenciales en la fisiología de los insectos (Lavine y Strand, 2002), contribuye al mantenimiento de la presión hidrostática interna, fundamental para procesos como la expansión de las alas durante la emergencia del adulto.
2. **Vaso dorsal:** El vaso dorsal generalmente se divide en un corazón dorsal en el abdomen y la aorta en el tórax. Ubicado en el abdomen, el corazón dorsal es un tubo muscular que se contrae para impulsar la hemolinfa hacia la cabeza y el tórax (Carreck et al., 2013; Salcedo et al., 2023). La hemolinfa entra al corazón a través de ostiolas, que son aberturas pareadas con válvulas que permiten el flujo unidireccional del fluido (Ravi et al., 2017). El rol de la aorta dorsal en los insectos consiste principalmente en liberar la hemolinfa en el hemocele de la cabeza (Hillyer y Pass 2020). A diferencia del corazón dorsal que participa

activamente en la succión de hemolinfa a través de ostiolos y en su propulsión mediante contracciones peristálticas, la aorta no cumple funciones de bombeo ni de aspiración directa (Salcedo et al., 2023). Su tarea esencial es actuar como un conducto que transporta la hemolinfa impulsada por el corazón, permitiendo su distribución eficiente hacia la región cefálica del cuerpo.

3. **Órganos pulsátiles:** Los insectos poseen órganos pulsátiles accesorios que facilitan la circulación de la hemolinfa hacia las extremidades y otros apéndices como las antenas, patas, alas y diversos procesos abdominales largos, por ejemplo, cercos y ovipositor (Ravi et al., 2017). Los órganos pulsátiles también se denominan corazones accesorios. Estos órganos suelen funcionar de forma autónoma.
4. **Hemocele:** A diferencia de los sistemas circulatorios cerrados de los vertebrados, en los insectos la hemolinfa no se encuentra confinada en vasos sanguíneos, sino que se mueve dentro de una cavidad corporal abierta que se denomina hemocele, bañando directamente los órganos y tejidos (Carreck et al., 2013; Hillyer y Pass 2020). Hemocele no solo constituye el espacio por donde circula la hemolinfa, sino que también es una estructura dinámica que interviene en la regulación de la presión interna, la distribución de fluido y el sostenimiento de funciones fisiológicas fundamentales como la termorregulación, la defensa inmune y la excreción (Salcedo et al., 2023).

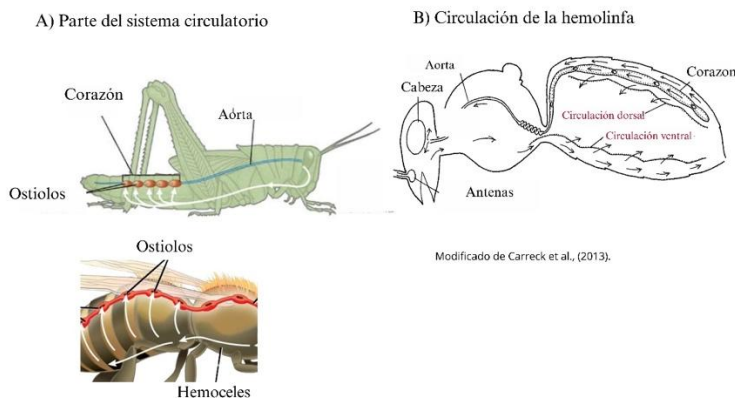


Figura 4.- Sistema circulatorio en los insectos

Fuente: Carreck et al., (2013)

4.2.1 Funcionamiento del sistema circulatorio

El sistema circulatorio de los insectos está estrechamente vinculado al patrón dinámico del flujo de la hemolinfa, que responde a las condiciones fisiológicas del organismo. Durante actividades metabólicamente demandantes como el vuelo, la locomoción o en situaciones de estrés térmico, se incrementan tanto la frecuencia como la fuerza de las contracciones cardíacas, con el propósito de mantener una adecuada termorregulación, para asegurar la distribución eficiente de nutrientes y facilitar la eliminación de desechos metabólicos (Hillyer y Pass, 2020; Ravi et al., 2017).

La Figura 5, se ilustra el funcionamiento del sistema circulatorio en un espécimen del orden Orthoptera, específicamente el saltamontes *Schistocerca americana* presentado por Salcedo et al., (2023). Como se indicó los insectos se caracterizan por la libre circulación de la hemolinfa, la cual es impulsada principalmente por el vaso dorsal hacia diversas estructuras del cuerpo, incluidas las alas. Este proceso circulatorio se complementa con estructuras especializadas como los "corazones asesorías alares torácicos", encargadas específicamente de facilitar el bombeo efectivo de la hemolinfa hacia y desde las alas. Tales estructuras desempeñan un papel crítico en el

mantenimiento de la integridad fisiológica de las alas, particularmente durante el vuelo, actividad en la que la demanda metabólica es alta y constante (Salcedo et al., 2023).

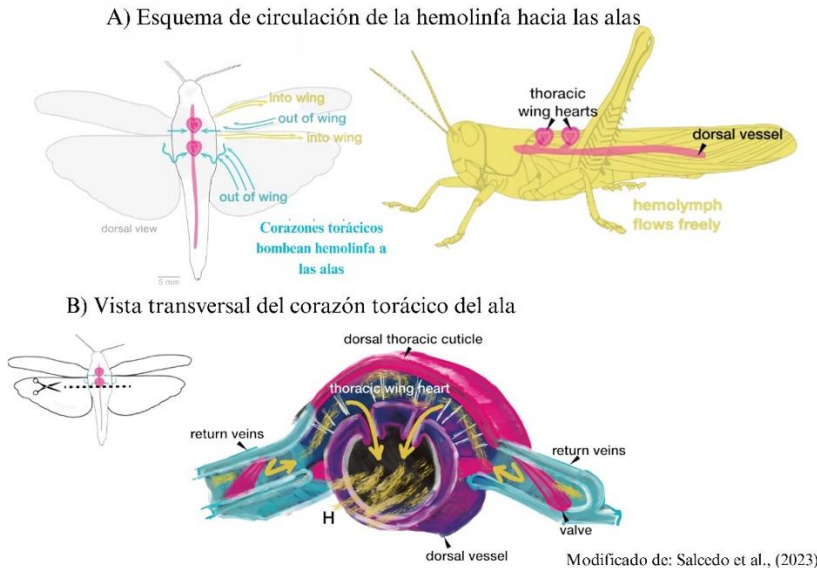


Figura 5. funcionamiento del sistema circulatorio en *Schistocerca americana*

Fuente: Salcedo et al., (2023)

as

4.3 Sistema Digestivo

El sistema digestivo de los insectos es responsable de extraer nutrientes y otras sustancias de los alimentos que consumen. La mayoría de los alimentos que se ingieren primero deben someterse a reacciones catabólicas para descomponerse en moléculas más pequeñas (como aminoácidos, azúcares simples, etc.) antes de ser utilizadas por las células del cuerpo para obtener energía, para el crecimiento o la reproducción (Nation 2022). El proceso de descomposición de los alimentos se conoce como digestión. El sistema digestivo de los insectos, según Chapman (2013) y Gullan y Cranston (2010), se divide en tres regiones principales: (Figura 6):

1. **Estomodeo (intestino anterior):** incluye la faringe y el esófago, en ciertas especies forma una dilatación que se llama buche o crop, su función principal es almacenar temporalmente el alimento después de la ingestión (Gullan y Cranston 2010). El buche actúa como una cámara de reserva que permite a los insectos consumir grandes cantidades de alimento en poco tiempo y digerirlo gradualmente (Chapman, 2013). El estomodeo incluye también el proventrículo, estructura ubicada al final del intestino anterior (estomodeo), justo antes del intestino medio (mesenterón). Su función principal es la trituración mecánica del alimento, actuando como una especie de filtro o válvula que regula el paso de partículas hacia el intestino medio (Chapman, 2013)
2. **Mesenterón (intestino medio):** sitio principal de digestión y absorción, con células epiteliales secretoras de enzimas. Es el sitio principal de digestión y absorción de nutrientes. Las células epiteliales producen enzimas digestivas que incluyen proteasas, amilasas y lipasas, que actúan sobre proteínas, carbohidratos y lípidos, respectivamente (Gullan y Cranston 2010).
3. **Proctodeo (intestino posterior):** Absorbe agua y sales, concentrando los desechos antes de su eliminación. Esta región incluye estructuras como el íleo, el colon y el recto (Chapman, 2013; Gullan y Cranston, 2010). En algunos insectos, como la broca del café (*Hypothenemus hampei*), el proctodeo es responsable de la formación de una pasta semisólida que se expulsa como excreta.

