

Introducción a la Biología de Organismos



Editores: Juan Márquez Luna y Katia Adriana González Rodríguez

Introducción a la Biología de Organismos

Juan Márquez Luna y
Katia Adriana González Rodríguez

EDITORES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO



2023

Introducción a la Biología de Organismos

Juan Márquez Luna y Katia Adriana
González Rodríguez

EDITORES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Octavio Castillo Acosta
Rector

Julio César Leines Medécigo
Secretario General

Marco Antonio Alfaro Morales
Coordinador de la División de Extensión de la Cultura

Otilio Arturo Acevedo Sandoval
Director del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

Fondo Editorial

Asael Ortiz Lazcano
Director de Ediciones y Publicaciones

Joselito Medina Marín
Subdirector de Ediciones y Publicaciones

Primera edición electrónica: 2023

D.R. © UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Abasolo 600, Col. Centro, Pachuca de Soto, Hidalgo, México, C.P. 42000
Dirección electrónica: editor@uaeh.edu.mx

El contenido y el tratamiento de los trabajos que componen este libro son responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente el punto de vista de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

ISBN: 978-607-482-740-8

Esta obra está autorizada bajo la licencia internacional Creative Commons Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada (by-nc-nd) No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas. Para ver una copia de la licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.



Hecho en México/*Printed in México*

Índice

Prólogo. <i>Ulises Iturbe Acosta</i>	7
Introducción. <i>Katia Adriana González Rodríguez y Juan Márquez Luna</i>	9
Cursos obligatorios	
Biología del desarrollo. <i>Katia Adriana González Rodríguez</i>	13
Biología de protoctistas. <i>Gregorio Rodríguez González</i>	25
Biología de plantas I (briofitas). <i>Arturo Sánchez González y Claudia T. Hornung Leoni</i>	35
Biología de animales I (invertebrados). <i>Judith Berenice Alemán García, William Scott Monks y Griselda Pulido Flores</i>	43
Biología de hongos. <i>Leticia Romero Bautista</i>	53
Biología de plantas II (pteridofitas y gimnospermas). <i>María Teresa Pulido Silva y Arturo Sánchez González</i>	61
Biología de animales II (articulados). <i>Juan Márquez Luna y Julieta Asiain Alvarez</i>	69
Biología de plantas III (angiospermas). <i>Miguel Ángel Villavicencio Nieto y Blanca Estela Pérez Escandón</i>	77
Biología de animales III (deuterostomados). <i>Jesús Martín Castillo Cerón e Irene Goyenechea Mayer-Goyenechea</i>	85
Fisiología vegetal. <i>Ana Laura López Escamilla y Maritza López Herrera</i>	97
Fisiología animal comparada. <i>María del Carmen González Rodríguez</i> ...	103
Temas Selectos	
Macrofungi. <i>Ángel Moreno Fuentes</i>	117
Cultivo de macromicetes. <i>Leticia Romero Bautista</i>	123
Variación morfológica vegetal para análisis filogenéticos. <i>Claudia T. Hornung Leoni</i>	129
Etnobiología. <i>María Teresa Pulido Silva y Ángel Moreno Fuentes</i>	137
Introducción a los métodos etnobiológicos. <i>Ángel Moreno Fuentes y María Teresa Pulido Silva</i>	143
Técnicas de histología. <i>Rafaela Escorcía Ignacio y William Scott Monks</i>	149
Entomología. <i>Julieta Asiain Alvarez y Juan Márquez Luna</i>	155
Herpetología. <i>Irene Goyenechea y Jesús Martín Castillo Cerón</i>	163
Técnicas de muestreo en anfibios y reptiles. <i>Irene Goyenechea</i>	171
Ictiología. <i>Katia Adriana González Rodríguez</i>	179
Mastozoología. <i>Jesús Martín Castillo Cerón</i>	187

Prólogo

Cuando imaginamos a un profesional de las Ciencias de la vida, al que por tradición simplemente nos referimos como biólogo, a menudo pensamos que se trata de alguien que conoce y entiende en buena medida la biodiversidad del planeta; un científico que es capaz de distinguir, con base en conjuntos particulares de características fenotípicas, entre los grandes grupos biológicos que existen o existieron, y dentro de éstos, a muchas de las especies más comunes y los ambientes en que se puede o podía encontrar. Nada más cierto que esto para los llamados biólogos generales, es decir, aquellos que cuentan con un grado académico de licenciatura o su equivalente.

Este juego de competencias específicas del campo disciplinario se debe a que el biólogo, casi sin importar la universidad o institución de educación superior en que se haya matriculado, fue formado en un plan de estudios amplio, cuyo objetivo primario era presentar al estudiante la gran diversidad biológica que existe; de tal manera que cuando ellos se especializaran en un grupo particular o en algún proceso, patrón o problema biológico concreto, contasen con la suficiente información al respecto, los enfoques correctos para aproximarse y los criterios para poder tomar decisiones óptimas. Así, utilizando este enfoque integral de la biodiversidad y habiendo sido dotados de los métodos y técnicas diversas de las ciencias de la vida, el biólogo está entrenado para enfrentar una variedad de retos que nos plantea la naturaleza viviente para entenderla, conservarla y aprovecharla racionalmente.

Por ello, aunque nos encontramos ante un proceso de rediseño curricular que va a modificar la manera en que se enseña y aprende biología en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, a partir del 2013, así como el modo en que el programa académico habrá de operar, el libro que usted tiene en las manos es perfectamente vigente y lo será aún después de transcurridos muchos años de su edición, pues cumple enteramente con esta orientación y exigencia básicas de contribuir a formar biólogos generales, independientemente del modelo educativo que se encuentre imperando y del desarrollo de nuevas estrategias y herramientas de aprendizaje.

Por lo anterior, este libro sintético y sucinto hecho para introducir a la biología de los organismos, el motivo de concurrencia de tan distintos autores especialistas, proporciona a usted, amable lector, una perspectiva global y valiosa de los grandes grupos biológicos contenidos en el vasto linaje eucarionte. Muestra las características morfológicas principales en la diagnosis del *bauplan* de cada grupo, aspectos básicos de su fisiología, sus relaciones filogenéticas, los procesos e interacciones ecológicas fundamentales en que intervienen, el tipo de ecosistema en que viven, las adaptaciones fundamentales que presentan a los mismos e, incluso, su origen y evolución.

Asimismo, hay aspectos transversales a los grandes grupos biológicos, cuya introducción ocupa capítulos completos. Entre éstos, la biología del desarrollo de plantas y animales, el estudio de la fisiología general comparada de esos dos grupos, técnicas de muestreo de organismos en el medio natural, técnicas para fijar y analizar tejidos animales y vegetales, técnicas para medir la variación morfológica de plantas, además de aspectos de impacto cultural y económico de los grupos biológicos, tales como técnicas de cultivo para la producción comercial de algún grupo particular y la medición del conocimiento tradicional práctico de los pueblos, acerca de algunos grupos biológicos.

Aun cuando extenso en alcance y bien ilustrado, el libro no deja de ser una primera aproximación al análisis de la biodiversidad de nuestro mundo y a la manera en que se acercará usted como estudiante, una vez inserto en la carrera. Para internarse en toda su profundidad se debe involucrar activamente en el desarrollo temático de las distintas asignaturas o unidades de aprendizaje (según el plan de estudios en que se encuentre inscrito) o de cualquier manera en que se condense el estudio de esta diversidad de los grandes grupos biológicos de organismos eucariontes.

Por último, quiero reconocer el esfuerzo de todos los amigos autores que participaron en la gestación de esta útil y magnífica obra intelectual, especialmente el de dos de ellos: la doctora Katia Adriana González Rodríguez, impulsora inicial de la escritura del texto en su periodo de presidente

de la academia de Biología de Organismos (2005-2007) y editora del libro, y al Dr. Juan Márquez Luna, editor paciente y responsable del mismo, cuyo solidario y dedicado esfuerzo individual permitió transformar la propuesta, en realidad concreta. Agradezco también a este último por la cordial invitación para escribir este prólogo que se convirtió en un placentero ejercicio de lectura y aprendizaje.

Que aproveche y disfrute usted también de la lectura de esta obra.

Ulises Iturbe, excoordinador adjunto de la
Licenciatura en Biología
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Pachuca de Soto, Hidalgo

Introducción

Katia Adriana González Rodríguez y Juan Márquez Luna

La academia es un órgano técnico-pedagógico de análisis y asesoría formado por los profesores que imparten una o más asignaturas pertenecientes a uno o más programas académicos de la licenciatura en Biología de la UAEH, siempre que los contenidos programáticos guarden una relación afín o secuencial entre ellos. En la licenciatura en Biología de la UAEH existen cuatro academias: Biología experimental, Biología comparada, Ecología y recursos naturales, y Biología de organismos. En este caso particular, la academia de Biología de organismos fue establecida desde el año de 1999, y está conformada por 16 profesores-investigadores de tiempo completo y más de ocho profesores por asignatura; todos ellos especialistas en diferentes grupos de plantas, hongos y animales.

Entre las funciones de la academia, están la de evaluar y mantener los programas académicos actualizados, así como las fuentes de información para incrementar y actualizar el acervo documental de acuerdo a las exigencias de los contenidos programáticos. En el año 2007, los miembros de la academia de Biología de organismos, al notar la necesidad de mostrar a los alumnos de nuevo ingreso y a los que cursan los primeros semestres la importancia del conocimiento de la biología de los organismos; así como, la relevancia de que conozcan el contenido de los programas de las asignaturas del Mapa Curricular 2004, relacionadas al entendimiento de la diversidad de organismos, decidieron elaborar este texto ilustrado que servirá de guía al estudiante desde su ingreso a la carrera. Este libro permitirá a los estudiantes obtener un panorama general de las asignaturas relacionadas a la biología de organismos unicelulares y pluricelulares, los acercará de manera visual a los diferentes grupos de plantas, hongos y animales y, a la vez, le ayudará a elegir algunos temas selectos que vayan ligados al área del conocimiento de su interés y especialización.

Además, se pretende que este libro contribuya a reducir el índice de deserción que se presenta en los estudiantes de los primeros dos semestres, ya que durante esta etapa inicial de la carrera, los cursos obligatorios aparentemente no cubren las expectativas que los estudiantes esperan, debido a

que se abordan pocos grupos biológicos y se hace de una forma general. Mediante el presente escrito, los alumnos tendrán claro que las asignaturas de los primeros dos semestres son obligatorias y necesarias en su formación profesional, pero que a partir del tercer semestre se abordarán paulatinamente los distintos grupos biológicos.

El biólogo es un profesionista que tiene la capacidad de integrar los conocimientos adquiridos durante su formación académica para resolver problemas relacionados con el estudio sistemático, manejo y conservación de la biodiversidad. Para ello, este profesionista debe ser capaz de reconocer la diversidad de organismos que existen, así como su biología, distribución, evolución y relaciones filogenéticas, aspectos que son abordados en las diferentes asignaturas que engloba esta academia.

El plan de estudios (2004) de la licenciatura en Biología de la UAEH comprende una serie de asignaturas obligatorias que conforman el llamado “Núcleo de Formación” del biólogo; dentro de ellas, 11 asignaturas obligatorias y al menos 11 temas selectos se albergan y son monitoreadas en la academia de Biología de organismos. Estas asignaturas son: Biología de protoctistas, Biología de hongos, Biología de plantas I (briofitas), Biología de plantas II (pteridofitas y gimnospermas), Biología de plantas III (angiospermas), Biología de animales I (invertebrados), Biología de animales II (articulados), Biología de animales III (deuterostomados), Biología del desarrollo, Fisiología vegetal, Fisiología animal comparada y Temas selectos.

Las asignaturas obligatorias son teórico-prácticas, por lo que el alumno adquiere una base teórica y realiza prácticas en el laboratorio o en campo que, en conjunto, le permiten reafirmar el conocimiento adquirido, además de ponerlo en contacto directo con los organismos y su entorno.

Los temas selectos complementan algunos de los tópicos tratados en las asignaturas antes mencionadas y reafirman el conocimiento acerca de la biodiversidad, biogeografía, relaciones filogenéticas y procesos evolutivos de los grupos estudiados en estas áreas. Asimismo, cada semestre se proponen nuevos temas selectos para ampliar las perspectivas de especialización de los estudiantes.

El libro está estructurado de tal manera que en cada asignatura se muestra el nombre de los profesores que imparten la materia, semestre en el que se imparte, número de horas/semana, número de créditos, número de horas teóricas, número de horas prácticas, relación con asignaturas del mismo semestre y de otros semestres, objetivos del curso y una descripción o introducción a cada grupo de organismos. Este texto se complementa con los programas de estudio y manuales de prácticas de cada asignatura, así como con la literatura especializada en cada área, por lo que no pretende ser

un libro de texto, más bien es una guía en el camino hacia el conocimiento de la biodiversidad.

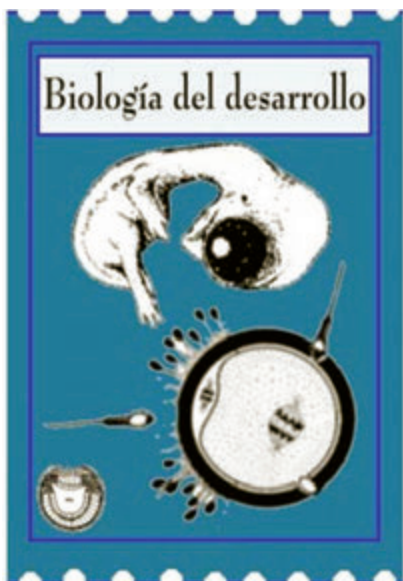
El presente escrito es un logro de todos los integrantes de la academia de Biología de organismos, quienes también son los responsables del contenido, de los errores u omisiones que puedan presentarse en los capítulos en los cuales participan.

Agradecemos especialmente a Julieta Asiain por el diseño de la portada y su ayuda en la edición de las imágenes.

Cursos obligatorios

Biología del desarrollo

Nombre de los profesores:	Katia Adriana González Rodríguez y María del Carmen González Rodríguez
Semestre en el que se imparte:	Tercero
Número de horas / semana:	Seis
Número de créditos:	Nueve
Número de horas teóricas:	Tres
Número de horas prácticas:	Tres
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Biología celular
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Biología de animales I, II y III, Biología de plantas I, II, III, Fisiología animal comparada y Fisiología vegetal
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Genética y Biología molecular
Objetivos del curso:	<ol style="list-style-type: none">1. Que los alumnos conozcan los diferentes planes estructurales de los organismos para comprender la biología de su desarrollo ontogenético.2. Que los alumnos conozcan las distintas estrategias que utilizan los animales y plantas para la reproducción.3. Que los alumnos conozcan los procesos involucrados en la diferenciación celular.4. Que los alumnos conozcan los resultados de la diferenciación en los organismos, para dar origen al desarrollo del patrón corporal.5. Que los alumnos conozcan el origen de los diferentes órganos de animales y plantas, como resultado de un desarrollo.



Biología del desarrollo

Katia Adriana González Rodríguez

El estudio de la biología del desarrollo de los organismos integra diferentes niveles de organización. Comprende los niveles molecular, tisular, de órganos, aparatos y sistemas, del individuo como adulto, e incluso trata aspectos evolutivos y ecológicos. La biología del desarrollo estudia los controles genéticos del crecimiento celular, la diferenciación celular y la morfogénesis de los organismos (desarrollo embrionario).

El curso comprende no sólo condiciones relacionadas con el desarrollo embrionario de los animales y plantas (embriología), sino también características de la biología de la reproducción, estrategias reproductivas y tipos de desarrollo. Además, se incluye aspectos de la genética del desarrollo, en particular la expresión de los genes, para entender cómo se determina el desarrollo de los animales.

En la primera unidad se define embriología y biología del desarrollo y se hace una reseña histórica de ambas. Se estudia y discute las teorías que tratan de explicar el desarrollo embrionario de los organismos, hasta antes del conocimiento de la genética del desarrollo.

Para comprender el desarrollo de los animales, es necesario conocer los patrones estructurales que presentan los diferentes grupos de metazoarios, por lo que en la segunda unidad se hace una introducción a los distintos *bauplane* de los animales, incluyendo tipos de simetría del cuerpo, cavidades del cuerpo, tipos de locomoción y soporte, órganos excretores y osmorreguladores, sistemas circulatorio, respiratorio y nervioso. Estos aspectos se estudiarán a detalle en los subsecuentes cursos de Biología de animales I, II y III y en Fisiología animal comparada, pero aquí es necesario que el alumno se familiarice con los planes estructurales de los animales, así como con conceptos y términos que utilizará a lo largo de su carrera.

Existen diferentes modalidades dentro de la reproducción de los animales, por lo cual se revisan los tipos de reproducción asexual y sexual de los organismos y se analizan conceptos como regeneración, hermafroditismo y partenogénesis. Por otro lado, dentro del desarrollo ontogenético de los animales, se estudian los tipos de desarrollo directo

e indirecto (metamorfosis). Muchas especies de animales se desarrollan a través de una fase larvaria, pero algunas especies han modificado sus ciclos de vida, extendiendo o acortando su estado larvario. Estos cambios en la velocidad con que aparecen o se desarrollan ciertos caracteres de los animales, que se conocen como heterocronía, e incluyen a la neotenia y progénesis, se revisarán a detalle.