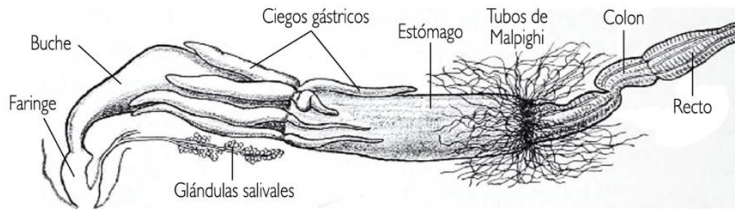


Figura 6.- Estructura del sistema digestivo en los insectos

Fuente:

https://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/Colecciones/Colibri/insectos/imgs/ins_6-7b.jpg

4.3.1 Hábitos alimenticios de los insectos

Los insectos presentan una notable diversidad en sus estructuras bucales, adaptadas a su dieta y modo de alimentación; por ejemplo, las orugas de lepidópteros poseen mandíbulas robustas diseñadas para masticar hojas, mientras que los hemípteros cuentan con estiletes especializados para perforar tejidos vegetales. En el sistema digestivo, el proventrículo cumple funciones importantes, como en ciertos coleópteros de la familia curculionidae, donde actúa como una molleja que tritura semillas. Además, en algunas especies como las larvas de *Passalus punctatostriatus* (orden Coleóptera) se han identificado cámaras en el íleon que albergan hifas fúngicas endosimbiontes capaces de degradar celulosa, lo que evidencia una compleja interacción simbiótica que facilita la digestión de materiales vegetales recalcitrantes (Chapman 2013). Estas adaptaciones morfofisiológicas reflejan la estrecha relación entre la anatomía interna de los insectos y su ecología alimentaria.

Respecto a su hábito alimenticio los insectos se clasifican como:

1. Herbívoros o fitófagos: aquellos que consumen plantas o sus partes (raíces, tallos, hojas, flores o sus partes, néctar, polen, frutos o semillas).
2. Carnívoros: los depredadores, que se alimentan de carne o de otros insectos.

3. Omnívoros: en su dieta incluyen materia vegetal y animal, pueden, por ejemplo, alimentarse de plantas y también de otros insectos.
4. Detritívoros: los que consumen materia orgánica en descomposición. También se les llama descomponedores y saprófagos.
5. Fluidófagos: se alimentan de líquidos.
6. Hematófagos: se alimentan de sangre, usualmente de vertebrados.

4.4 Sistema Nervioso

Los libros de Chapman (2013), Gullan y Cranston (2010), y Nation (2008), indican que el sistema nervioso se divide en tres componentes principales: el sistema nervioso central, el sistema nervioso periférico y el sistema nervioso visceral o simpático, que coordina funciones motoras y sensoriales.

El sistema nervioso central está compuesto por un cerebro denomina ganglio supraesofágico, el ganglio subesofágico y la cadena nerviosa ventral (Figura 5).

El cerebro se subdivide en tres regiones: el protocerebro, que procesa la información visual proveniente de los ojos compuestos y ocelos; el deutocerebro, encargado de las señales olfativas y gustativas recibidas por las antenas; y el tritocerebro, que integra las señales del sistema digestivo anterior y conecta con el sistema nervioso visceral (Galizia y Rössler 2010). El ganglio subesofágico controla las piezas bucales y las glándulas salivales, mientras que la cadena nerviosa ventral, formada por ganglios segmentarios conectados por cordones nerviosos, coordina las funciones motoras y sensoriales a lo largo del cuerpo del insecto.

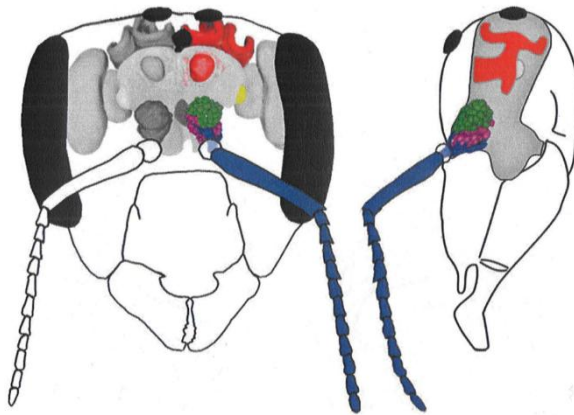


Figura 5.- Esquema del sistema nervioso central del insectos
Fuente: Galizia y Rössler (2010)

El sistema nervioso periférico consiste en nervios que se extienden desde los ganglios centrales hacia los músculos y órganos sensoriales, facilitando la transmisión de señales motoras y sensoriales.

Por su parte, el sistema nervioso visceral o simpático regula funciones autónomas como la digestión, la circulación y la reproducción. Incluye el sistema digestivo que inerva el tracto digestivo anterior y el corazón, y el sistema simpático terminal, que puede estar presente en algunos insectos y se encarga de la inervación del proctodeo y los órganos reproductores.

Esta organización descentralizada permite que los insectos realicen acciones complejas y coordinadas, incluso en ausencia de control cerebral directo, lo que refleja un alto grado de especialización y eficiencia en su sistema nervioso. Las adaptaciones evolutivas del sistema nervioso en los insectos reflejan un alto grado de especialización orientado a la eficiencia y la supervivencia en ambientes variables. Una de estas adaptaciones es la fusión de ganglios, como ocurre en la mosca doméstica, donde los ganglios torácicos y abdominales se integran en una sola masa nerviosa, optimizando la coordinación motora y permitiendo respuestas más rápidas. Otra característica destacada es la descentralización del control nervioso, que posibilita

respuestas inmediatas a estímulos sin la intervención directa del cerebro. Por ejemplo, en libélulas, esta organización permite reacciones motoras ágiles ante cambios en el entorno.

Un caso funcional de esta eficiencia puede observarse en las polillas macho: al detectar feromonas a través de las antenas, el deutocerebro activa las neuronas motoras responsables de dirigir el vuelo hacia la hembra. Al mismo tiempo, el sistema nervioso simpático ajusta la frecuencia cardíaca para sostener el esfuerzo físico necesario. Este equilibrio entre autonomía funcional y coordinación refleja una evolución que favorece la adaptabilidad conductual y fisiológica en los insectos.