Antes de conocer cómo se forma un nuevo organismo, es necesario comprender que para preservar a la especie, los animales buscan reproducirse con una pareja que garantice la mejor descendencia. Es así que muchos animales realizan diferentes estrategias para atraer al sexo opuesto, para defender o cuidar su territorio o para cuidar y proteger a las crías. En el curso se comentarán estas habilidades.

Cuando los animales han llegado a la madurez sexual y están listos para reproducirse, comienza la formación de los gametos (gametogénesis). El proceso de formación de óvulos (ovogénesis) y espermatozoides (espermatogénesis) se lleva a cabo en las gónadas (ovarios y testículos), donde las células sexuales precursoras se transforman en gametos haploides, a través de la meiosis (figuras 1-3). Una vez que estos gametos maduran, están listos para ser liberados. La maduración de gametos se estudiará haciendo énfasis en los vertebrados, y se revisarán los ciclos hormonales.

En los mamíferos hembras, con excepción de algunos primates y la mujer, la producción y liberación de gametos se lleva a cabo a través del ciclo estral. Este ciclo está regulado por varias hormonas que determinan la liberación del óvulo, en una de sus fases conocida como calor o estro, periodo que determina la aceptación del macho por la hembra para llevar a cabo el coito.

En la mujer, la maduración y liberación del óvulo (figuras 3-4) también se lleva a cabo gracias a la producción de hormonas, como la hormona foliculo estimulante y la hormona luteinizante, que se liberan durante el ciclo menstrual. En el curso se estudiarán las fases del ciclo menstrual y el papel que juegan las hormonas en la reproducción e implantación del embrión. Se estudiará cómo se producen y liberan los estrógenos y la progesterona,

y a qué nivel actúan dentro del ciclo. Asimismo, se revisarán los diferentes métodos anticonceptivos que existen, y su incidencia dentro del ciclo.

Una vez que los gametos están maduros y son liberados, se lleva a cabo el proceso de fecundación, que puede ser interna o externa. En los animales que presentan fecundación interna, puede existir algún tipo de órgano copulador como el pene, hemipene o claspers; además de que pueden existir otras estructuras como los espermatóforos o las espermatecas, que facilitan la fecundación, o simplemente puede darse por la unión de cloacas. En los animales con fecundación externa, no es necesaria la presencia de órganos especializados para la cópula, pero existen mecanismos como la producción de sustancias específicas para asegurar que los espermias y óvulos de la misma especie se encuentren y que al menos la mayoría de los óvulos sean fecundados. Estas variantes de la fecundación serán estudiadas.

El mecanismo de unión del óvulo y del espermatozoide en la fecundación interna y externa depende del número de membranas que tiene el óvulo y de las reacciones químicas que se dan en ellas. A pesar de que miles de espermatozoides se acercan para fecundar al óvulo, uno solo es el que penetra las membranas del óvulo y lo fecunda. La membrana de fecundación que se forma de inmediato, impide el paso de cualquier otro espermatozoide (figura 5). El material genético del núcleo del espermia (pro-núcleo masculino) entonces se fusiona con el pro-núcleo femenino, y la célula se prepara para comenzar a dividirse por mitosis, y así formar un nuevo individuo en el que existe material genético de ambos progenitores. Así, a partir de dos células gaméticas haploides, se forma una célula diploide denominada huevo o cigoto (figura 5).

Después de la fecundación inicia la segmentación del cigoto, que dependerá de la cantidad de vitelo o sustancia de reserva que presente el huevo. Aquí se estudiarán los diferentes tipos de huevo (isolécito, telolécito, centrolécito, etcétera) y los distintos patrones de segmentación que se llevan a cabo de acuerdo a la cantidad de vitelo (figuras 7-9). Se entenderá la formación de la mórula, blástula (figuras 6-8) y los tipos de blástula que existen; se conocerá en qué consiste el proceso de gastrulación, los tipos de gástrula y la formación de las capas blastodérmicas (figuras 10-11). En este momento, se entenderá el proceso de formación del celoma y pseudoceloma (figura 11); así como el origen de

los animales protostomados y deuterostomados. Además se conocerá el destino de cada una de las capas embrionarias y se estudiará el proceso de organogénesis (figuras 12-13), comenzando por la neurulación (formación del sistema nervioso). El proceso de organogénesis se estudiará haciendo énfasis en los vertebrados, ya que son el grupo más estudiado.

Se estudiará el desarrollo embrionario de las aves (figuras 14-16), reptiles y mamíferos (figuras 17-20), los cuales presentan lo que se denomina huevo amniota. Este tipo de huevo, permitió la colonización del medio terrestre a los vertebrados, gracias a la existencia de cuatro membranas extra-embrionarias, el amnios, el corion, el alantoides y la membrana vitelina. En las aves y reptiles estas membranas permiten que el embrión se desarrolle dentro de un huevo con cáscara, que la madre deposita en el medio. En el caso de los mamíferos (eutherios), el huevo amniota permite mantener a sus crías dentro de la madre hasta el momento del nacimiento, debido a la presencia de la placenta y del cordón umbilical que provienen del amnios y corion (figuras 17-18).

Por último, se revisará en los animales el papel de los genes como reguladores de los procesos del desarrollo. En el estado de blástula las células son indiferenciadas y para llegar a especializarse, se realiza la transcripción de determinados genes. Esta transcripción diferencial de genes seleccionados controla el desarrollo, la determinación y la diferenciación de las células del embrión.

Para conocer este proceso de actividad génica variable, se han hecho estudios del desarrollo de la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster*. En el curso se estudiarán las generalidades del desarrollo de esta mosca. Se analizará el papel de los genes de efecto materno y de los genes cigóticos. Se revisarán los complejos de genes selectores en *Drosophila* (Genes HOM), que son los encargados de determinar las estructuras que se formarán en cada segmento de cuerpo, como las antenas, alas, apéndices, etcétera, y se compararán con los genes selectores homólogos en mamíferos (genes HOX). Al mismo tiempo, se analizará el papel de estos genes en la evolución de los organismos y en las relaciones filogenéticas de las especies.

El curso está enfocado principalmente a la biología del desarrollo de los animales; sin embargo, en la última unidad se trata el desarrollo de las plantas superiores. Lo que se pretende en esta sección, es comparar el desarrollo de

animales y plantas, y entender que los procesos de fecundación, segmentación y organogénesis, son similares a nivel celular.

En el caso de las plantas, también se hace una breve revisión de los planes estructurales en los distintos grupos, pero la biología del desarrollo se enfoca principalmente a las plantas angiospermas y gimnospermas. Se comparará la fase gametofítica (haploide) y esporofítica (diploide) de las plantas (figura 21). En gimnospermas se revisan las estructuras reproductoras y algunos ciclos de vida. En las angiospermas se estudia a la flor como estructura portadora de los órganos reproductores masculinos y femeninos (figura 22). Se analiza la formación de gametos, el proceso de doble fecundación, la formación de la semilla y del fruto, tipos de frutos y la germinación del embrión (figuras 22-28).

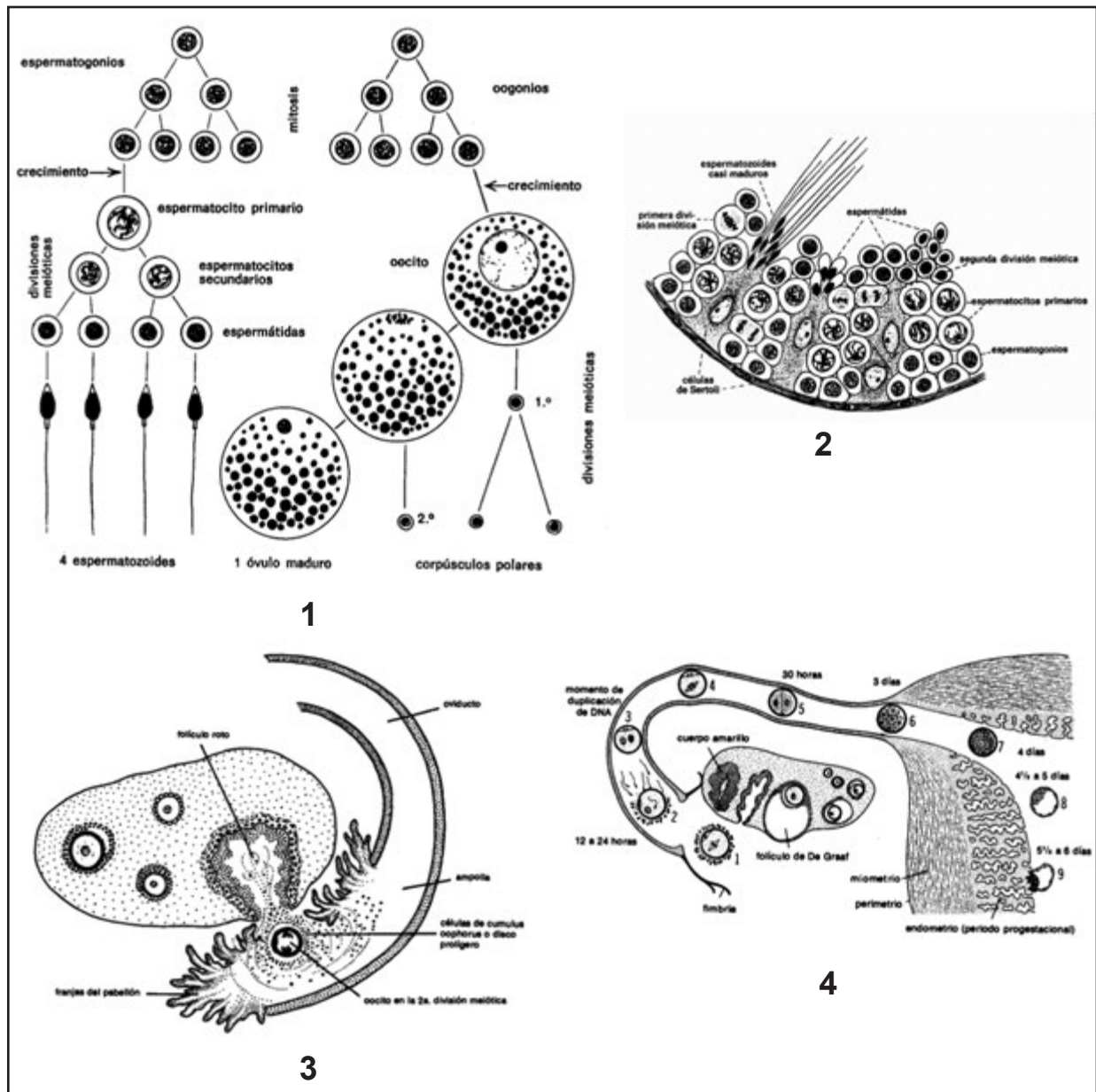
La embriogénesis en plantas abarca el proceso del desarrollo desde la fecundación, hasta el estado de latencia y después de que este estado se rompe al germinar la semilla, para formar el esporofito. En el curso se analiza la formación de los tejidos meristemáticos, tejidos conductores y de sostén, y la estructura de la semilla de plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas. Es importante aclarar que cada uno de estos aspectos del desarrollo de las plantas serán retomados con detalle en los cursos de Biología de plantas I, II y III y en Morfofisiología vegetal.

El curso es teórico-práctico, por lo que están planeadas al menos nueve sesiones de laboratorio, donde se reafirman los conocimientos adquiridos y se introduce a los alumnos al mundo de los metazoarios y de las plantas superiores, al mismo tiempo que a su biología del desarrollo.

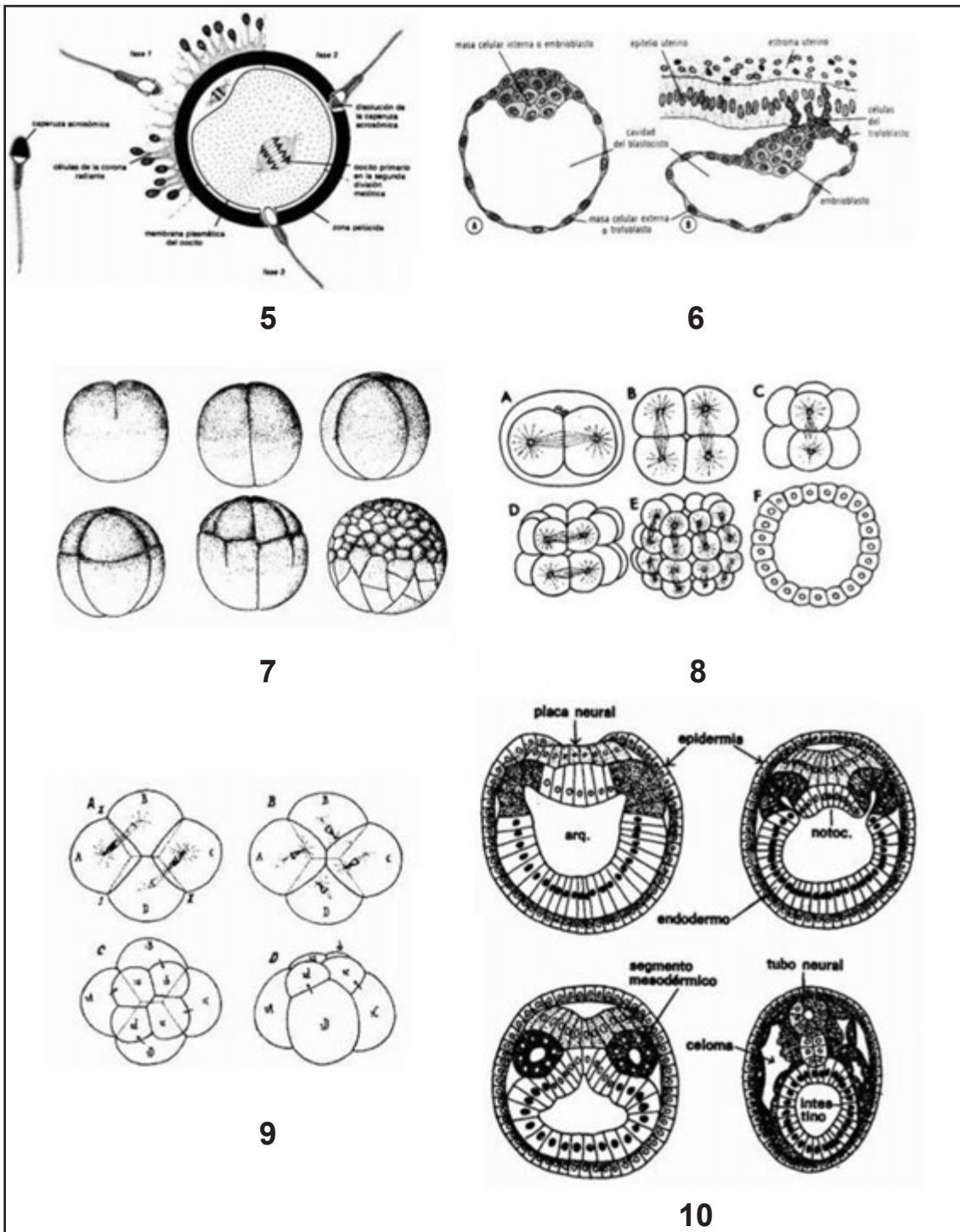
Literatura básica

- Balinsky, B. I. 1978. *Introducción a la embriología*. Omega. Barcelona.
Barnes, R. D. 1986. *Zoología de los invertebrados*.