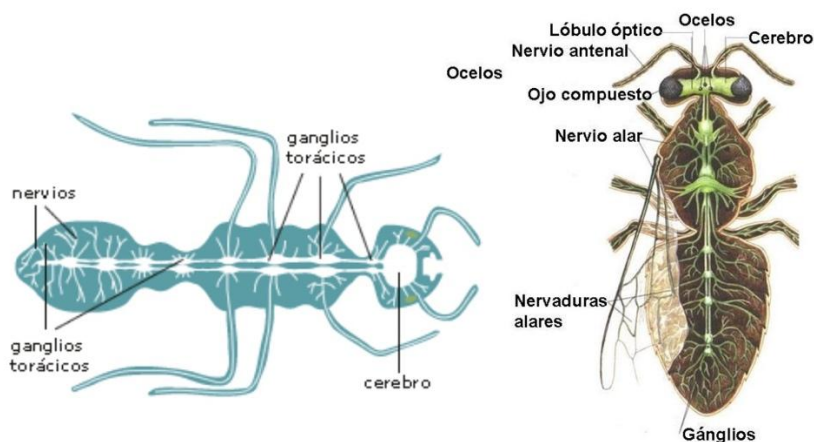


Figura 6.- Esquema del sistema nervioso periférico y simpático en los insectos

Fuente: <https://faunaespecializada.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/08/abeja-sistema-nervioso.jpg?w=660>

4.5 Sistema Muscular

El sistema muscular de los insectos está altamente especializado y adaptado a su exoesqueleto, permitiéndoles realizar movimientos complejos como la locomoción, el vuelo, la alimentación y la reproducción. A diferencia de los vertebrados, los insectos poseen únicamente músculo estriado, tanto para funciones somáticas (movimiento del

cuerpo y apéndices) como viscerales (músculos internos), lo que les proporciona una contracción rápida y eficiente (Gullan y Cranston, 2010; Nation, 2015).

La estructura básica del sistema muscular consiste en fibras musculares multinucleadas organizadas en haces, unidas al exoesqueleto por medio de tendones internos, también llamados tonofibrillas (Figura 7). Estas fibras se insertan en placas esclerotizadas internas del exoesqueleto, que actúan como puntos de anclaje, permitiendo la transmisión de fuerza durante la contracción (Josephson 2009). Los músculos se disponen principalmente en pares antagonistas, es decir, mientras un grupo se contrae, el otro se relaja, como ocurre con los músculos flexores y extensores en las patas o con los elevadores y depresores en las alas (Chapman, 2013).

Otra particularidad del sistema muscular es que las fibras musculares de anclaje no se descomponen durante el período de la muda (ecdisis). Por lo tanto, los músculos permanecen unidos a la pared del cuerpo, y el insecto conserva la capacidad de moverse mientras se forma una nueva cutícula (Trophorn y Johnson 2005).

Existen dos tipos principales de músculos en los insectos:

1. **Músculos directos**, que se insertan directamente en las estructuras móviles como las alas o las piezas bucales.
2. **Músculos indirectos**, que no se insertan directamente en la estructura móvil, sino en el tórax, y producen movimiento mediante deformaciones del exoesqueleto. Este tipo es característico del vuelo en insectos como las moscas o abejas.

La figura 7 presentada el movimiento de los muscular de las abejas al momento de volar, descrito en la obra de Dade (2009). La primera imagen (A) muestra los músculos

indirectos que intervienen en el movimiento de las alas. En la vista transversal del tórax (B), se observan dos configuraciones principales: los músculos longitudinales están contraídos y los verticales relajados, levantando así el techo del tórax y deprimiendo las alas. Los músculos verticales se contraen mientras que los longitudinales se relajan, provocando el descenso del techo torácico y la elevación de las alas.

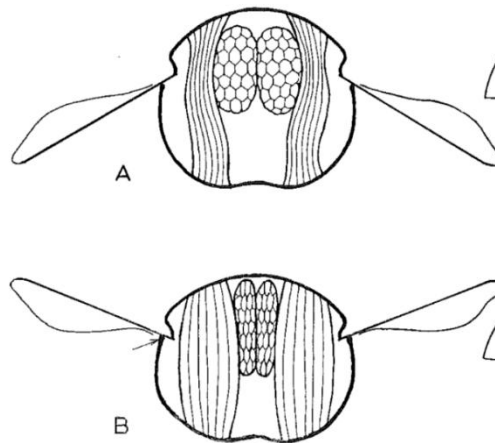


Figura 7.- Músculos longitudinales de las abejas

Fuente: Dade (2009)

4.6 Sistemas Reproductivo

El sistema reproductivo en los insectos presenta diferencias marcadas entre las especies, reflejando una gran diversidad adaptativa en función del tipo de reproducción, fecundación y desarrollo embrionario. A pesar de esta variabilidad, existen estructuras comunes a la mayoría de las especies (Chapman, 2013; Gullan y Cranston, 2010; Nation, 2015). El sistema reproductivo en los insectos es clave para su éxito evolutivo, ya que muchas especies pueden controlar la fecundación, almacenar esperma por largos periodos o incluso reproducirse por partenogénesis en ausencia de machos, dependiendo del grupo taxonómico (Dadaf et al., 2023).

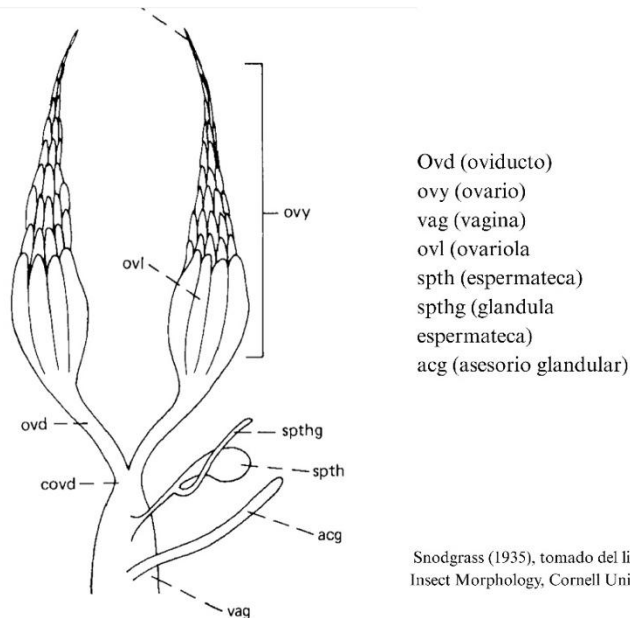
La morfología de los genitales de los insectos varía enormemente entre los órdenes, tanto en machos como en hembras. Estas diferencias están influenciadas por el desarrollo embrionario, la función específica de los órganos durante la cópula y la inseminación, y las presiones de selección sexual asociadas con los diferentes sistemas de apareamiento.

4.6.1 Sistema reproductor femenino

El aparato reproductor femenino de los insectos está compuesto por un par de ovarios, cada uno constituido por múltiples ovariolas, unidades en las que ocurre el desarrollo y maduración de los óvulos (Tripplehorn y Johnson, 2005). Cada ovario se conecta posteriormente a través de los oviductos laterales, los cuales convergen en un único oviducto común que desemboca en la vagina. Asociado con estas estructuras se encuentra la espermateca, órgano especializado en almacenar esperma recibido durante la cópula, lo que permite la fertilización diferida. Además, algunas especies poseen glándulas accesorias que secretan sustancias para proteger y adherir los huevos o formar estructuras como las ootecas (Tripplehorn y Johnson, 2005; Dadaf et al., 2023).