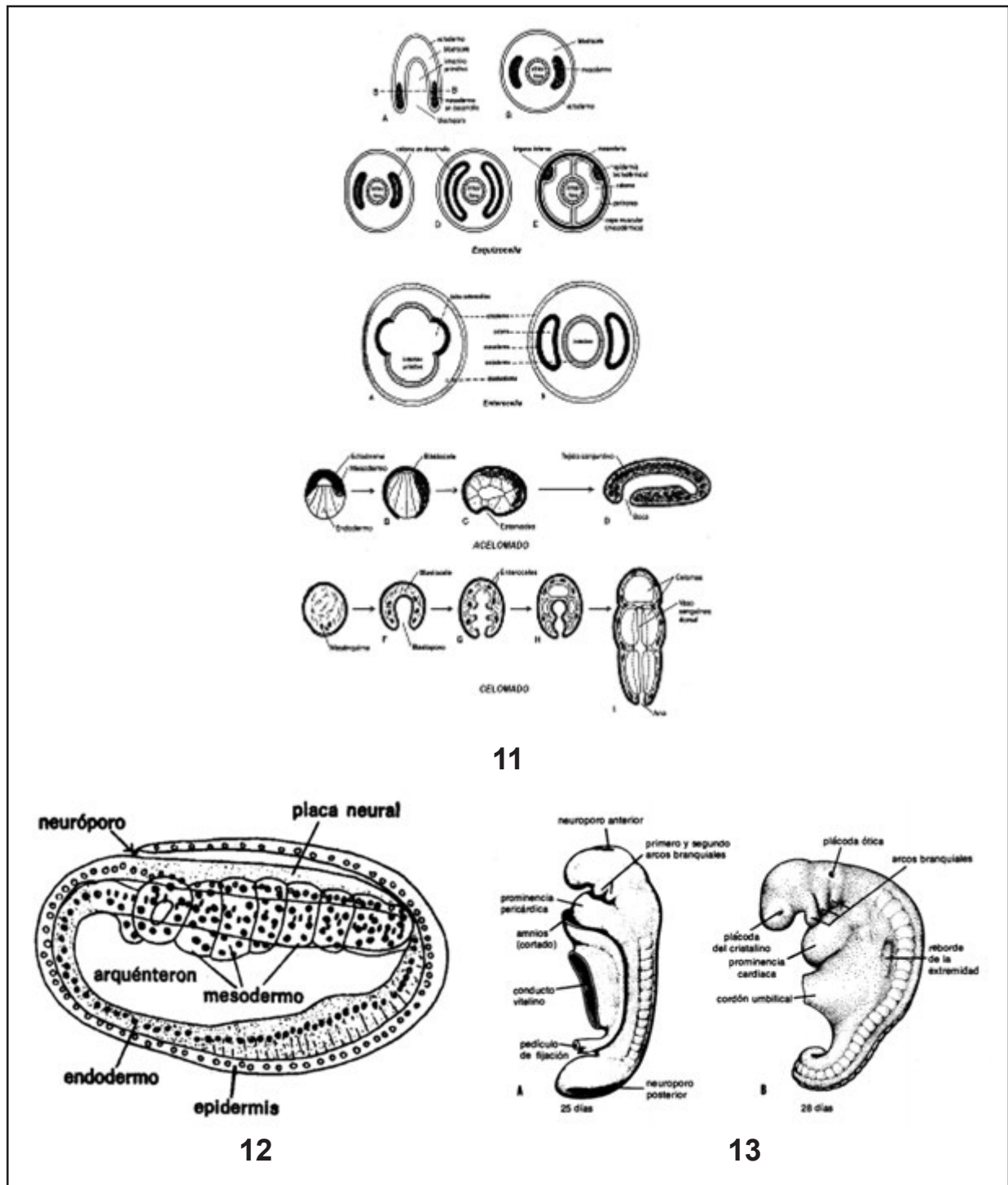
- 4ª. ed. Nueva Editorial Interamericana. México, D. F.
Brusca, R. C., y G. J. Brusca. 1990. *Invertebrates*. Sinauer Associates, Inc. Publ. Massachusetts.
Browder, L. W., C. A. Erickson, y W. R. Jeffery. 1991. *Developmental biology*. Saunders College Publishing. Filadelfia, Massachusetts.
Esau, K. 1977. *Anatomía de las plantas con semilla*. Hemisferio Sur. Uruguay.
Esau, K. 1977. *Anatomía vegetal*. Omega, S.A. Barcelona.
Fahn, A. 1988. *Anatomía vegetal*. Pirámide. Madrid.
Gilbert, S. F. 1997. *Developmental biology*. Sinauer Sunderland. Massachusetts.
Kalthoff, K. 1996. *Analysis of biological development*. McGraw-Hill. Nueva York.
Langman, J. 1976. *Embriología médica*. Nueva Editorial Interamericana. México.
López-Ríos, G. F. 1998. *Botánica*. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
Müller, W. A. 1997. *Developmental biology*. Springer-Verlag. Nueva York.
Raven, H., R. Evert, y S. Eichharn. 1999. *Biology of plants*. Ed. Freeman and Company. USA.
Ruiz-Durá, M. F. 1988. *Fundamentos de embriología y fisiología de la reproducción*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
Rupert, E. E., y R. D. Barnes. 1996. *Zoología de los invertebrados*. McGraw-Hill Interamericana. México, D. F.
Shostak, S. 1991. *Embryology: An introduction to developmental biology*. Harper Collins. Nueva York.
Slack, J. M. W. 1991. *From egg to embryo. Regional specification in early development*. Cambridge University Press. Cambridge.
Wolpert, L., R. Beddington, J. Brockes, T. Jessell, P. Lawrence, y E. Meyerowitz. 1997. *Principles of development*. Current Biology / Oxford University Press. Oxford.



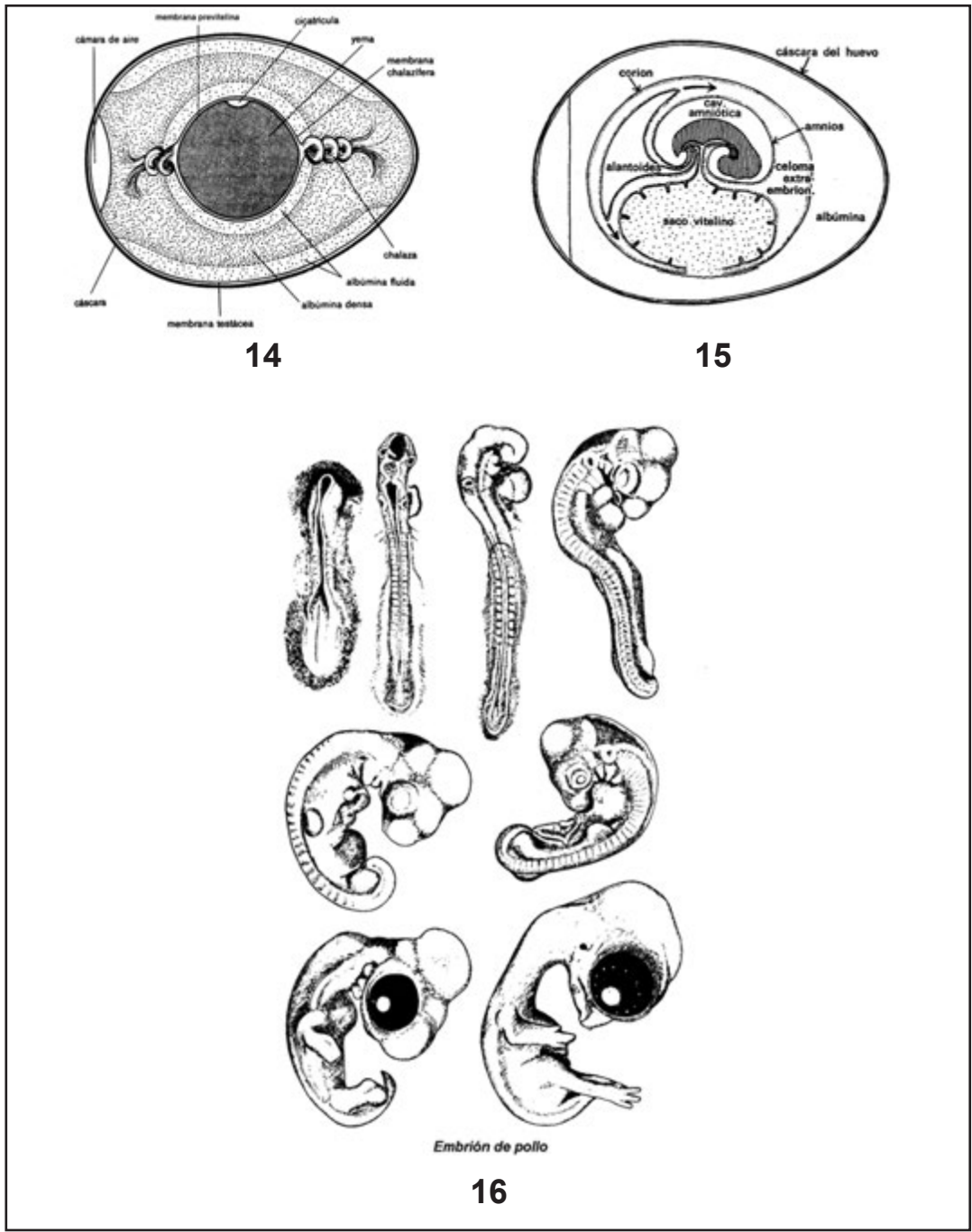
Figuras 1-4. 1: proceso de gametogénesis en el humano; 2: tubo seminífero del testículo de mamífero; 3: ovulación en la mujer; 4: proceso de ovulación, fecundación e implantación de huevo en la mujer (tomadas de Balinsky, 1978; Langman, 1976).



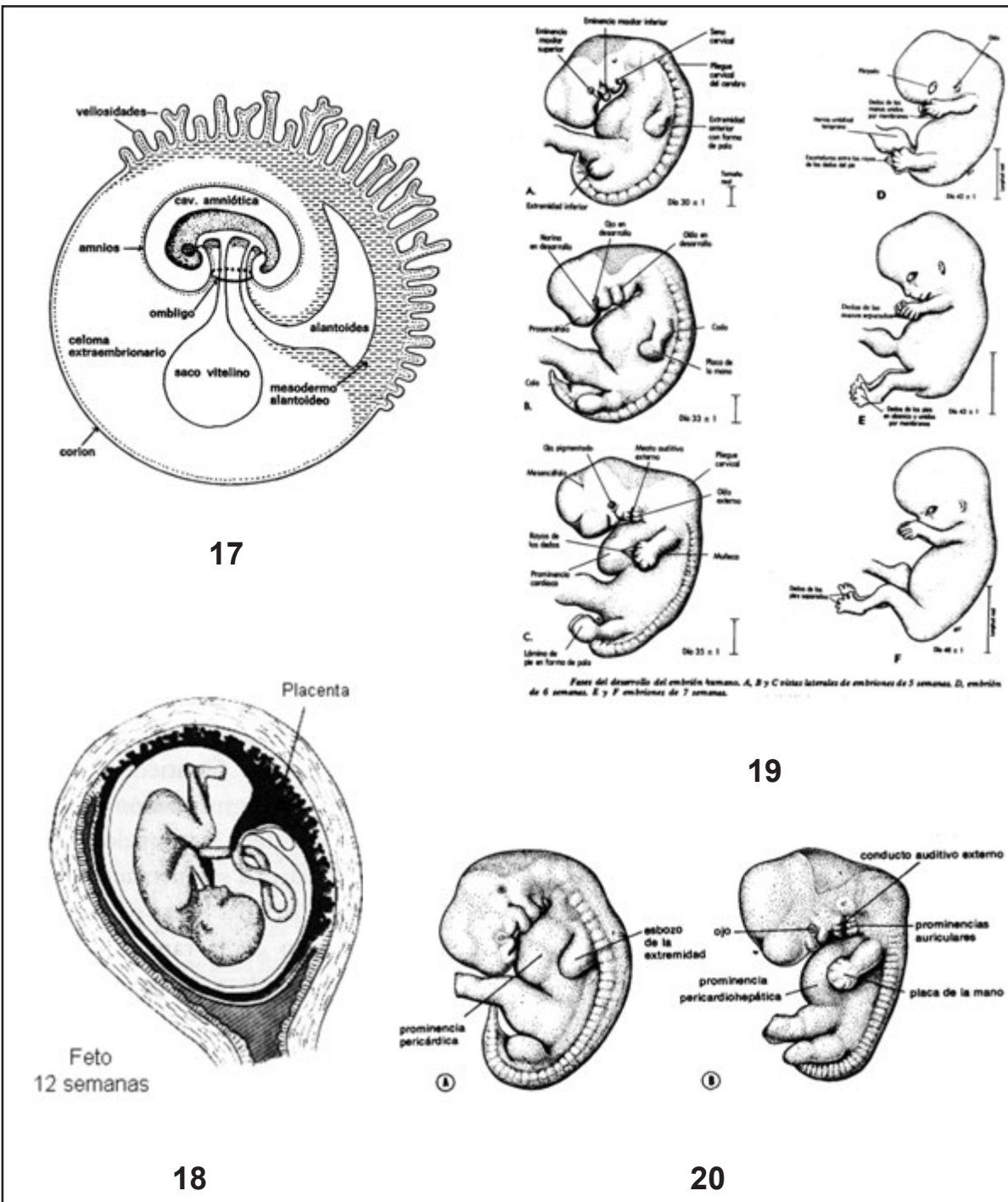
Figuras 5-10. 5: proceso de fecundación en mamíferos; 6: implantación del blastocisto en el epitelio uterino; 7: segmentación holoblástica (arriba) y meroblástica (abajo); 8: segmentación radial del huevo; 9: segmentación espiral del huevo; 10: gastrulación en *Amphioxus* y formación de los esbozos primarios de los órganos (tomadas de Balinsky, 1978; Langman, 1976).



Figuras 11-13. 11: procesos de formación del celoma; 12: embrión de *Amphioxus* en vista lateral; 13: embrión humano en las primeras semanas de desarrollo (tomadas de Rupert y Barnes, 1996; Balinsky, 1978; Langman, 1976).



Figuras 14-16. 14: huevo de gallina sin fecundar; 15: desarrollo del embrión en el huevo de gallina; 16: desarrollo del embrión de gallina (tomadas de Balinsky, 1978; Hickman, 1991).



Figuras 17-20. 17: desarrollo de las membranas extraembrionarias en humanos; 18: conexión del feto con la placenta; 19: desarrollo en el embrión humano; 20: formación de los esbozos de los órganos en el embrión humano (tomadas de Balinsky, 1978; Langman, 1976; Hickman, 1991).

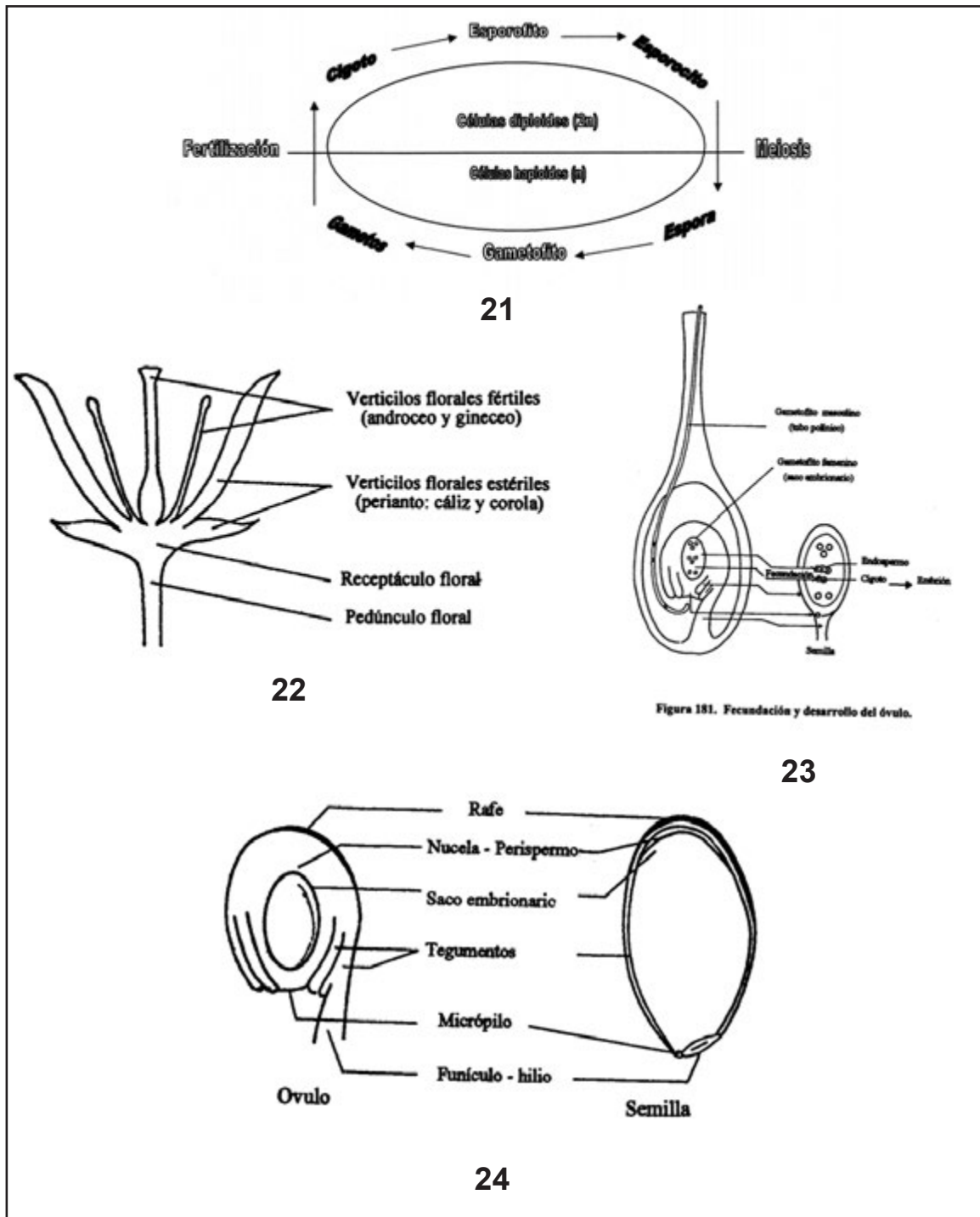
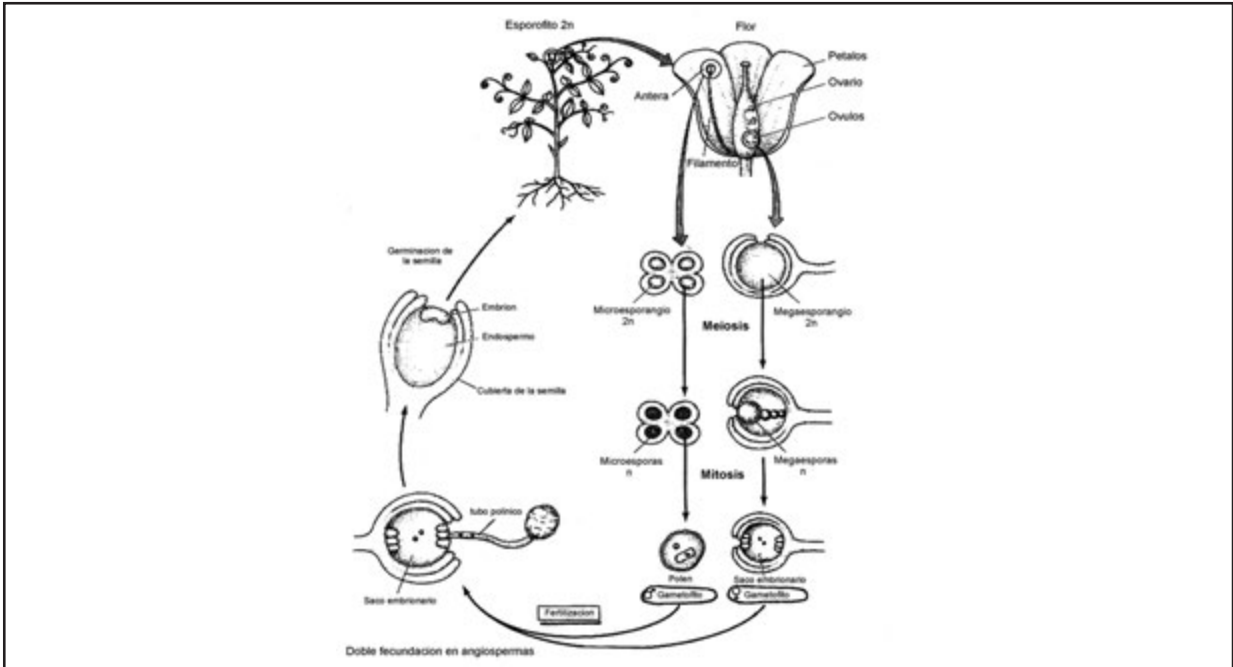
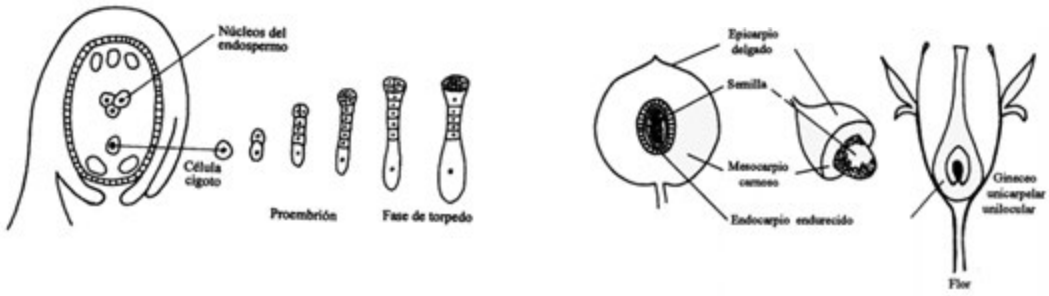