El número de ovariolas por ovario puede variar considerablemente entre especies, generalmente oscilando entre 4 y 8, aunque pueden existir casos extremos desde 1 hasta 200 o más. Las ovogonias, ubicadas en la región apical anterior de la ovariola (germario), se dividen mitóticamente generando ovocitos y trofocitos o células nodrizas. Según el tipo de ovariola, los trofocitos pueden permanecer en el germario (ovariolas telotróficas) o avanzar junto con los ovocitos (ovariolas politróficas), proporcionando ribosomas y ARN al ovocito. Las proteínas de la yema, conocidas como vitelogeninas, se producen externamente y son transportadas al ovocito mediante el epitelio folicular durante la vitelogénesis, incrementando notablemente su tamaño debido a la acumulación de reservas nutritivas como proteínas, lípidos y glucógeno. La maduración final de los

ovocitos involucra la formación de una membrana vitelina y la secreción del corion (cáscara del huevo) por parte del epitelio folicular. En muchas especies, los ovarios pueden aumentar considerablemente de tamaño previo a la oviposición, llegando a ocupar gran parte de la cavidad corporal y provocando una notable distensión abdominal (Tripplehorn y Johnson, 2005).



Snodgrass (1935), tomado del libro Principles of the Insect Morphology, Cornell University Press

Figura 8.- Órgano reproductor de una hembra
Fuente: Tripplehorn y Johnson (2005)

4.6.2 Sistema reproductor masculino

En los insectos macho, el sistema reproductor incluye un par de testículos compuestos por múltiples túbulos seminíferos o folículos, donde se produce y madura el espermatozoide. Estos túbulos están recubiertos por una capa peritoneal (Tripplehorn y Johnson, 2005). Desde los testículos, los espermatozoides pasan a través de tubos cortos denominados vasos eferentes, los cuales convergen en un conducto deferente en cada lado del cuerpo (Nadaf et al., 2023). Ambos conductos deferentes en general se unen

posteriormente, formando un conducto eyaculador mediano que desemboca en el órgano copulador externo, conocido como edeago o pene, el cual permite la transferencia directa de espermatozoides hacia la hembra durante la cópula (Gullan y Cranston, 2010; Tripplehorn y Johnson, 2005).

Algunos insectos poseen estructuras denominadas vesículas seminales, que son dilataciones laterales del conducto deferente destinadas al almacenamiento temporal de espermatozoides. Además, al igual que en el sistema femenino, existen glándulas accesorias que secretan fluidos seminales necesarios para la protección y transporte de los espermatozoides. En muchos casos, estos fluidos forman el espermatóforo, una cápsula protectora que alberga y asegura la transferencia efectiva de los espermatozoides (Nadaf et al., 2023).

La espermatogénesis, proceso mediante el cual se producen células germinales haploides a partir de espermatogonias diploides, generalmente concluye al alcanzar la etapa adulta del insecto. Los espermatozoides presentan una notable diversidad morfológica en los insectos, exhibiendo generalmente estructuras flagelares organizadas en un patrón característico de 9+9+2 microtúbulos, distintivo del grupo hexápodo (Tripplehorn y Johnson 2005)

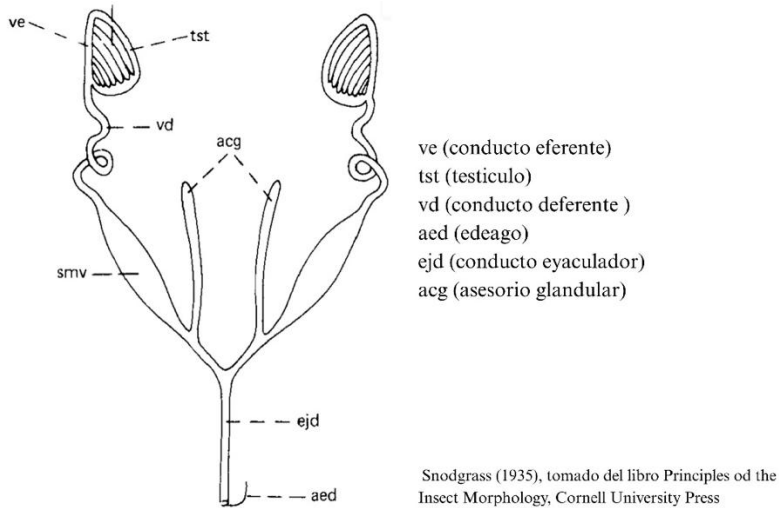


Figura 9. Órgano reproductor de una macho
Fuente: modificado de Tripplehorn y Johnson (2005)

Síntesis y transición:

En el capítulo IV se articula la fisiología ecológica con la regulación endocrina: el ambiente y el metabolismo modulan las mudas, el crecimiento y la fecundidad, definiendo ventanas de susceptibilidad.

Preguntas de transferencia: ¿Cómo variaría la tasa de desarrollo con un incremento de 2-3 °C en invernadero?

Actividad Autónoma

Objetivo: Identificar y comparar los sistemas respiratorio y circulatorio en dos órdenes diferentes de insectos.

Actividad: Investigar y elaborar una tabla comparativa con ilustraciones de los principales características de los sistemas respiratorio y circulatorio en los órdenes Coleoptera y Hemiptera.

Resultado de Aprendizaje: El estudiante podrá diferenciar las características funcionales y anatómicas específicas del sistema respiratorio y circulatorio entre distintos grupos taxonómicos de insectos.

Autoevaluación capítulo 4

Preguntas de Selección Múltiple

1. ¿Cuál estructura facilita el transporte de oxígeno directamente a las células en los insectos?
 - a) Pulmones
 - b) Alvéolos
 - c) Tráqueas
 - d) Bronquios

2. ¿Qué estructura regula la entrada y salida de gases en los insectos?
 - a) Tráqueas
 - b) Sacos aéreos
 - c) Traqueolas
 - d) Espiráculos

3. ¿Cuál es la función principal del vaso dorsal en los insectos?
 - a) Digestión de alimentos
 - b) Impulsar hemolinfa
 - c) Producir oxígeno
 - d) Regular temperatura

4. ¿Qué tipo de sistema circulatorio poseen los insectos?
 - a) Cerrado
 - b) Abierto
 - c) Semicerrado
 - d) Cardiovascular

5. ¿Dónde ocurre principalmente la digestión y absorción en los insectos?
 - a) Estomodeo
 - b) Mesenterón
 - c) Proctodeo
 - d) Traqueolas

6. ¿Qué tipo de músculo poseen exclusivamente los insectos?
 - a) Cardíaco
 - b) Liso
 - c) Estriado
 - d) Mixto

7. ¿Cuál componente del sistema nervioso procesa información visual?
 - a) Deutocerebro
 - b) Tritocerebro
 - c) Protocerebro
 - d) Ganglio subesofágico

8. ¿Cuál estructura almacena temporalmente el alimento ingerido por los insectos?
 - a) Proventrículo
 - b) Buche
 - c) Mesenterón
 - d) Íleo

9. ¿Dónde se almacenan los espermatozoides en las hembras insecto?
 - a) Vesículas seminales
 - b) Ovariolas
 - c) Espermateca
 - d) Oviducto

10. ¿Cuál es la principal característica funcional de los sacos aéreos?
 - a) Filtrar nutrientes
 - b) Producir hemolinfa
 - c) Almacenar oxígeno para el vuelo
 - d) Absorber agua