Figura 181. Fecundación y desarrollo del óvulo.

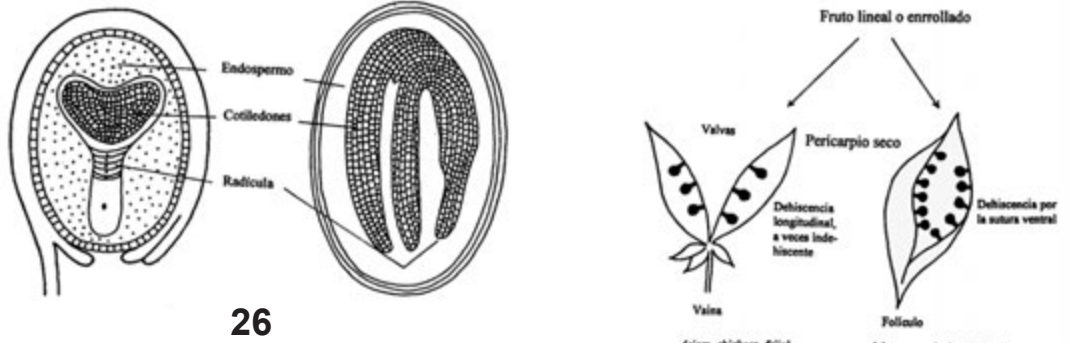
Figuras 21-24. 21: alternancia de generaciones en las plantas; 22: verticilos de la flor; 23: gametofito masculino y femenino de angiospermas y desarrollo del óvulo; 24: desarrollo de la semilla a partir del óvulo (tomadas de López-Ríos, 1998).



25



27



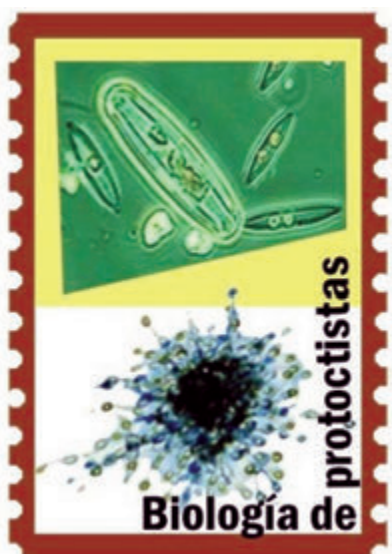
26

28

Figuras 25-28. 25: proceso de doble fecundación en angiospermas; 26: desarrollo de las partes de la semilla; 27: desarrollo del fruto (drupa); 28: tipos de frutos secos (tomadas de López-Ríos, 1998).

Biología de protoctistas

Nombre del profesor:	Gregorio Rodríguez González
Semestre en el que se imparte:	Tercero
Número de horas / semana:	Siete
Número de créditos:	Once
Número de horas teóricas:	Cuatro
Número de horas prácticas:	Tres
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Biología de procariontes y Biología celular
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Biología de animales I y Biología de plantas I
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Ciencias de la Tierra
Objetivos del curso:	<ol style="list-style-type: none">1. Que los alumnos cuenten con los conocimientos básicos acerca del origen, evolución, clasificación y diversificación de los protoctistas.2. Que los alumnos tengan una aproximación al conocimiento de los principales grupos de protoctistas.3. Que los alumnos conozcan los principales métodos



Biología de protoctistas

Gregorio Rodríguez González

Los protoctistas son microorganismos eucarióticos unicelulares o pluricelulares, pero nunca con diferenciación en tejidos, pudiendo ser coloniales, cenocíticos o miceliarios. Su organización celular eucariótica se caracteriza por su compartimentalización estructural y funcional. El material genético repartido en varios cromosomas, y normalmente unido a proteínas básicas especiales, se alberga en un núcleo rodeado de membrana. Existen diversos orgánulos limitados por membrana: retículo endoplásmico, aparato de Golgi, lisosomas, mitocondrias, etcétera. Las células pueden disponer de uno o más pseudópodos, con una estructura de 9+2 fibrillas internas, envueltas por prolongaciones de la membrana citoplásmica. El citoplasma contiene un citoesqueleto de microtúbulos, microfilamentos y filamentos intermedios.

Se consideran tres grupos de protoctistas: algas, protozoos y hongos inferiores, pero cada una de estas denominaciones no designa categorías filogenéticamente coherentes.

El primer grupo en ser estudiado corresponde a las algas que son macro o microscópicas, normalmente aerobias y capaces de realizar fotosíntesis oxigénica por medio de cloroplastos (aunque algunos grupos presentan formas leucofíticas heterótrofas). Pueden ser unicelulares, cenocíticas, o pluricelulares (filamentosas, coloniales, etcétera), pero nunca con diferenciación en tejidos, aunque muchas algas macroscópicas exhiben llamativas diferenciaciones morfológicas (las algas pardas).

Se consideran varios grupos cuyas relaciones filogenéticas no están aclaradas: Chlorophyta (algas verdes, figuras 1-2), Euglenophyta (algas flageladas, figura 3), Pyrrophyta (dinoflagelados), Chrysophyta, Xanthophyta (algas amarillo-verdosas, figura 4), Bacillariophyta (diatomeas dulceacuicolas y marinas, figuras 5-6), Haptophyta (cocolitoforales), Cryptophyta, Phaeophyta (algas pardas, figura 7) y Rhodophyta (algas rojas, figura 8). Ejemplos de grupos disputados durante mucho tiempo por zoólogos y botánicos son las euglenas y las cryptomonas.

El segundo grupo de estudio corresponde a los protozoos, que constituyen un grupo heterogéneo de microorganismos eucarióticos unicelulares no

fotosintéticos, muchos con capacidad de movimiento en medios acuosos por medio de pseudópodos o de undulipodios y con numerosos representantes con formas de vida parasitaria. Sus relaciones filogenéticas no están claras; no obstante, del estudio de los dinoflagelados se deduce que al menos algunos grupos pudieron derivar de las algas. La actual clasificación (Levine *et al.*, 1980) distingue cuatro grandes phyla, que reseñamos brevemente a continuación.

El phylum Sarcomastigophora se caracteriza por poseer un único núcleo (excepto en los foraminíferos heterocarióticos, figura 9); cuando existe sexualidad, ésta es por singamia; la movilidad es por flagelos, pseudópodos, o por ambos.

Dentro de este grupo, el subphylum Mastigophora, es un grupo polifilético con numerosos órdenes de interés parasitológico, como los Kinetoplastida, *Trypanosoma*, *Leishmania*, etcétera, los Diplomonadida, por ejemplo, *Giardia*, los Trichomonadida, etcétera, además de los Hipermastigida, simbioses de termitas (figura 10). El subphylum Opalinata consta de protozoos que presentan numerosos cilios cubriendo toda su superficie en filas oblicuas.

El subphylum Sarcodina (figuras 11-12) se distingue por la posesión de pseudópodos o de flujo protoplasmático sin pseudópodos auténticos; de existir flagelos, quedan restringidos a las fases de desarrollo. La mayor parte es de vida libre. En la superclase Lopododa existen dos órdenes con relevantes representantes parásitos, Amoebida (con *Entamoeba*, *Acanthamoeba*, *Iodamoeba*, etcétera) y Schizopyrenida (con *Naegleria*); muy interesante es el orden Pelobiontida, cuyas especies (por ejemplo las del género *Pelomyxa*), carecen de mitocondrias, pero presentan bacterias endosimbióticas. Las otras superclases, Rizopoda (foraminíferos, figura 13) y planctónicos actinópodos, constan de los clásicos radiolarios y de los heliozoarios (figura 14).

El phylum Apicomplexa se caracteriza por el llamado complejo apical, un conjunto de anillos polares, roptrias, micronemas, microtúbulos, etcétera, distinguibles con el microscopio electrónico. Carecen de cilios, su sexualidad es por singamia, y todos son parásitos. Dentro de la subclase Coccidia,

de la clase Sporozoa (figura 15), encontramos géneros de interés clínico, como *Eimeria*, *Isoospora*, *Cryptosporidium*, *Toxoplasma*, *Plasmodium*, etcétera. La subclase Piroplasmia incluye al género *Babesia*.

El phylum Microspora es muy interesante por su gran antigüedad filogenética, probablemente anterior a la “radiación eucariótica”, que se produjo con el establecimiento de las condiciones oxidantes en la atmósfera; posee esporas unicelulares con pared imperforada y carece de mitocondrias. Son parásitos obligados de muchos grupos de animales. Un representante con interés “histórico” es el género *Nosema*.

Finalmente, en el phylum Ciliophora (figuras 16-17) se engloban los protozoos con cilios, ya sean simples o formando orgánulos ciliares compuestos, al menos en alguna fase de sus ciclos de vida. Presentan dos tipos de núcleos. Su fisión binaria es transversal, pero se encuentran también fisión múltiple y gemación. La reproducción sexual puede ser por conjugación, por autogamia o por citogamia. Poseen vacuolas contráctiles. La mayoría son de vida libre, pero existen representantes parásitos (por ejemplo, *Balantidium*).

El tercer grupo de estudio corresponde a la denominación de “hongos inferiores”, que es muy ambigua, ya que define genéricamente a seres heterotróficos cuya estructura vegetativa suele ser multinucleada y cenocítica, en muchos casos de crecimiento miceliar. La historia filogenética de los hongos no se conoce bien; aparentemente, el modo de vida de estilo fúngico ha surgido en repetidas ocasiones durante la evolución.

Los denominados a veces como “hongos inferiores” consisten de varios grupos distintos, cuya única característica en común reside en la posesión de formas móviles en al menos alguna fase de su ciclo de vida. Los principales taxones son los siguientes:

Los Labyrinthulomycetes (figura 19) forman colonias de células vegetativas fusiformes que se mueven aparentemente por deslizamiento sobre pistas mucilaginosas en retículo, formadas por ellos mismos. Se han descrito isogametos undilipodiados en algunas especies.

Los Acrasiomycetes (mixomicetes celulares, que los zoólogos estudiaban con el nombre de Micetozoos) presentan un ciclo vital asexual con varias fases, todas ellas haploides: una fase de amebas solitarias fagotróficas, que en condiciones de carencia de nutrientes se agregan hacia unos centros de

aglomeración, originando un pseudoplasmodio celular migrador provisto de vaina, y que más tarde entra en fructificación, generando un cuerpo fructífero pedunculado en cuyo ápice las amebas se diferencian a esporas que, al germinar, cierran el ciclo.

Los Myxomycetes (mixomicetes plasmodiales), al igual que los anteriores, presentan una fase de células ameboides (mixamebas) que pueden interconvertirse en células flageladas (y viceversa). Cada uno de estos tipos morfológicos puede diferenciarse en dos sexos opuestos, que tras su fusión producen un cigoto que, por sucesivas divisiones nucleares, origina un plasmodio multinucleado osmotrófico e inmóvil. En condiciones adversas, el plasmodio se diferencia en varias zonas de esporangios pedunculados, en cuyos ápices, los núcleos sufren meiosis (frecuentemente degenerativa), produciéndose esporas haploides, cada una de las cuales genera una mixameba.

Los Quitridiomycetes (ficomicetes acuáticos, figura 18) poseen talo vegetativo a base de hifas ramificadas no septadas que se introducen en el sustrato (rizoides), y que se encuentra separado por un tabique transversal respecto de un esporangio multinucleado con forma de saco. Éste puede ser un mitosporangio o un meiosporangio, liberando en ambos casos esporas undilipodiadas uninucleadas.

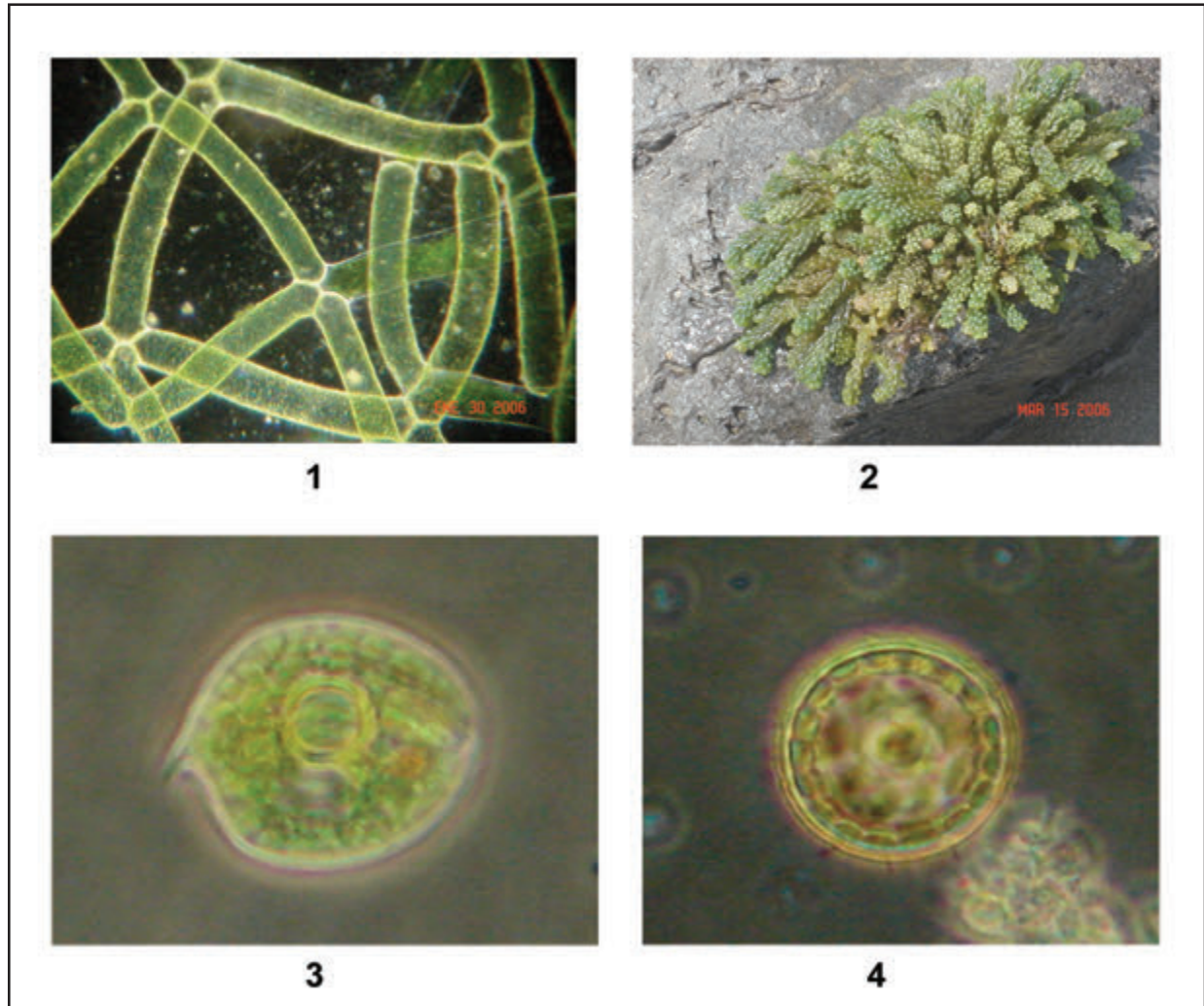
Los Hyphoquitridiomycetes (figura 19) son microorganismos holocárpicos o eucárpicos con hifas, septadas o no, de los que se desconocen fases sexuales, siendo su órgano reproductivo un zoosporangio que produce esporas flageladas.

Los Oomycetes (figuras 20-21) son microorganismos filamentosos cenocíticos, cuyas formas vegetativas carecen de septos, siquiera parciales, separados por un tabique de estructuras reproductoras masculinas (anteridios) y femeninas (oogonios); al ponerse en contacto ambos, el anteridio emite un tubo de fertilización por donde migran los núcleos masculinos al encuentro de los femeninos (oosferas). La reproducción asexual es por zoosporas flageladas.

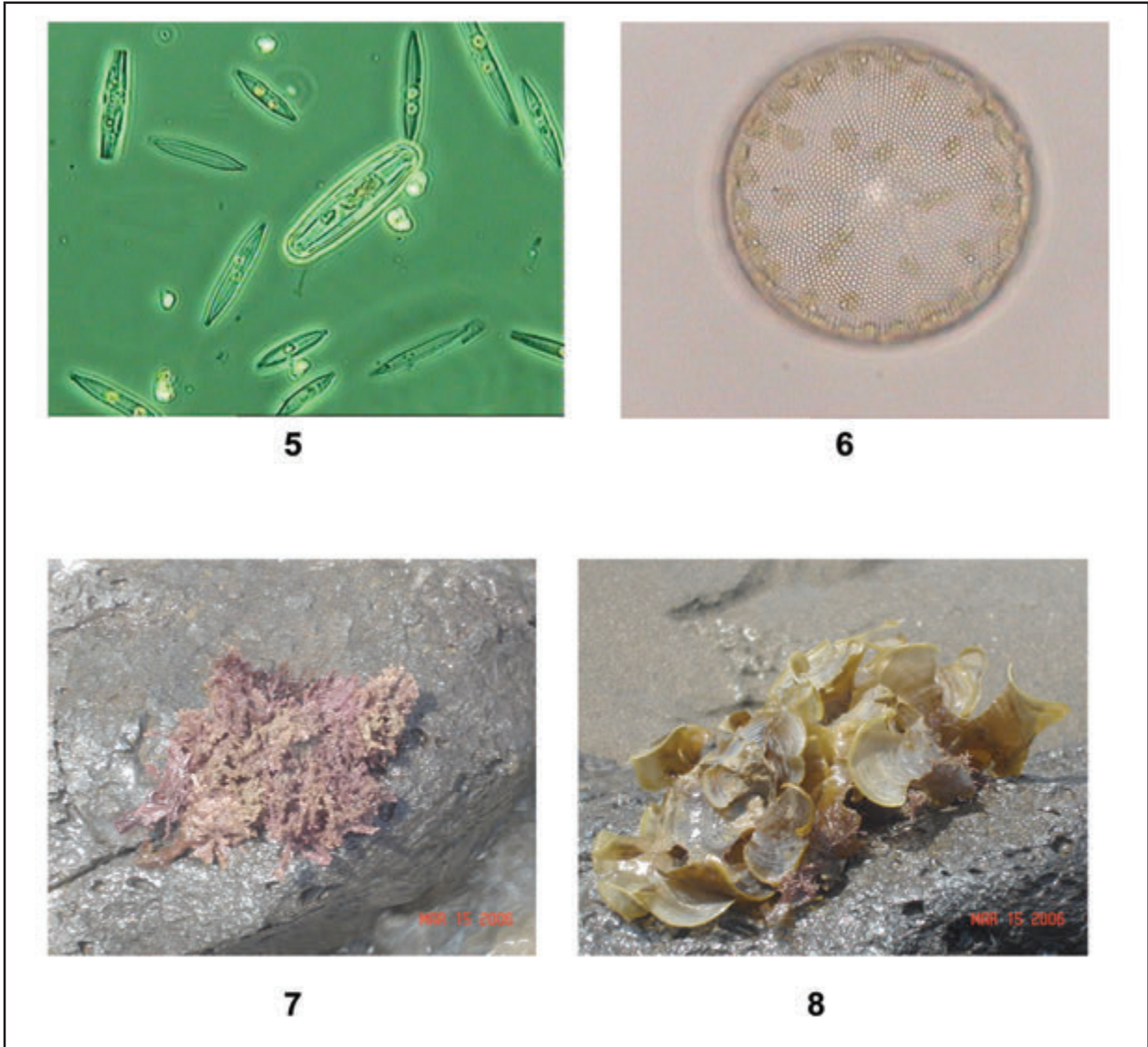
Literatura básica

- Barnes, R. D. 1986. *Zoología de los invertebrados*. 4ª. ed. Nueva Editorial Interamericana. México, D. F.
- Cronquist, A. 1986. *Introducción a la botánica*. 2a. ed. Editorial CECSA. México, D. F.
- Finlay, J. B., A. Roberson, y J. A. Cowling.

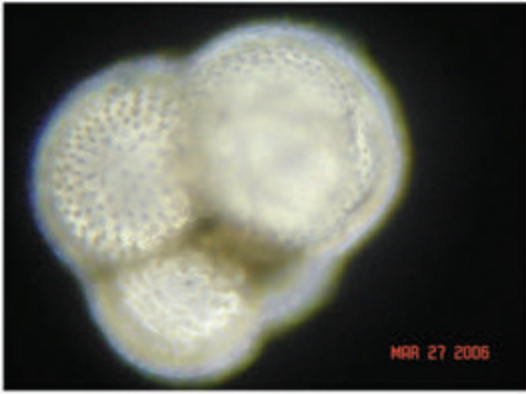
1988. *Collection, isolation, cultivation and identification of freshwater Protozoa*. Culture Collection of Algae and Protozoa. Freshwater Biological Association. United Kingdom.
- Gaviño, G., C. Juárez, y H. Figueroa. 1984. *Técnicas biológicas selectas de laboratorio y de campo*. 7a. ed. Editorial LIMUSA. México, D. F.
- Kudo, R. R. 1985. *Protozoología*. 8 ed. Editorial CECSA. México, D. F.
- Margulis, L., y K. V. Schwartz. 1985. *Cinco reinos*. Labor. Barcelona.



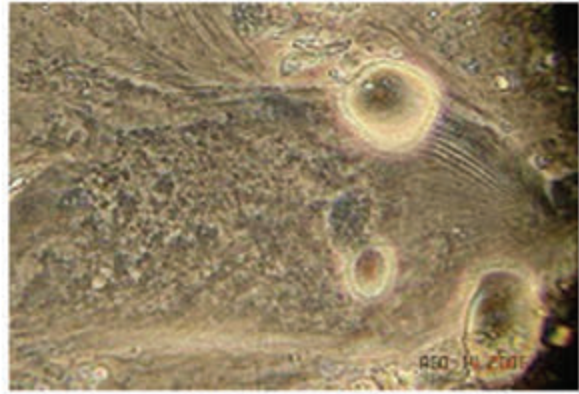
Figuras 1-4. 1: *Hydrodictyon* sp. (Chlorophyta), ejemplar dulceacuícola de la presa La Esperanza, Mineral de la Reforma, Hidalgo; 2: *Caulerpa sertularoides* (Chlorophyta), espécimen marino de Punta Diamante, Veracruz; 3: *Phacus* sp. (Euglenophyta) de la laguna de Tecocomulco, Hidalgo; 4: *Bothydiopsis* sp. (Xantophyta) del río Tepeji, Tepeji del Río, Hidalgo (fotos: G. Rodríguez).



Figuras 5-8. 5: Bacillariophyta del orden Pennales de Tezontepec de Aldama, Hidalgo; 6: Bacillariophyta del orden Centrales de Boquilla de Piedra, Veracruz; 7: *Coralina* sp. (Rhodophyta) de Boquilla de Piedra, Veracruz; 8: *Padina* sp. (Faeophyta), ejemplar colectado en Boquilla de Piedra, Veracruz (fotos: G. Rodríguez).



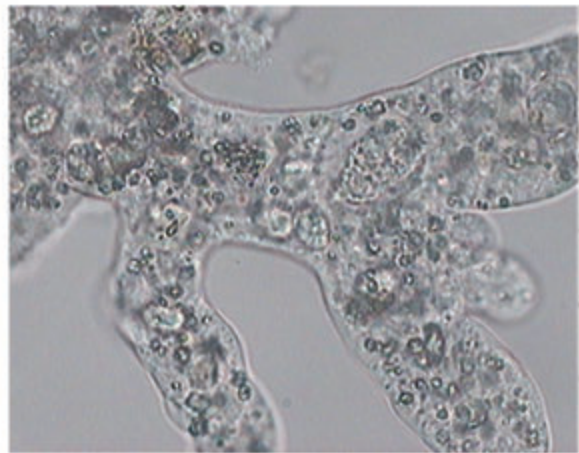
9



10

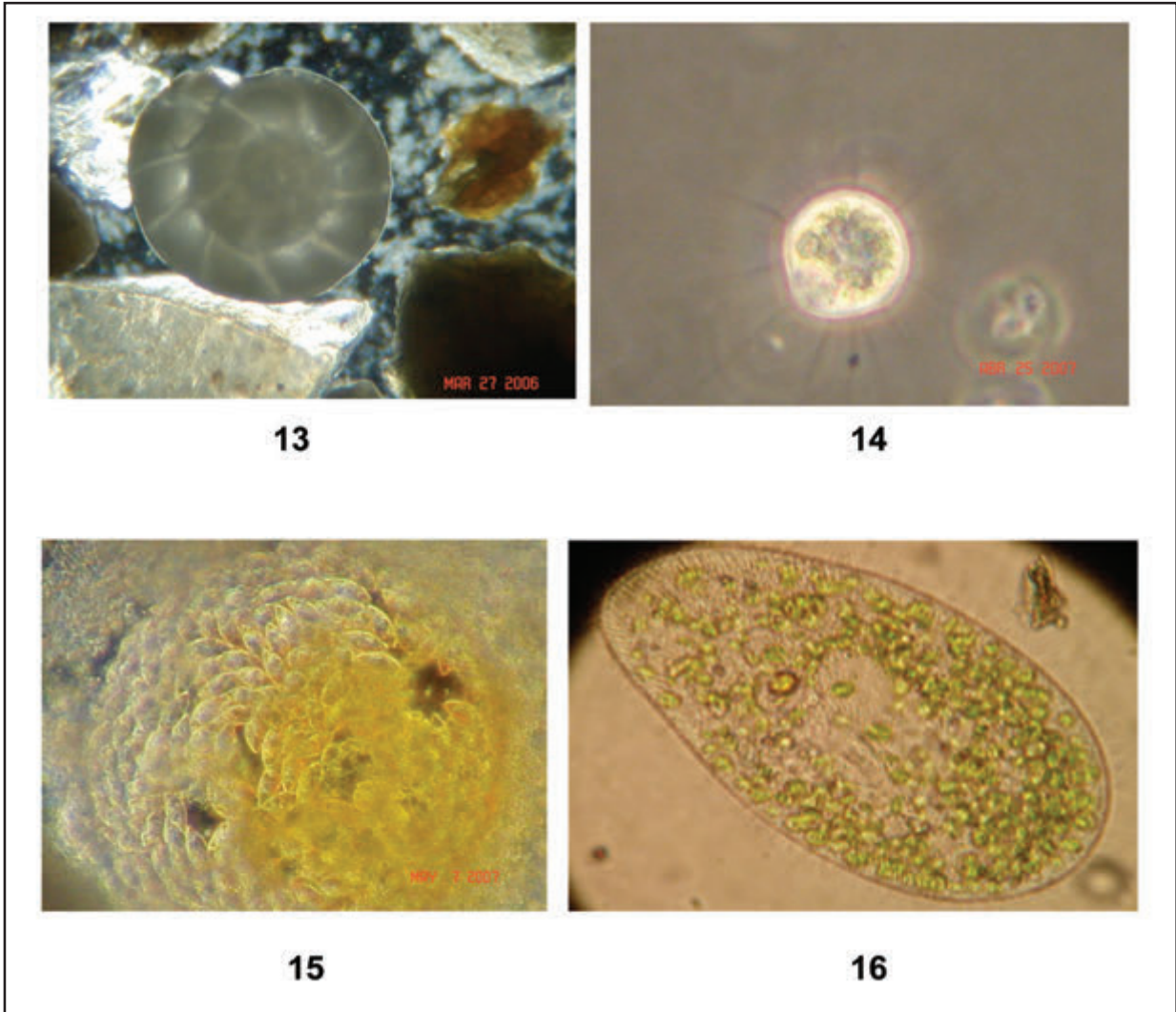


11

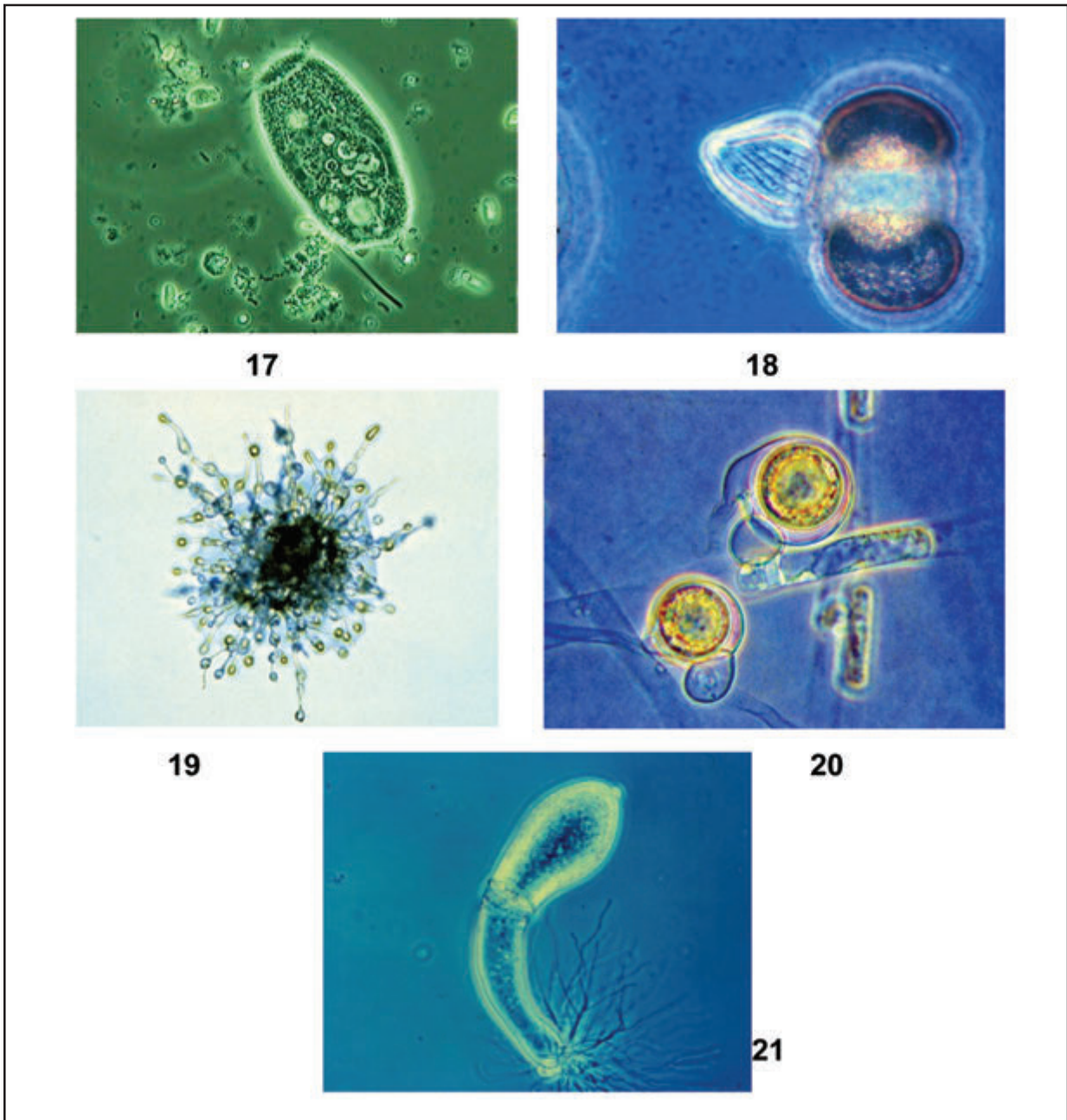


12

Figuras 9-12. 9: foraminífero, ejemplar de Boquilla de Piedra, Veracruz; 10: hipermastigino, simbiote de termita, ejemplar de Tula, Hidalgo; 11: sarcodino, amiba de agua dulce, ejemplar de la presa La Esperanza, Tulancingo Hidalgo; 12: sarcodino, ejemplar del río de Los Milagros, Mineral del Chico, Hidalgo (fotos: G. Rodríguez).