Referencias bibliográficas

- Bradley, T. J., & Hetz, S. K. (2005). *Nature*, 433(7025), 516-519. <https://doi.org/10.1038/nature03206>
- Carreck, N. L., Andree, M., Brent, C. S., Cox-Foster, D., Dade, H. A., Ellis, J. D., & Van Englesdorp, D. (2013). Standard methods for *Apis mellifera* anatomy and dissection. *Journal of Apicultural Research*, 52(4), 1-40.
- Chapman, A. D. (2013). *Numbers of living species in Australia and the world*. Australian Biodiversity Information Services.
- Dade, H. A. (2009). *Anatomy and dissection of the honeybee*. IBRA.
- Fürstenberg-Hägg, J., Zagrobelny, M., & Bak, S. (2013). Plant defense against insect herbivores. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(5), 10242-10297.
- Galizia, C. G., & Rössler, W. (2010). Parallel olfactory systems in insects: anatomy and function. *Annual Review of Entomology*, 55(1), 399-420.
- Gullan, P. J., & Cranston, P. S. (2014). *The insects: An outline of entomology* (5^a ed.). Wiley-Blackwell.
- Harrison, J. F. (2009). Tracheal system. En *Encyclopedia of insects* (pp. 1011-1015). Academic Press.
- Herhold, H. W., Davis, S. R., DeGrey, S. P., & Grimaldi, D. A. (2023). Comparative anatomy of the insect tracheal system Part 1: Introduction, apterygotes, Paleoptera, Polyneoptera. *Bulletin*

of the American Museum of Natural History,
459(1), 1-184.

Hillyer, J. F., & Pass, G. (2020). Circulatory system. *Current Biology*, 30(22), R1211-R1217. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.08.033>

Josephson, R. (2009). Muscle system. En *Encyclopedia of Insects* (pp. 675-680). Academic Press.

Lavine, M. D., & Strand, M. R. (2002). Insect hemocytes and their role in immunity. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 32(10), 1295-1309. [https://doi.org/10.1016/S0965-1748\(02\)00092-9](https://doi.org/10.1016/S0965-1748(02)00092-9)

Nadaf, A. R. M., Venukumar, S., Kumar, S. V., Kamleshbhai, T. P., & Sangavi, R. (2023). *Entomology redefined current trends and future directions* (Vol. 1). EPH.

Ravi Theja, V. Chintapalli, & Hillyer, J. F. (2016). Hemolymph circulation in insect flight appendages: Physiology of the wing heart and circulatory flow in the wings of the mosquito *Anopheles gambiae*. *Journal of Experimental Biology*, 219(24), 3945-395. <https://doi.org/10.1242/jeb.148254>

Salcedo, M. K., Jun, B. H., Socha, J. J., Pierce, N. E., Vlachos, P. P., & Combes, S. A. (2023). Complex hemolymph circulation patterns in grasshopper wings. *Communications Biology*, 6(1), 313. <https://doi.org/10.1038/s42003-023-04651-2>

Triplehorn, C. A., & Johnson, N. F. (2005). *Borror and DeLong's introduction to the study of insects* (7^a ed.). Brooks/Cole.

Capítulo 5: Reproducción y metamorfosis en los insectos

RESUMEN

El capítulo aborda aspectos fundamentales de la reproducción y metamorfosis en insectos, enfocándose en el ciclo de vida desde el huevo hasta el desarrollo adulto. Se describen detalladamente la estructura, función y diversidad morfológica del huevo, destacando la importancia del corión y la vitelina como elementos clave en el desarrollo embrionario. La fertilización, incluyendo mecanismos alternativos como la partenogénesis, se explica como el punto inicial del desarrollo embrionario. Posteriormente, se analizan las fases del desarrollo embrionario (segmentación, formación del blastodermo, diferenciación de capas germinales y organogénesis). El capítulo también detalla el proceso de oviposición y las variaciones reproductivas como ovoviviparidad y poliembrionía. Finalmente, se discuten los diferentes tipos de metamorfosis (ametábola, hemimetábola y holometábola), destacando cómo la ecdisis facilita el crecimiento discontinuo debido al exoesqueleto rígido, lo cual determina la transición desde estadios juveniles hasta adultos. Estos procesos subrayan la complejidad adaptativa y ecológica de los insectos.

Objetivos de aprendizaje

- Explicar las etapas fundamentales del desarrollo embrionario en insectos.
- Describir los distintos tipos de metamorfosis en los insectos y sus características.
- Analizar las estrategias reproductivas y variaciones morfológicas en huevos de insectos.

INTRODUCCIÓN

El ciclo de vida, así como la forma de reproducción constituyen componentes esenciales de la biología de los insectos. Estos aspectos permiten comprender los patrones de crecimiento, los mecanismos reproductivos y las estrategias adaptativas de sobrevivencia de los insectos. En este sentido, el estudio de toda su etapa reproductiva y los cambios morfológicos y fisiológicos en sus diferentes etapas representa un pilar clave dentro de la entomología aplicada (Truman y Riddiford, 1999).

El ciclo de vida de un insecto comprende dos fases distintas: el desarrollo embrionario, que ocurre dentro del huevo o cigoto, y el desarrollo post-embrionario, que comienza con la eclosión del huevo y continúa hasta que el insecto alcanza la madurez sexual. Pero, antes del desarrollo embrionario, se produce la fertilización de los óvulos, células que producen las hembras y que al ser fertilizados por los espermatozoides (células masculinas) da origen al huevo.

5.1 Huevo o cigoto

Los huevos en los insectos exhiben una notable diversidad morfológica y estructural, aunque mantienen características fundamentales que permiten su reconocimiento y estudio comparativo con otras células, como las membranas, el citoplasma y el núcleo (Figura 1). La primera membrana que recubre la estructura externa del huevo se conoce como corión, es una cubierta protectora secretada por las células foliculares del ovario materno, cuya función principal es resguardar al embrión frente a daños físicos, desecación y patógenos; además, su superficie puede presentar ornamentaciones como: costillas, redes o espinas, que resultan útiles en estudios taxonómicos (Truman y Riddiford, 1999; Gautam et al., 2014). El corión incorpora micrópilas (invaginaciones superficiales), que permiten la entrada de

espermatozoides durante la fertilización, y estructuras que facilitan el intercambio gaseoso, esencial para la respiración embrionaria, a menudo se encuentran en el extremo anterior del huevo (Gautam et al., 2014).

Internamente, los huevos contienen la vitelina (yema), que proporciona los nutrientes necesarios para el crecimiento del embrión (Figura 1). En los insectos de metamorfosis completa (holometábolos), la eclosión prematura podría estar causada por una reducción en la cantidad de vitelina almacenado en el huevo (Truman y Riddiford, 1999).

En el interior del huevo también se cuenta el citoplasma y el núcleo que conformarán el cigoto tras la fecundación (Chapman et al., 2013).