Figuras 13-16. 13: foraminífero, ejemplar de Tecolulta, Veracruz; 14: heliozoario colectado en la presa El Cedral, Mineral del Chico; 15: gregarínidos de la clase Sporozoa, sobre *Lumbricus terrestris* (ejemplar de Mixquiahuala, Hidalgo); 16: ciliado de la planta de tratamiento de la Ciudad del Conocimiento, Mineral de la Reforma (fotos: G. Rodríguez).



Figuras 17-20. 17: ciliado, ejemplar observado en la laguna de Tecocomulco, Hidalgo; 18: Chytridiomycetes, *Blyttiomycetes helicus* Sapparrow & Barr, esporangio con bandas helicoidales sobre grano de polen en su vista lateral (x169); 19: Hyphochytridiomycetes, *Hyphochytrium catenoides* Karting, esporangio sobre granos de polen; 20: Oomycetes, *Pythium erythroseptica* Pethyl, vista de oogonio, ousporas y anteridio; 21: Oomycetes, *Blastocladiella emersoni* Cantino & Hyatt (fotos: G. Rodríguez).

Biología de plantas I (briofitas)

Nombre de los profesores:	Arturo Sánchez González Claudia T. Hornung Leoni
Semestre en el que se imparte:	Cuarto
Número de horas / semana:	Cinco
Número de créditos:	Ocho
Número de horas teóricas:	Tres
Número de horas prácticas:	Dos
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Biología del desarrollo
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Biología de plantas II, Biología de plantas III y Fisiología vegetal
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Integración de conocimientos del semestre
Objetivos del curso:	1. Reconocer las características de los organismos del reino Plantae. 2. Reconocer e identificar los principales tipos de tejidos vegetales y de estelas. 3. Analizar las teorías del posible origen de las plantas y sus procesos evolutivos. 4. Identificar las dos fases del ciclo de vida de las plantas. 5. Reconocer e identificar las principales características de los organismos que conforman el grupo de las briofitas. 6. Reconocer e identificar las principales características de los organismos que conforman la división Anthocerophyta. 7. Reconocer e identificar las principales características de los organismos que conforman la división Marchantiophyta. 8. Reconocer e identificar las principales características de los organismos que conforman la división Bryophyta.



Biología de plantas I (briofitas)

Arturo Sánchez González y Claudia T. Hornung Leoni

Este curso es una introducción al reino de las plantas, donde conoceremos su clasificación general, los principales grupos (divisiones) y las características representativas. Además se analizan los primeros grupos vegetales que colonizaron los continentes, semejantes al grupo de las briofitas, y se proporcionan conocimientos de la conformación de las plantas vasculares y no vasculares a nivel microscópico, macroscópico y evolutivo. A su vez, se introduce al alumno a la gran diversidad de plantas y su importancia biológica y económica.

La parte inicial del curso incluye una breve introducción al reino Plantae, y se discute la teoría estelar y procesos de histogénesis. También se señala el origen de las plantas terrestres, así como aspectos del ciclo generalizado de las plantas, de manera que el alumno pueda aplicar esta nueva terminología a cada uno de los grupos que se estudiarán durante el curso y en los cursos de Biología de plantas II y III.

Por otra parte, existen características exclusivas que permiten identificar y ubicar a los ejemplares en cada una de las tres divisiones que se estudian en este curso. Es importante que el alumno aprenda de manera práctica las estructuras morfo-anatómicas de cada división, por lo que el objetivo es introducir al estudiante en estos términos, para poder identificar en campo y en material de herbario las principales características de las briofitas.

Las briofitas, probables ancestros de las plantas vasculares, son generalmente pequeñas y pueden crecer sobre rocas, suelo, troncos o incluso sobre hojas (epifilas). Son similares a otras plantas porque contienen clorofila, carotenos, xantofilas, almidón, aceites y celulosa. Sin embargo, uno de los pasos evolutivos importantes que se dio en este grupo y que comparte con las plantas vasculares (diferenciándolas de las algas Charofitas), fue la retención del cigoto y el desarrollo de un embrión multicelular (o esporofito joven) inmerso en el gametofito femenino. Otro gran paso fue el desarrollo de gamentangios femeninos y masculinos, llamados arquegonios y anteridios respectivamente, con una capa protectora; y por último, la presencia de un esporofito multicelular diploide (Raven *et al.*, 2003). Sin embargo, las

briofitas difieren de todas las demás plantas por que la generación gametofítica es la dominante y por la presencia de esporofitos no ramificados que producen un solo esporangio (Rost *et al.*, 2006). Una característica importante de las briofitas es la relación estrecha con el agua, por que dependen de ésta para cumplir su ciclo reproductivo y por la capacidad poikilohídrica que tienen algunos musgos de rehidratarse luego de largos periodos de desecación.

Taxonómicamente, las briofitas han tenido varios cambios, inicialmente se incluía a especímenes de *Anthoceros*, *Marchantia* y a los muy conocidos musgos, en una sola división, bajo el nombre de Bryophyta. En la actualidad sólo los musgos pertenecen a esta división, y a los demás se les ha separado en otras divisiones. Se considera que las briofitas comprenden tres linajes principales: las hepáticas (Marchantiophyta), los antoceros (Anthocerophyta) y los musgos (Bryophyta) (Shaw y Goffinet, 2002; Rost *et al.*, 2006).

Con base en la clasificación actual, durante el curso se detallan aspectos teórico-prácticos de las tres divisiones: Bryophyta, Marchantiophyta y Anthocerophyta. Se detallan las características de cada división y de las diferentes estructuras morfológicas que permiten su identificación. Además, se detalla el ciclo reproductivo y la distribución e importancia de cada división.

Dentro de Anthocerophyta se encuentra el género que da nombre a la división: *Anthoceros*, se le conoce por tener el esporofito en forma de cuerno (figura 1) (Shaw y Goffinet, 2002). Las hepáticas son conocidas de ambientes húmedos, y el género más estudiado es *Marchantia*, cuyos gametóforos son llamativos por su forma de “paraguas” (arquegonióforos) y “palmera” (anteridióforos) (figura 2). Las hepáticas se dividen en dos grupos principales, los talosas y las foliosas. En el primero es donde se ubica *Marchantia*, y en el segundo existen plantas muy parecidas a los musgos, con los que suelen ser confundidos frecuentemente.

Uno de los aspectos importantes a resaltar y detallar en este grupo de plantas es su ciclo de vida (figura 3) en el que la fase dominante, el gametofito, es la estructura de mayor tamaño

y de vida más larga. Consta de un eje principal sobre el que se insertan las hojas o “filidios” (en hepáticas foliosas y musgos). Sobre el gametofito se desarrolla posteriormente el esporofito, cuya morfología es variable: en los musgos consta de una seta (eje) sobre la que se desarrolla la cápsula (esporangio), la cual varía enormemente dentro de la división, siendo consideradas las características morfológicas de la cápsula un rasgo muy importante en la clasificación de los musgos. En el esporangio se desarrollan y liberan posteriormente las esporas, las cuales, al germinar, desarrollarán un gametofito joven (figura 4).

En el curso se considera una salida al campo, donde se ponen en práctica las técnicas de recolecta y toma de datos (explicados en clase), y posteriormente en el herbario se realiza el proceso de herborización de las muestras. En el laboratorio se observa la morfología y anatomía de las tres divisiones que previamente se analizaron en la teoría y se identifican las características que definen a cada grupo taxonómico.

Literatura básica

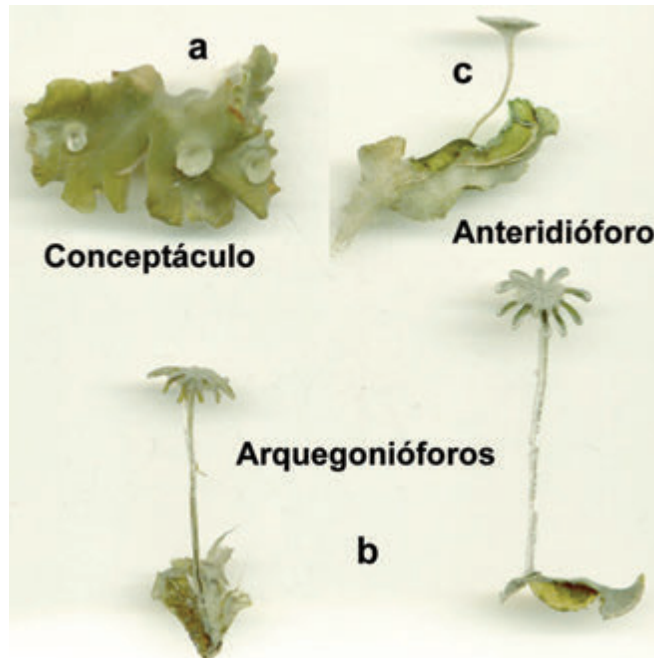
- Blackwell, W. H. 2003. *Two theories of origin of the land-plant sporophyte: which is left standing?* The Botanical Review 69: 125-148.
- Delgadillo, C., y M. A. Cárdenas. 1990. *Manual de briofitas*. Cuadernos 8. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Glime, J. M. 2006. *Bryophyte ecology*. Publicado en línea. Vol.1 Physiological Ecology. <http://www.bryoecol.mtu.edu/>
- Izco I., E. Barreno, M. Brugués, M. Costa, J. Devesa, F. Fernández, T. Gallardo, X. L. Limona, E. Salvo, S. Talavera, y B. Valdés. 1997. *Botánica*. McGraw-Hill. Madrid.
- Raven, P., R. F. Evert, y S. E. Eichhorn. 2003. *Biology of plants*. 6a. ed. W.H. Freeman and Company Worth Publishers. New York.
- Shaw, J., y K. Renzaglia. 2004. *Phylogeny and diversification of bryophytes*. American Journal of Botany 91:1557-1581.
- Shaw, J. A., y B. Goffinet. 2002. *Bryophyte biology*. Cambridge University Press. New York.



1a



1b



2

Figuras 1-2: esquema 1a y foto 1b de *Anthoceros* con detalle del esporofito en forma de cuerno. Fotos de *Marchantia* sp., una hepática talosa, 2a: detalle de los conceptáculos, 2b: del arquegonióforo y 2c: anteridióforo. Tomadas de (1a): Raven *et al.* (2003), (1b): recursos.cnice.mec.es/contenidos15.htm; (2): <http://www.biology.iastate.edu/Courses/211L/Bryoph/%20BryoINDX1.htm>.

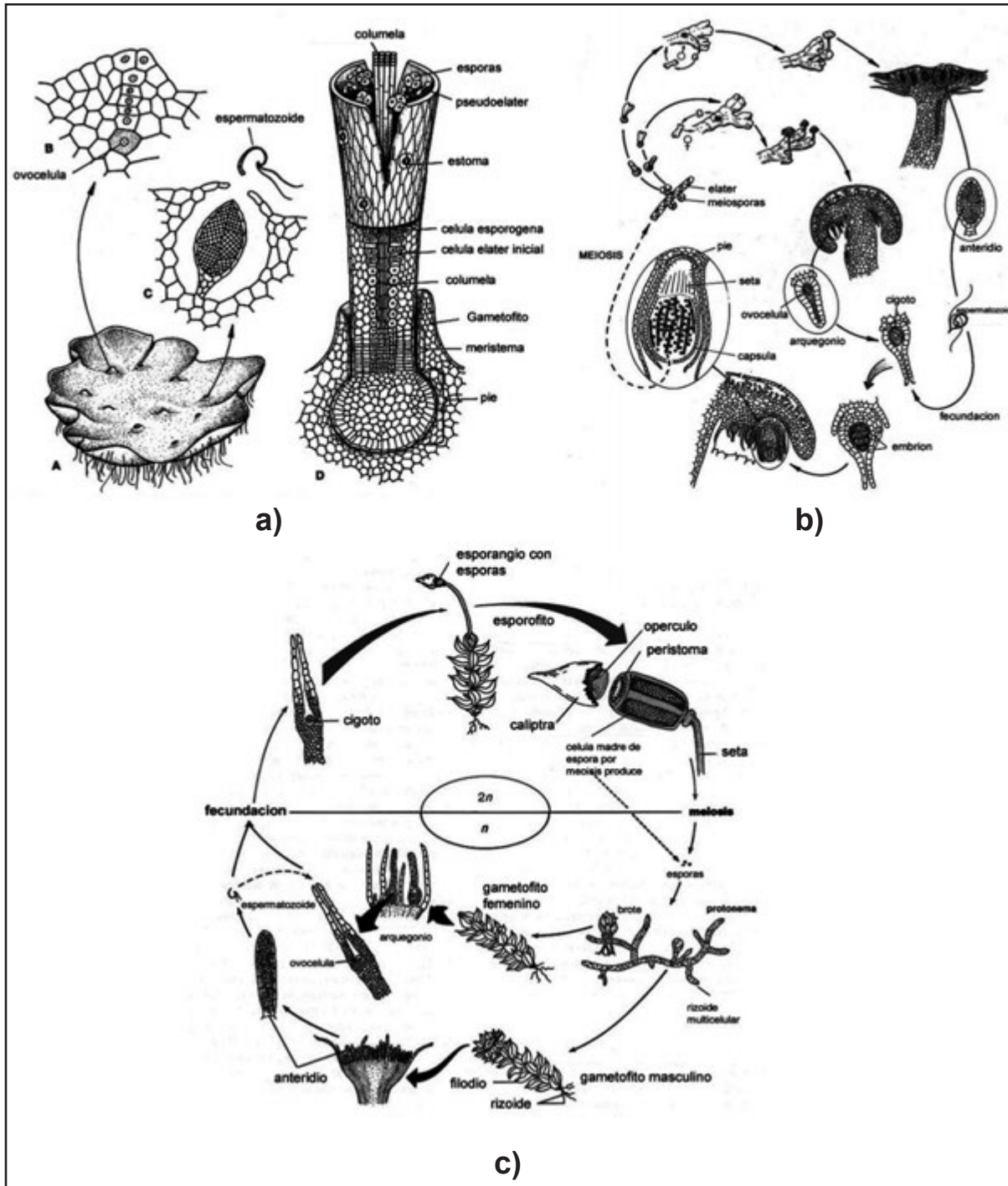


Figura 3: ciclo de vida y anatomía de un antocero (a), una hepática (b) y el musgo *Polytrichum* sp. (c). Tomada de: www.ualr.edu/botany/.

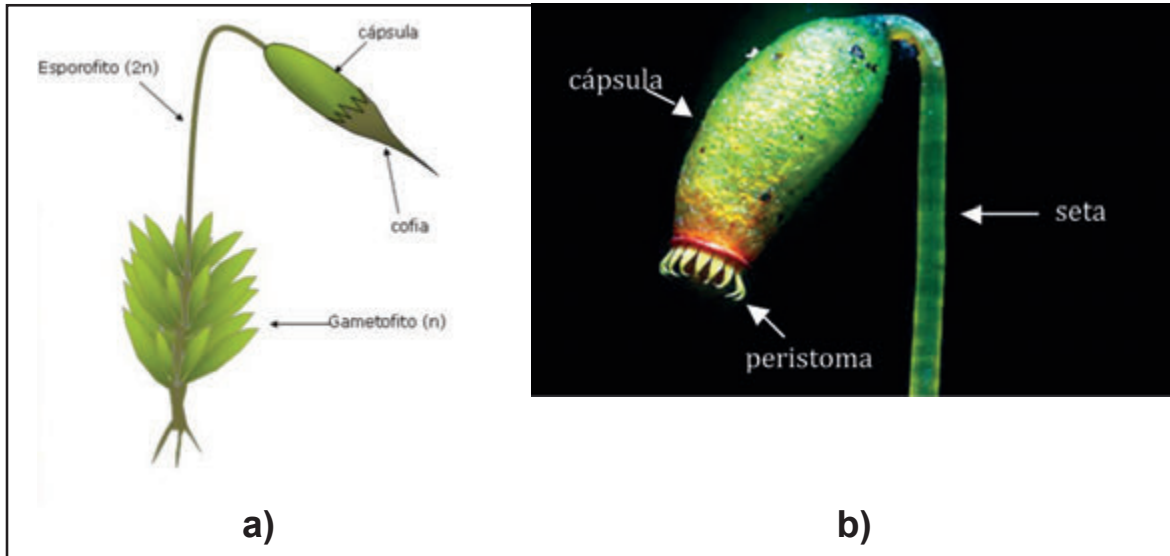


Figura 4: gametofito y esporofito de un musgo (a), y detalle del esporofito (b). Tomadas de a: http://web.educastur.princast.es/proyectos/biogeo_ov/2BCH/B4_INFORMACION/T409_REPRODUCCION/informacion.htm; b: http://www2.auckland.ac.nz/info/schools/nzplants/moss_caps_opening.htm.