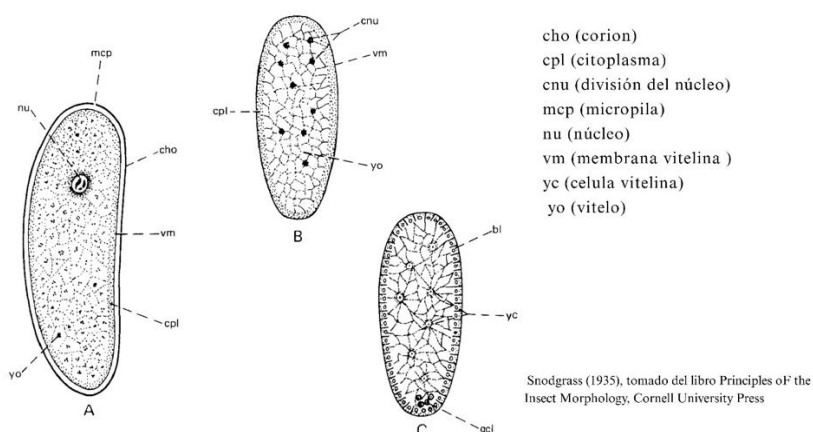


Figura 1.- Capas que conforman los huevos en los insectos

Fuente: Snodgrass (1935)

El tamaño del huevo, medido por su volumen, puede variar en más de ocho órdenes de magnitud (Chruch et al., 2018). En la Figura 2, se muestran varias formas de huevos que se extiende desde algunos de los huevos más pequeños, como los de la avispa parasitoide *Platygaster vernalis*, con un volumen de alrededor de $7 \times 10^{-7} \text{ mm}^3$ (Chruch et al., 2018), hasta los huevos más grandes, como los del

escarabajo barrenador de tierra *Bolboleus hiaticollis*, con un volumen de aproximadamente $5 \times 10^2 \text{ mm}^3$. En términos de longitud, algunos de los huevos más grandes pueden medir entre 10 y 15 mm de largo, como los de los géneros *Bolboleus*, *Xylocopa* (abejas carpinteras) y *Haaniella* (insectos palo) (Chruch et al., 2018). Los huevos más pequeños pueden tener una longitud de entre 20 y 100 micrómetros (μm), siendo comunes en avispa parasitoides como *Trichogramma*, *Aprostocetus procerae* y *Platygaster vernalis* (Chruch et al., 2019).

Aunque la forma de un huevo de insecto típico se puede aproximar a un elipsoide simple existe una increíble diversidad de formas (Donoughe 2022). Para cuantificar esta variación de forma, se pueden utilizar tres características principales: la relación de aspecto, la asimetría y el ángulo de curvatura (Church et al., 2019). La relación de aspecto se refiere a la proporción entre la longitud y el ancho del huevo, mientras que la asimetría cuantifica las variaciones en el ancho a lo largo del eje longitudinal. Por su parte, el ángulo de curvatura expresa el grado de desviación o curvatura del huevo respecto a un eje recto. Estas características morfológicas varían ampliamente entre especies, reflejando adaptaciones ecológicas específicas. Estudios recientes han demostrado que ciertas formas de huevo, como las de tipo elipsoide oblado (más ancho que largo) han evolucionado exclusivamente en grupos determinados, como las polillas y mariposas (Lepidóptera) y los insectos piedra (Plecóptera) (Church et al., 2019; Donoughe, 2022). Esta diversidad en la forma del huevo no solo tiene implicaciones taxonómicas, sino que también está estrechamente vinculada a factores ecológicos, más que al ritmo de desarrollo embrionario (Church et al., 2019).

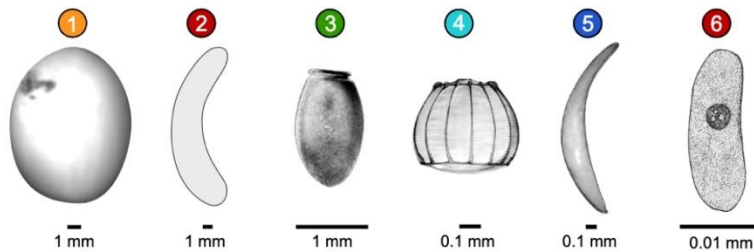


Figura 2.- Formas de huevos de insectos: 1) *Balboleaus hiaticollis* (escarabajo barrenador); 2) *Xylocopa latipes* (abeja carpintera); 3) *Rhodnius robustus* (chinche besucona); 4) *Marpesia chiron* (mariposa de bandas múltiples); 5) *Anastrepha distinelata* (mosca de la fruta); 6) *Platygaster vernalis* (avispa parasitoide)

Fuente: Chruch et al., (2018)

5.2 Desarrollo embrionario

El desarrollo del embrión ocurre después de la fertilidad del huevo, que en la mayoría de las especies de insectos se alcanza mediante reproducción sexual; sin embargo, existen mecanismos alternativos como la partenogénesis, en la que el desarrollo embrionario ocurre sin fertilización, siendo este fenómeno común en diversos órdenes, incluidos ciertos hemípteros e himenópteros (Nation 2016).

El proceso de fertilización sexual comprende varias fases secuenciales. Durante la cópula, el macho transfiere espermatozoides a la hembra, los cuales son almacenados en una estructura especializada denominada espermateca, donde pueden permanecer viables durante periodos prolongados, e incluso a lo largo de toda la vida reproductiva de la hembra (Chapman, 2013). Al momento que los óvulos maduros descienden por los oviductos y, al pasar por la abertura de la espermateca, entran en contacto con los espermatozoides, que penetran a través de las micrópilas iniciando así la activación del óvulo y permitiendo

la fusión de los núcleos masculino y femenino para formar el cigoto diploide (Gautam et al., 2014; Nation, 2016). En la mayoría de los insectos, este proceso de activación y fertilización es indispensable para el desarrollo embrionario exitoso.

Una vez formado el cigoto, se inicia el desarrollo embrionario, un proceso altamente regulado y secuencial que determina la conformación morfológica y funcional del insecto. La primera fase corresponde a la segmentación, una serie de divisiones celulares que conducen a la formación del blastodermo. A partir de esta estructura se diferencian las tres capas germinales primarias: ectodermo, mesodermo y endodermo, las cuales son responsables del desarrollo de los principales órganos y sistemas. Por ejemplo, el sistema digestivo presenta un origen mixto: el estomodeo (intestino anterior) y el proctodeo (intestino posterior) se originan del ectodermo, mientras que el mesenterón (intestino medio) deriva del endodermo (De la Cruz Lozano, 2005). En fases posteriores, se establece el plan corporal segmentado característico de los insectos y comienza la formación de apéndices. Esta etapa incluye la organogénesis, durante la cual las capas germinales se especializan para dar lugar a las estructuras internas y externas del organismo.

En los insectos holometábolos, que presentan metamorfosis completa, surgen estructuras embrionarias denominadas discos imaginales, compuestas por células indiferenciadas que permanecen inactivas durante la fase larval y se activan durante la pupa, formando los órganos del adulto como alas, patas, antenas y genitales (Eilenberg y van Loon, 2018). Finalmente, una vez completado el desarrollo embrionario, la larva o ninfa emerge del huevo mediante la ruptura del corión, ya sea por presión interna o con ayuda de estructuras especializadas como dientes embrionarios o expansiones cefálicas, dependiendo del grupo taxonómico (Gautam et al., 2014). Esta compleja sucesión de eventos asegura la organización precisa y funcional del insecto antes de su eclosión.

5.2.1 Oviposición

La oviposición, o proceso de depósito de los huevos, se realiza en sitios estratégicos seleccionados por la hembra para maximizar la supervivencia de la descendencia, incluyendo superficies vegetales, suelo, cuerpos de agua, tejidos internos de plantas o incluso dentro de otros organismos en casos de especies parásitas o parasitoides (Gautam et al., 2014; Ortega et al., 2021). Además del corión, muchas especies recubren los huevos con secreciones de glándulas accesorias, las cuales pueden formar masas gelatinosas, espumosas, sedosas o estructuras endurecidas como las ootecas, que agrupan y protegen varios huevos; también es común que las hembras utilicen escamas corporales, pelos o detritos para reforzar esta protección (Figura 3) (Chruch et al., 2018).

La oviposición en insectos puede clasificarse según distintos criterios. En función del sustrato, los huevos pueden depositarse sobre plantas (hojas, tallos, frutos), dentro de tejidos vegetales usando el ovipositor, en el suelo, en el agua (libres, adheridos, flotantes o insertados en plantas acuáticas), sobre o dentro de animales (parásitos y parasitoides), en materia orgánica en descomposición, o en estructuras como nidos (De la Cruz Lozano, 2005). Según la agrupación, puede ser aislada o agregada, formando masas, ootecas, cordones, cintas o anillos (Figura 3). En cuanto al método de oviposición, la deposición puede ser superficial o mediante inserción con ovopositor de la hembra en un sustrato.