Biología de animales I (invertebrados)

Nombre de los profesores:	William Scott Monks Griselda Pulido Flores Judith Berenice Alemán García Jorge Falcón Ordaz
Semestre en el que se imparte:	Cuarto
Número de horas / semana:	Ocho
Número de créditos:	Doce
Número de horas teóricas:	Cuatro
Número de horas prácticas:	Cuatro
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Biología celular, Biología del desarrollo, Biología de procariontes y Biología de protoctistas
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Biología de animales II (articulados)
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Ninguna
Objetivos del curso:	<ol style="list-style-type: none">1. Que comprenda el origen de los metazoarios y conozca los planes estructurales básicos en los animales.2. Que visualice los cambios de los arquetipos estructurales en los grupos estudiados.3. Que conozca las técnicas de colecta y preservación de cada uno de los taxa.4. Que conozca los principales problemas al conocimiento, manejo y conservación de los metazoarios en México.5. Que conozca las diferentes hipótesis de relaciones filogenéticas entre los metazoarios.



Biología de animales I (invertebrados)

Judith Berenice Alemán García, William Scott Monks y Griselda Pulido Flores

El término invertebrado, según el diccionario de la Real Academia Española, se define como “aquellos animales que no tienen columna vertebral”. En la antigua clasificación zoológica se incluyeron a todos aquellos animales carentes de un esqueleto formado por una columna vertebral. Sin embargo, este término es muy general, ya que únicamente se refiere a los animales que presentan o carecen de un endoesqueleto. Por sí solo, este término no refleja cómo son las relaciones filogenéticas (relaciones de parentesco) que mantienen los diferentes grupos de animales sin esqueleto (figura 1).

Hasta la fecha, se han identificado aproximadamente nueve mil especies del filo Porifera. Tradicionalmente los miembros de Porifera fueron descritos como “parazoa” porque carecen de capas del cuerpo derivadas de capas embrionarias. La mayoría de las especies de esponjas están restringidas al bentos de aguas marinas, pero existen algunas de la clase Demospongiae que son dulceacuícolas. Las esponjas fueron clasificadas dentro de las plantas por su forma asimétrica y por no presentar un movimiento aparente. Posteriormente, se discutió sobre la forma en la que producen corrientes de agua en su interior, reconociendo a las esponjas como animales. Finalmente, el estatus de ser organismos distintos del resto de los metazoarios fue conferido por Huxley (1874) y Sollas (1884). La clasificación de las esponjas se realizó con base en la forma de su esqueleto interno, considerando cuatro clases: Calcarea, Hexactinellida, Demospongiae y Sclerospongiae (figura 2A).

Existen cerca de once mil especies vivientes del filo Cnidaria, conocidas por su gran diversidad de formas (anémonas, corales, hidrozooos, etcétera). La mayoría de las especies son carnívoras, sésiles (pólipos) o nectónicas (medusas), aunque algunas obtienen su presa mediante la filtración del agua. Algunos cnidarios tienen como simbiontes algas unicelulares (común en los corales y algunos hidrozooos). Sus cuerpos son de todos los tamaños: pólipos casi microscópicos, hasta medusas con un diámetro de dos metros y con tentáculos de 25 m de longitud. Las colonias de corales pueden abarcar grandes distancias. Fueron clasificados dentro de las

plantas por la presencia de estructuras semejantes a “espinas”, al igual que muchas plantas. Se reconocieron como animales en los 1700, después fueron clasificados por Linneo dentro de las esponjas (los 1800) porque los científicos pensaron que las esponjas y los cnidarios eran organismos intermedios entre las plantas y los animales (figura 2B).

Las aproximadamente 100 especies conocidas del filo Ctenophora pueden ser confundidas con los cnidarios por su tipo de hábitat y ecología; todos flotan o nadan en el agua desde la superficie hasta una profundidad de al menos 3 mil m. Habitan en aguas marinas de todo el mundo, pero son poco conocidos. Son animales transparentes, frágiles y la mayoría son luminescentes. Muchas especies son pequeñas, con un cuerpo que va desde 1 cm de largo, hasta aquellos en forma de cinta con una longitud de 1 m. Presentan simetría biradial, con dos capas (aunque pueden ser considerados con tres capas) separadas por un mesénquima, por lo que algunos autores consideran esta forma de cuerpo como evidencia de un ancestro común compartido con los cnidarios, y otros consideran que es una forma convergente como resultado de la adaptación a la vida natatoria y pelágica. Muchas de las especies son carnívoras pero otras se alimentan por filtración del agua (figura 2C).

El filo Platyhelminthes (griego: platy = plano; helminth = gusano) es un grupo de organismos que poseen un cuerpo plano, y que comúnmente son llamados gusanos, al igual que cualquier animal alargado sin patas. Se conocen aproximadamente 20 mil especies, aunque existen muchas más especies desconocidas, en especial de aquellos grupos que tienen miembros de vida parásita, de los cuales se descubren varias especies nuevas cada año. Poseen un nivel de complejidad denominado acelomado triploblástico, con simetría bilateral, y aunque las formas del cuerpo son variadas, todos son relativamente planos y ovales, hasta alargados. El filo contiene especies de vida libre y especies parásitas, pero las especies parásitas son más numerosas.

El tamaño de los organismos de vida libre va desde 1 mm a 30 cm de longitud, con un promedio de 1-3 cm; en el caso de los parásitos, los de mayor

longitud son los miembros de la clase Cestoda, que pueden tener hasta 5-10 m (*Taenia solium*) de longitud. La mayoría de los platelmintos son miembros de las clases Trematoda, Monogenea y Cestoda (los tres son parásitos). Los miembros de la clase Turbellaria son de vida libre en ambientes marinos y de agua dulce, aunque existen algunas especies terrestres. Los platelmintos son distinguidos por un conjunto de características que no aportan evidencia determinante sobre su origen, además de que las ideas de que los ancestros del resto de los metazoarios fueron semejantes a los platelmintos acelomados, o que los platelmintos son derivados de un ancestro celomado aún son arbitrarias. En cuanto al número de especies se refiere, el más grande es Digenea (figura 2D-I).

El nombre Nemertea proviene del griego: “ninfa del mar”, que también es conocido con el nombre de Rhynchozoela (griego: rhynchos, “trompa”; coel, “cavidad”). Se conocen aproximadamente 900 especies, todas de aguas marinas distribuidas por todo el mundo, conocidos comúnmente como “gusanos cinta”. Los nemerteos viven en el bentos del mar, debajo de rocas, hay especies planctónicas, algunas simbioses de moluscos y de otros invertebrados marinos, y algunas de agua dulce o terrestres del suelo de invernaderos.

Se conocen aproximadamente 450 especies del filo Gastrotricha, miembro de Blastocelomada. Todos son acuáticos de agua dulce, salobre y salina. Viven en los espacios que hay entre los granos de arena de los sedimentos. Algunos miden 3 mm, pero casi todos miden menos de 1 mm. Su cuerpo está dividido en una cabeza, que tiene un ganglio cerebral en la región anterior, y un tronco (figura 3A).

El filo Nematomorpha es relativamente pequeño, con aproximadamente 320 especies conocidas, ya que por su estilo de vida, han sido poco estudiados. Su nombre proviene del griego: *nema* = hilo y *morph* = forma, aunque comúnmente son conocidos por su nombre en inglés “pelo de caballo”, por la forma de su cuerpo, y porque antiguamente se pensaba que los pelos caídos de la cola de los caballos se transformaban en estos gusanos. Los individuos más largos, frecuentemente tuercen sus cuerpos hasta que forman nudos, por lo que también son conocidos como gusanos gordios, por el nombre del nudo famoso del griego “Gordius” (figura 3B).

El filo Priapulida es uno de los que tiene un menor número de especies (sólo 16 vivientes y 14

fósiles). El filo fue nombrado en honor de Priapos, el dios griego de la reproducción, debido a que las primeras especies descubiertas tenían un cuerpo en forma semejante a un pene gigante. El desarrollo de los miembros del grupo aún es desconocido, y no está claro si son celomados o blastocelomados, aunque clásicamente son agrupados dentro de los blastocelomados (figura 3E).

Los miembros del filo Loricifera son pequeños (115-383 μm de largo) y habitan en los espacios que hay entre los granos de arena del fondo del mar. Su cuerpo está dividido en introvertido, cuello, tórax y abdomen; éste último está cubierto por una cutícula formada por placas llamada “lórica”. A pesar de su apariencia, su cuerpo no está segmentado, carecen de sistema circulatorio y de intercambio de gases, pero cuentan con un intestino completo y un par de protonefridios. Las larvas son conocidas como larva tipo “Higgins”, semejante a los adultos en cuanto a forma se refiere, ya de igual manera son gonocóricos (figura 3F).

El reconocimiento del filo Cycliophora es muy reciente, descubierto en 1995. Se conoce sólo una especie, *Symbion pandora*, de 350 μm de largo, que vive como ectoparásito de las mandíbulas de las langostas noruegas. Los ciclóforos son acelomados y su cuerpo está dividido en tres partes, el embudo bucal, el tronco y un disco adhesivo posterior (figura 4D).

El nombre del filo Gnathostomulida está dado por la presencia de mandíbulas en los adultos (griego; *gnathos* = mandíbula, *stoma* = boca) y contiene aproximadamente 80 especies, que fueron descritas como platelmintos originalmente en 1985. Los adultos viven entre los granos de arena del fondo del mar en todo el mundo. Su cuerpo mide menos de 2 mm de largo y está dividido en una cabeza, un tronco y una cola. El filo contiene dos órdenes, Filospermoidea, con el cuerpo muy delgado, esperma filiforme y un sistema reproductivo reducido, y Bursovaginoidea, con cuerpos menos delgados y esperma no filiforme (figura 3C).

Las aproximadamente 150 especies del filo Kinorhyncha, también blastocelomados, habitan en ambientes marinos, y la mayoría viven en los espacios que hay entre los granos de arena en los sedimentos o en la capa superficial del fango marino. El cuerpo está integrado por 13 zonitos (algunos investigadores consideran que son segmentos metaméricos verdaderos). Los kinorincos son triploblásticos, bilaterales, con segmentación (el

único grupo estudiado en esta materia con segmentos) y no presentan cilios externos, tienen mudas periódicas durante su desarrollo (figura 3D).

El filo Rotifera, descubierto originalmente por Anton Van Leeuwenhoek en los 1600, está representado por aproximadamente mil 800 especies. Su nombre está basado en la corona de cilios presente en la parte anterior de su cuerpo (latino: *rota*= “rueda o corona” *fera*= “cargar”). Está dividida en tres clases: Seisonidea, Bdelloidea y Monogononta. Los miembros del filo son triploblásticos, con simetría bilateral, sin segmentación y poseen un blastoceloma (figura 4B).

El filo Acanthocephala cuenta con un probóscide en la parte anterior del cuerpo provista de ganchos y que es evertible, de ahí su nombre (griego: *acanthias*= espinas; *cephalo*=cabeza). Son triploblásticos, bilaterales, generalmente cilíndricos y sin segmentación; además son blastocelomados. Su epidermis tiene un sistema único de canales tubulares, llamado “sistema lacunar”, lleno de líquido, y posiblemente interviene en el transporte de nutrientes. Carecen de intestino y de estructuras asociadas, y de protonefridios, a excepción de algunas especies de la clase Archiacanthocephala. Los acantocéfalos sufren mudas periódicas durante el desarrollo del cistacanto, pero no en estado adulto. Los acantocéfalos son gonocóricos (con machos y hembras). Todos son parásitos intestinales de vertebrados como adultos y parásitos de artrópodos, como juveniles.

El filo Acanthocephala está dividido en tres clases: Archiacanthocephala, Paleacanthocephala y Eoacanthocephala, algunas personas incluyen una cuarta clase llamada Polyacanthocephala. Hasta la fecha, se concen aproximadamente mil 500 especies, la mayoría miden menos de 2 cm, aunque algunos alcanzan los 15 cm (parásitos de ratas) y otros hasta 30 cm de longitud y casi 1 cm en ancho (parásitos de ballenas). Su cuerpo es cilíndrico o similar a un tubo aplanado cuando están vivos. Está dividido en tres partes: probóscide, cuello y tronco. Los acantocéfalos tienen algunas similitudes con otros grupos, por ejemplo, con los nemátodos comparten la presencia de una cutícula y de mudas periódicas durante su desarrollo; con los rotíferos, la estructura de la cutícula y la presencia de glándulas adhesivas; y algunos científicos piensan que son similares a los priapúlidos por la presencia de una probóscide. Es difícil identificar a su grupo hermano, ya que algunas de estas características

son homoplasias. Sin embargo, la hipótesis más apoyada es que los acantocéfalos son el grupo hermano de los rotíferos (figura 4A).

El filo Nematoda es uno de los filos más grandes, con más de 25 mil especies descritas (y probablemente muchas más que no se conocen), es el grupo dentro de Metazoa más abundante en el mundo. El filo contiene especies de vida libre que son muy pequeñas, y otras especies que son parásitas, de mayor tamaño. La gran mayoría de las especies son acuáticas de agua dulce y agua salina, o bien, habitan en el suelo. De las especies parásitas, la mayoría son parásitas de plantas, pero existen muchas especies parásitas de animales. A simple vista, todos los nemátodos parecen ser iguales, pero hay mucha variación tanto en estructuras internas como en el exterior del cuerpo.

El filo Nematoda, también conocido como Nemata, contiene dos clases, divididos por la presencia de una estructura sensorial llamada “anfidio” (clase Adenophorea) y ausencia de “fasmido” en la región caudal, y por la presencia de ambas estructuras (clase Secrenentea), entre otras características. Los nemátodos son triploblásticos, blastocelomados, bilaterales y cilíndricos, su intestino es completo, y casi todos cuentan con un sistema excretor único formado por una o dos células “renette”, o por unos ductos excretores pequeños. Carecen de estructuras de circulación e intercambio de gases, la pared del cuerpo cuenta únicamente con músculos longitudinales (músculos circulares ausentes), cuyas células están conectadas al cordón nervioso longitudinal (único de los nemátodos), ya que en el resto de los organismos los nervios se conectan a los músculos, y en los nemátodos ocurre lo contrario. La epidermis está compuesta por células o por un sincicio (células unidas que perdieron sus membranas) y tienen canales longitudinales que almacenan las cuerdas de los nervios. Son gonocóricos (con machos y hembras) y los machos frecuentemente tienen la parte posterior, llamada cola, en forma de gancho (figura 4C).

Los miembros del filo Mollusca no tienen relación estrecha con el resto de los filos estudiados en esta materia; sin embargo, se incluyen por ser el “puente” entre acelomados y blastocelomados y los celomados. Los moluscos cuentan con una cavidad corporal que tiene una capa delimitante completa originada de células del mesodermo. Presentan simetría bilateral y algunos son asimétricos de manera secundaria; son celomados protostomados, pero el celoma generalmente está reducido a unos

vestigios alrededor de los nefridios, corazón, gónada y parte del intestino.

La cavidad principal del cuerpo es un hemocele (sistema circulatorio abierto). El cuerpo está cubierto por una delgada vaina de piel con una cutícula epidérmica denominada “manto”, el cual forma una cavidad (cavidad del manto) en que se albergan el ctenidio, la osfradia, los nefridioporos, los gonoporos y el ano. El manto, con el apoyo de la glándula de la concha, secreta espículas epidérmicas calcáreas, valvas y/o conchas. El corazón yace en la cámara pericardial y está compuesto por un ventrículo y un atrio. Cuenta con un “pie” muscular grande y bien definido, una región bucal provista por una rádula, un intestino completo con una marcada especialización regional, incluyendo un ciego digestivo grande y metanefridios (riñones). Los adultos son hermafroditas. Su larva es trocófora y usualmente una larva véliger (figura 4E).