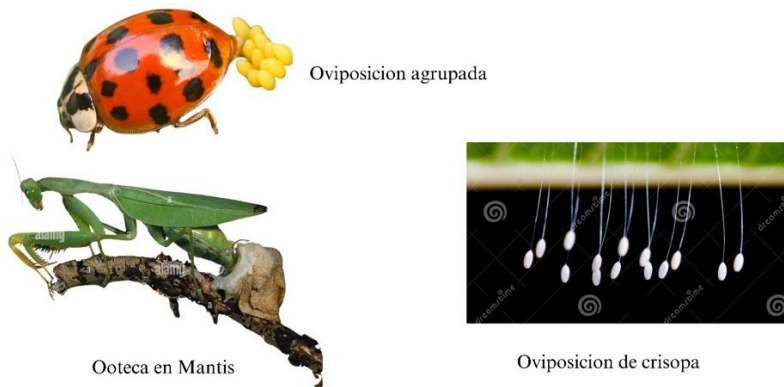


Figura 3.- Tipo de oviposición en los insectos

Generado en Canvas

5.2.2 Variaciones Reproductivas

Además de la reproducción sexual ovípara estándar, existen variaciones como la ovoviviparidad que involucra el desarrollo interno de los huevos y la nutrición del embrión puede provenir de la madre (Church et al., 2018; Church et al., 2019). También la poliembrionía es otra forma de reproducción sexual donde de un huevo da lugar a múltiples embriones (Ortega et al., 2021).

5.3 Desarrollo Post-embrionario

El desarrollo post embrionario en los insectos toma diferentes vías porque los insectos tienen un proceso de metamorfosis diferenciado. La metamorfosis (del griego *meta*, "cambio", y *morphe*, "forma") es un proceso biológico que se atribuye generalmente a un subconjunto de animales: los más conocidos son los insectos y los anfibios, aunque también ocurre en algunos peces y numerosos invertebrados marinos (Bisho et al., 2006).

5.4.1 Crecimiento y Muda (Ecdisis)

El crecimiento de los insectos es discontinuo debido a la presencia de un exoesqueleto (cutícula) rígido que limita la expansión corporal (Eilenberg y van Loon, 2018). Para crecer, el insecto debe deshacerse periódicamente de su vieja cutícula y formar una nueva más grande (Nation, 2016). Este proceso se denomina muda o ecdisis y comienza con la apolisis (separación de la epidermis de la vieja cutícula) y culmina con el desprendimiento de cutícula vieja o exuvia. El período entre mudas se llama estadio o instar, y el insecto pasa por varios instares antes de alcanzar la madurez (Eilenberg y van Loon, 2018).

5.4.2 Metamorfosis

Es el proceso de transformación desde el estado juvenil hasta el adulto. Existen principalmente tres tipos:

Ametabola (sin metamorfosis)

Los insectos que emergen del huevo se llaman juveniles y son muy similares a los adultos, excepto por su tamaño y la falta de madurez sexual (Figura 4). Crecen mediante mudas sucesivas, incluso después de alcanzar la madurez. Ejemplos: Thysanura, Collembola.

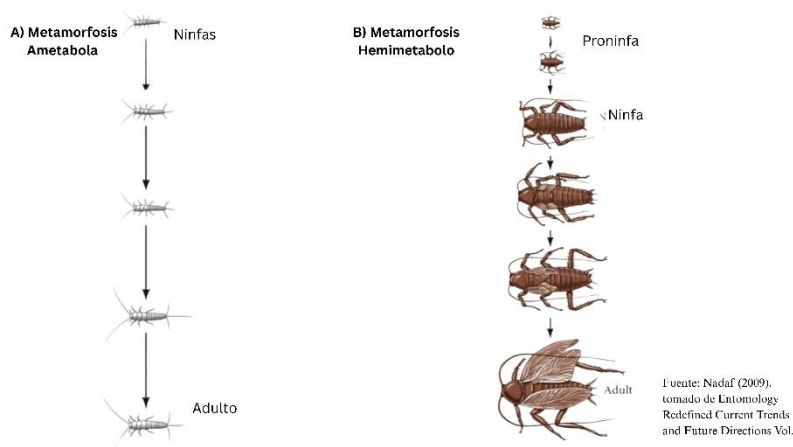
Hemimetabola (metamorfosis incompleta o Gradual)

Los cambios son graduales. Las etapas inmaduras se denominan ninfas. Las ninfas se parecen a los adultos en morfología general y a menudo comparten hábitat y dieta, pero carecen de alas funcionales y de órganos reproductores maduros (Figura 4). Las etapas son: huevo → ninfa (varios instares) → adulto (imago) (Ortega et al., 2021). Ejemplos: Saltamontes (Orthoptera), Chinchas (Hemiptera), Libélulas (Odonata). Se reconocen algunos subtipos como la prometábola (presencia de una etapa alada pero inmadura sexualmente) y la neometábola (se caracteriza por la existencia de etapas que el desarrollo se detiene temporalmente, se asemejan al estado de pupa).

Holometabola (metamorfosis completa)

Implica una transformación drástica. Las etapas inmaduras (larvas) son morfológica y ecológicamente muy diferentes de los adultos (Nadaf 2023), pueden tener aparatos bucales distintos, carecer de ojos compuestos, poseer patas abdominales o ser ápodos (Belles 2011). Las etapas por la que pasan son: huevo → larva (varios instares) → pupa → adulto (imago). Ejemplos: Mariposas y polillas (Lepidóptera), escarabajos (Coleoptera), moscas (Diptera), avispas, abejas y hormigas (Hymenoptera) (Ortega et al., 2021). Algunos insectos holometábolos también presentan hipermetamorfosis, que se caracteriza porque las larvas experimentan cambios morfológicos notables en sucesivos instares larvales antes de llegar a la etapa de pupa (Figura 4).

Los diferentes sistemas de apareamiento en insectos tienen una influencia significativa en la evolución de la dimorfia sexual genital (Belles, 2011). La oportunidad y la fuerza de la selección sexual, que varían según el sistema de apareamiento, son factores clave en la divergencia morfológica genital.





Fuente: Nadaf (2009), tomado de Entomology Redefined
Current Trends and Future Directions Vol.

Figura 4. Comparativa de metamorfosis; A) ametabola, B) hemimetabola y ; c) metabola
Fuente: Belles (2011) y Nadaf (2009)

Síntesis y transición:

En síntesis, el capítulo V, metamorfosis y reproducción como ejes para la toma de decisiones: estos procesos orientan el diseño del muestreo, la estimación de umbrales y la oportunidad táctica del MIP, articulando metas, evidencias y acciones.

Pregunta de transferencia: ¿Qué estadio (etapa) del ciclo de vida constituye el blanco óptimo para el control biológico y por qué?"

Actividad Autónoma

Objetivo: Investigar los tipos de metamorfosis y estrategias reproductivas en insectos de diferentes órdenes.

Descripción: Seleccionar tres órdenes de insectos (uno por cada tipo de metamorfosis: ametábola, hemimetábola y holometábola). Realizar una investigación sobre las características de sus huevos, estrategias reproductivas y metamorfosis. Elaborar una presentación comparativa con imágenes.

Resultado de Aprendizaje: El estudiante será capaz de identificar y diferenciar los aspectos reproductivos y metamórficos específicos de insectos pertenecientes a distintos órdenes.

Preguntas de Selección Múltiple

1. ¿Cuál estructura protege externamente al huevo del insecto? a) Citoplasma b) Corión c) Micrópila d) Vitelina
2. ¿Qué función cumplen las micrópilas en el huevo? a) Almacenar nutrientes b) Facilitar intercambio gaseoso c) Permitir entrada de espermatozoides d) Proteger contra patógenos
3. ¿Cómo se denomina el proceso de desprendimiento del exoesqueleto en insectos? a) Apolisis b) Ecdisis c) Metamorfosis d) Organogénesis
4. ¿Cuál de estos insectos presenta metamorfosis completa? a) Saltamontes b) Mariposa c) Libélula d) Chinche
5. ¿Qué tipo de metamorfosis presentan los insectos Thysanura? a) Hemimetábola b) Holometábola c) Ametábola d) Hipermetamorfosis
6. ¿Qué nombre reciben las células indiferenciadas en insectos holometábolos que forman órganos

- adultos? a) Micrópilas b) Vitelinas c) Discos imaginales d) Ovariolas
7. ¿Cuál método reproductivo implica desarrollo embrionario sin fertilización? a) Oviposición b) Ovoviviparidad c) Partenogénesis d) Poliembrionía
 8. ¿Cuál es la principal función de la vitelina en el huevo de insecto? a) Protección mecánica b) Intercambio gaseoso c) Nutrición del embrión d) Entrada del espermatozoide
 9. ¿Qué término describe huevos más anchos que largos? a) Elipsoide oblado b) Elipsoide alargado c) Ovoide d) Asimétrico
 10. ¿Dónde almacenan los espermatozoides las hembras de insectos durante períodos prolongados? a) Corión b) Vitelina c) Espermateca d) Micrópila

Referencias Bibliográficas

- Belles, X. (2011). Origin and evolution of insect metamorphosis. En *Encyclopedia of life sciences (ELS)* (pp. 1-11).
- Berrigan, D., & Pepin, D. J. (1995). How many eggs should a mosquito lay? *Evolutionary Ecology*, 9(3), 383-396.
<https://doi.org/10.1007/BF01237766>
- Bishop, C. D., Erezilmaz, D. F., Flatt, T., Georgiou, C. D., Hadfield, M. G., Heyland, A., & Youson, J. H. (2006). What is metamorphosis? *Integrative and Comparative Biology*, 46(6), 655-661.
<https://doi.org/10.1093/icb/icl004>
- Chapman, R. F. (2013). *The insects: Structure and function* (5th ed.). Cambridge University Press.
- Church, S. H., Donoughe, S., de Medeiros, B. A., & Extavour, C. G. (2019). A dataset of egg size and shape from more than 6,700 insect species. *Scientific Data*, 6(1), 104.
<https://doi.org/10.1038/s41597-019-0049-y>
- Church, S. H., Donoughe, S., De Medeiros, B. A., & Extavour, C. G. (2019). Insect egg size and shape evolve with ecology but not developmental rate. *Nature*, 571(7763), 58-62.
<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1302-4>
- Donoughe, S. (2022). Insect egg morphology: Evolution, development, and ecology. *Current*

Opinion in Insect Science, 50, 100868.
<https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.10.004>

- Engel, M. S. (2015). *Insect evolution*. Cambridge University Press.
- Gautam, S. G., Opit, G. P., Margosan, D., Tebbets, J. S., & Walse, S. (2014). Egg morphology of key stored-product insect pests of the United States. *Annals of the Entomological Society of America*, 107(1), 1-10.
<https://doi.org/10.1603/AN13033>
- Gullan, P. J., & Cranston, P. S. (2020). *The insects: An outline of entomology* (5th ed.). Wiley-Blackwell.
- Heming, B. S. (2003). Insect development and evolution. En *Comprehensive molecular insect science* (Vol. 1). Elsevier.
- Nadaf, A. R. M. (2009). *Entomology redefined: Current trends and future directions* (Vol. 1). EPH.
- Nation, J. L. (2016). *Insect physiology and biochemistry* (3rd ed.). CRC Press.
- Normark, B. B. (2003). The evolution of alternative genetic systems in insects. *Annual Review of Entomology*, 48, 397-423.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.48.091801.112703>
- Ortega J, Manobanda-Guaman M (Ed.) (2021) Entomología aplicada para Agropecuarios.

Entomología general: morfología y fisiología de insectos

Grupo COMPAS, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador. 155 p.

Snodgrass, R. E. (1935). *Principles of insect morphology*. McGraw-Hill.

Truman, J. W., & Riddiford, L. M. (1999). The origins of insect metamorphosis. *Nature*, 401(6752), 447-452. <https://doi.org/10.1038/46737>

Glosario

- Abdomen: tagma posterior con funciones digestivas y reproductivas.
- Alas: expansiones membranosas para el vuelo.
- Ametábola: desarrollo sin metamorfosis con juveniles similares a adultos.
- Antenas: apéndices sensoriales multifuncionales.
- Apéndices torácicos: patas articuladas para locomoción.
- Arista: seta terminal rígida en algunas antenas.
- Comportamiento gregario: tendencia a agruparse y vivir en agregaciones con interacción social.
- Cutícula: capa del exoesqueleto de quitina y proteínas.
- Diapausa: detención del desarrollo inducida por el ambiente y caracterizada por bajo metabolismo.
- Ecdistero (ecdysone): hormona esteroidea que desencadena la muda y la formación de nueva cutícula.
- Ecdysis: muda del exoesqueleto durante el crecimiento.
- Endopterigotos: insectos con metamorfosis completa; las alas se forman internamente.
- Esclerito: placa endurecida de la cutícula articulada a otras.
- Espiráculos: orificios que permiten el intercambio de gases.
- Exoesqueleto: estructura de quitina que protege y da soporte.
- Exopterigotos: insectos con metamorfosis incompleta; las alas se desarrollan externamente.
- Fitófagos (insectos fitófagos): artrópodos que se alimentan de tejidos de plantas vivas.

Entomología general: morfología y fisiología de insectos

- Halterios: balancines de dípteros para equilibrio en el vuelo.
- Hemocitos: células inmunitarias circulantes en la hemolinfa con función fagocítica.
- Hemolinfa: fluido circulatorio que transporta nutrientes y hormonas.
- Holometábola: metamorfosis completa con estados de larva, pupa e imago.
- Huevo: estadio inicial que contiene el embrión.
- Imago: insecto adulto reproductivo tras la metamorfosis.
- Integumento: conjunto de cutícula y epidermis.
- Labio: labio inferior que sostiene piezas bucales.
- Larva: estadio juvenil especializado en alimentación.
- Mandíbulas: piezas bucales robustas para cortar.
- Maxilas: piezas manipuladoras con palpos.
- Ocelos: ojos simples detectores de luz.
- Palpos: apéndices sensoriales de las piezas bucales.
- Pretarsos: segmentos distales con uñas y almohadillas.
- Probóscide: apéndice tubular para succionar alimento líquido.
- Pupa: estadio de reposo con reorganización de tejidos.
- Sistema traqueal: red de tráqueas que lleva oxígeno directamente a los tejidos.
- Tagmosis: agrupación de segmentos corporales en regiones funcionales.
- Télgminas (tegmina): alas delanteras coriáceas protectoras.
- Tórax: segmento con patas y alas.
- Traqueolas: ramificaciones finas del sistema traqueal que distribuyen oxígeno.

ISBN: 978-9942-53-002-8



Compás
capacitación e investigación