Literatura básica

- Brooks, D. R., S. M. Bandoni, C. A. Macdonald, y R. T. O’Grady. 1989. *Aspects of the phylogeny of the Trematoda Rudolphi, 1808 (Platyhelminthes: Cercomeria)*. Canadian Journal of Zoology 67: 2609-2624.
- Brusca, R. C., y G. J. Brusca. 2003. *Invertebrates*. Sinauer Associates Inc. USA.
- Kobayashi, M., H. Wada, y N. Satoh. 1996. *Early evolution of the Metazoa and phylogenetic status of diploblasts as inferred from amino acid sequence of elongation factor-1*. Molecular Biology and Evolution 5: 414-422.
- Linnaeus, C. 1735. *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. Stockholm. Sweden.
- Ruppert, E. E., y R. D. Barnes. 1996. *Zoología de los invertebrados*. McGraw-Hill Interamericana. México, D. F.
- Sollas, W. J. 1884. *On the origin of freshwater faunas: a study in evolution*. Transactions of the Royal Society (Dublin) 2: 87-118.
- Zamparo, D., y D. R. Brooks. 2003. *Phylogenetic systematic assessment of the Aspidobothrea (Platyhelminthes, Neodermata, Trematoda)*. Zoologica Scripta 32: 83-93.
- Zamparo, D., D. R. Brooks, E. P. Hoberg, y D. A. McLennan. 2000. *Phylogenetic analysis of the Rhabdozoa (Platyhelminthes) with emphasis on the Neodermata and their relatives*. Zoologica Scripta 30: 59-77.

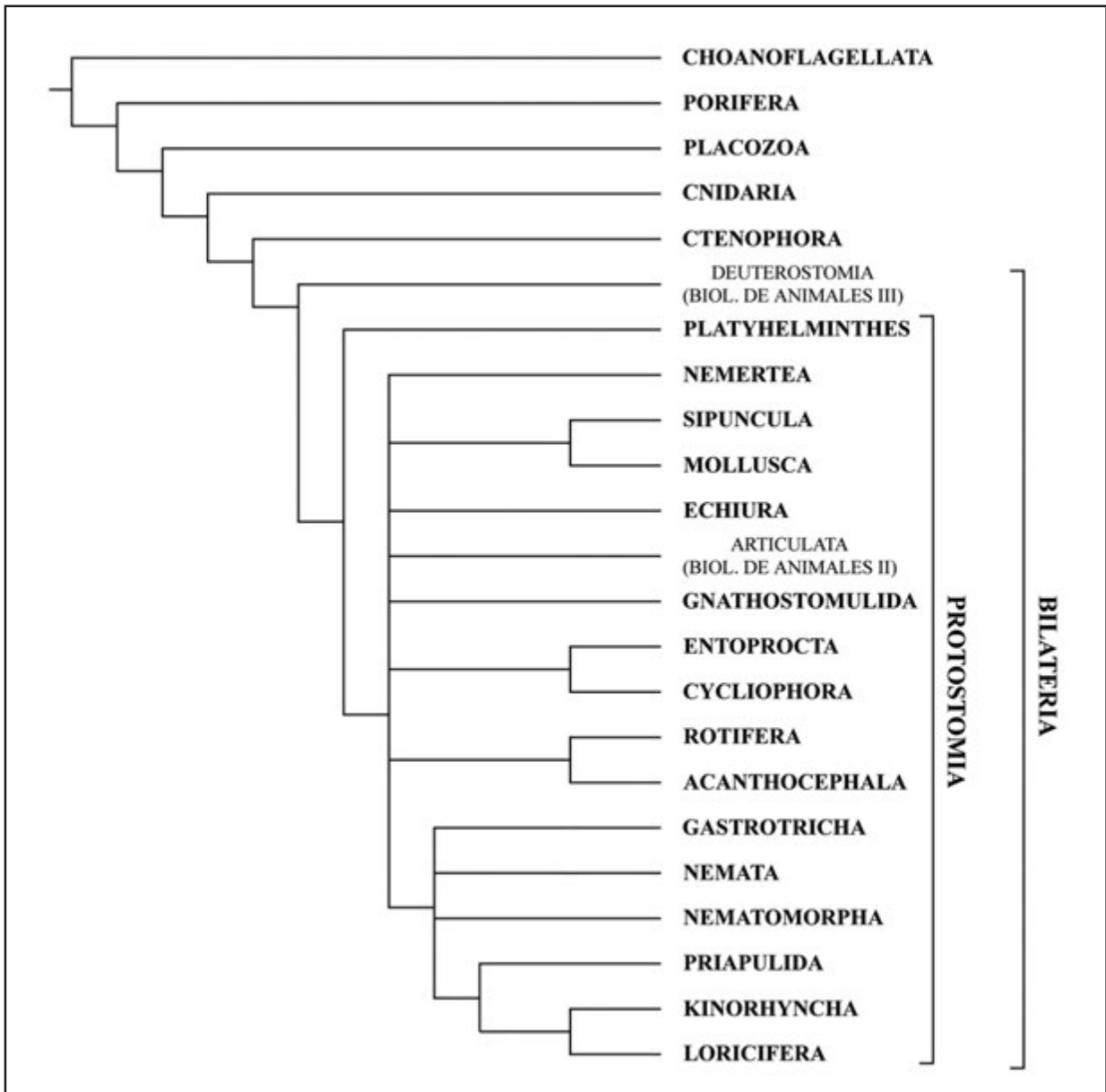


Figura 1: hipótesis de las relaciones filogenéticas entre invertebrados (modificada de Brusca y Brusca, 2003).

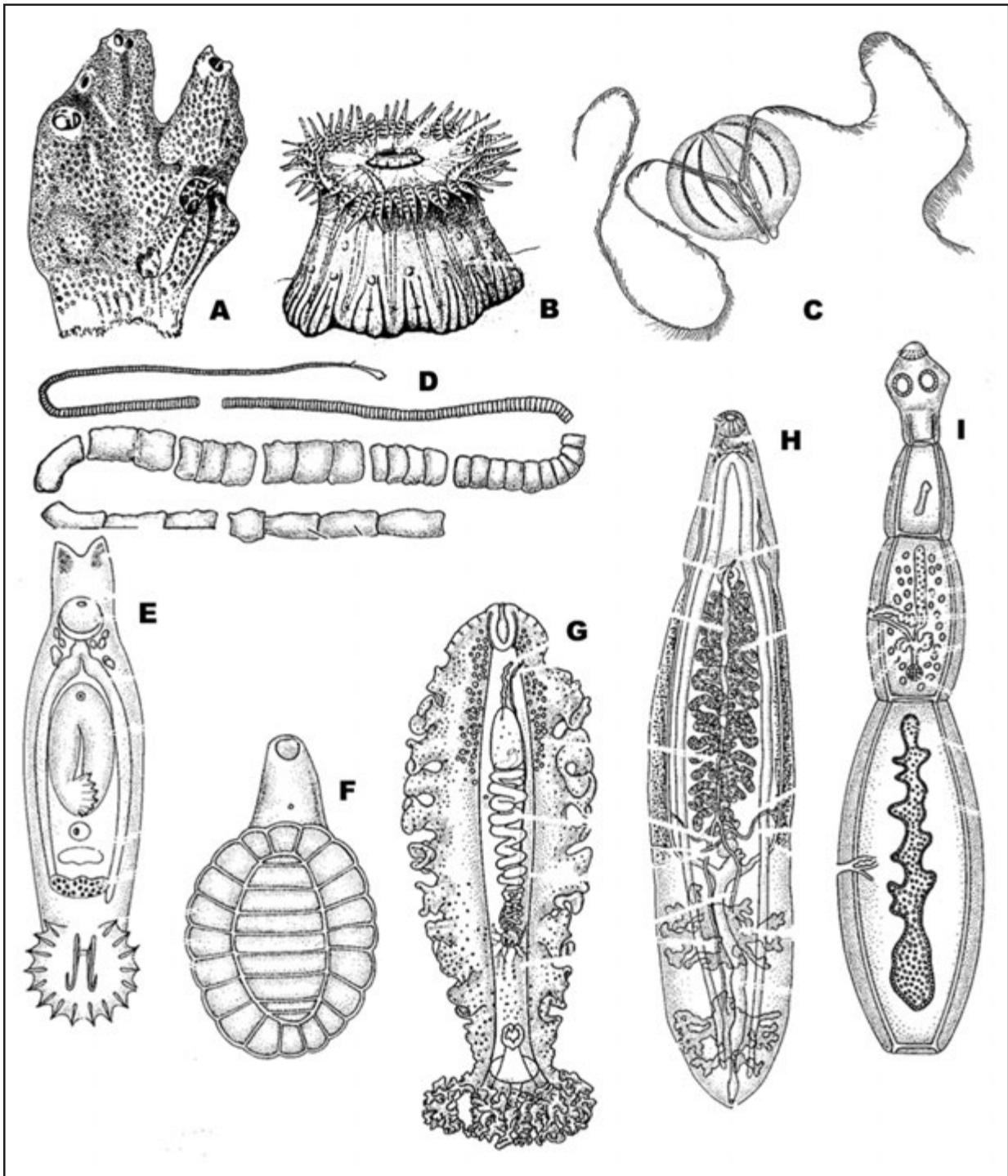


Figura 2. A: esponja (phylum Porifera); B: anémona (phylum Cnidaria); C: ctenóforo (phylum Ctenophora); D: céstodo (Eucetoda: Platyhelminthes); E: monogéneo (phylum Platyhelminthes); F, aspidogástreo (Aspidobothrea: Platyhelminthes); G, céstodo (Gyrocotylea: Platyhelminthes); H: digéneo (phylum Platyhelminthes); I: céstodo (Eucestoda: Platyhelminthes) (tomadas de Brusca y Brusca, 2003).

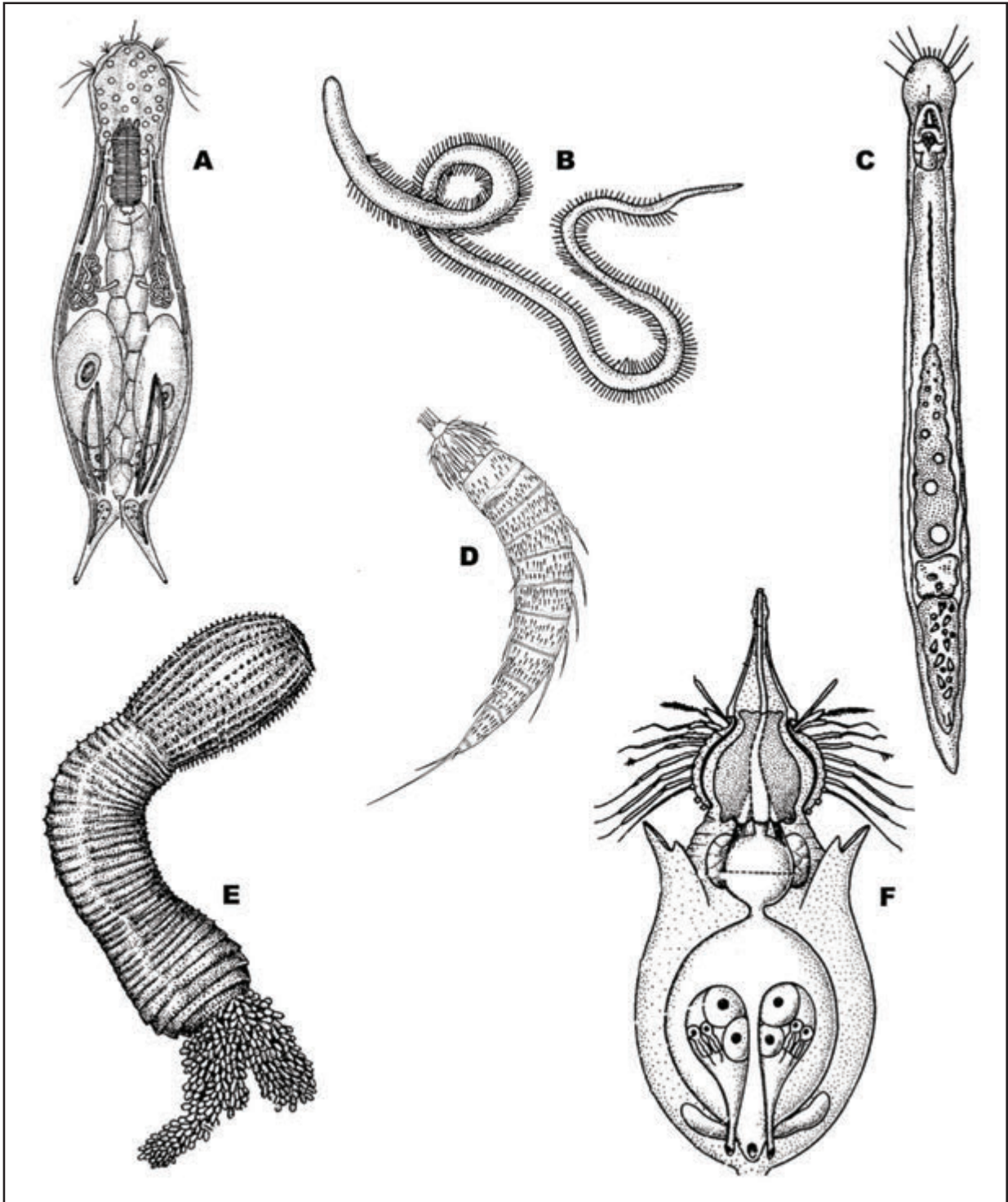


Figura 3. A: Gastrotricha; B: Nematomorpha; C: Gnathostomulida; D: Kinorhyncha; E: Priapulida; F. Loricifera (tomadas de Brusca y Brusca, 2003).

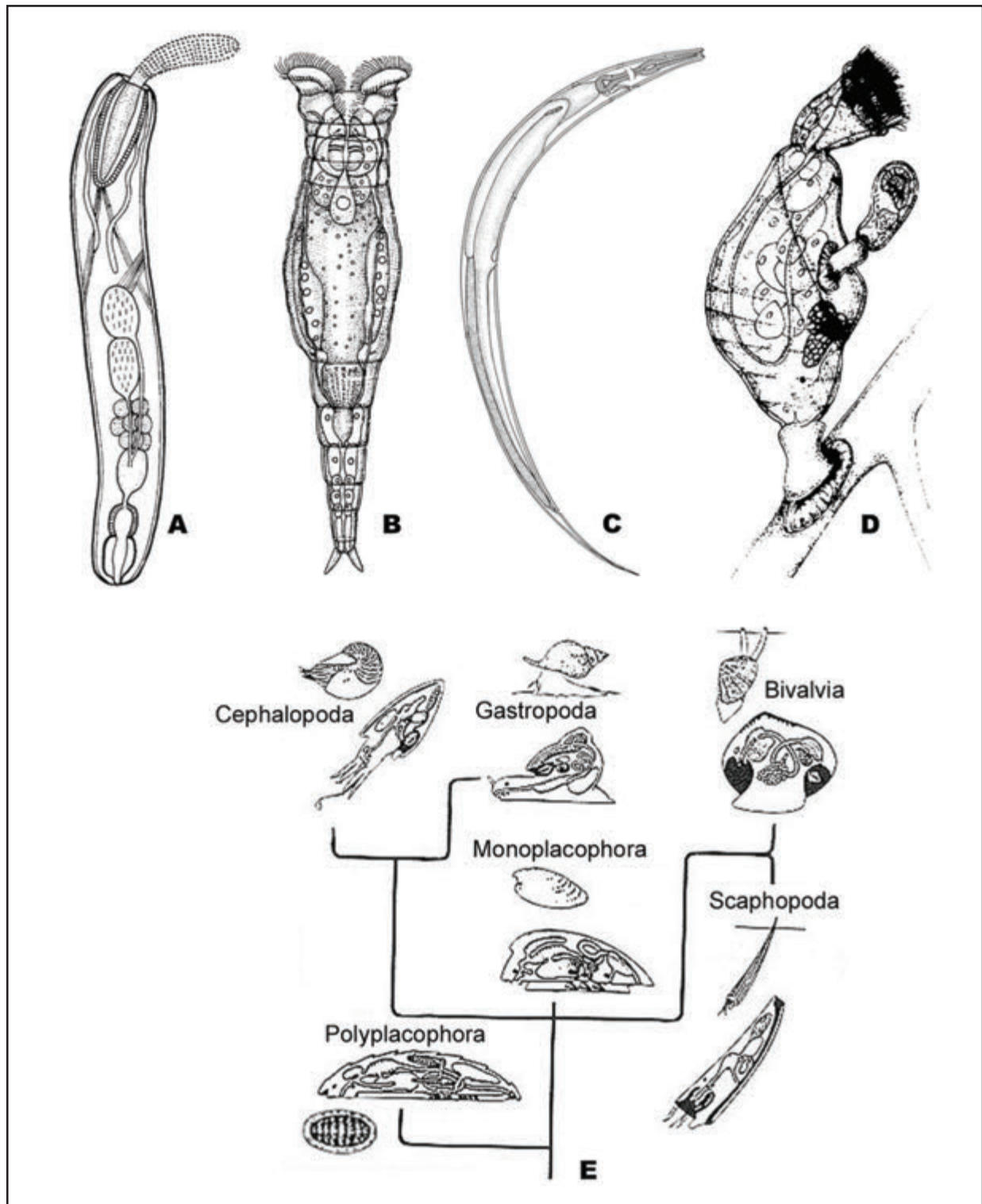


Figura 4. A: Acanthocephala; B: Rotifera; C: Nematoda; D: Cycliophora; E: relaciones filogenéticas entre los miembros del phylum Mollusca (tomadas de Brusca y Brusca, 2003).

Biología de hongos

Nombre de los profesores:	Leticia Romero Bautista Ángel Moreno Fuentes
Semestre en el que se imparte:	Cuarto
Número de horas / semana:	Seis
Número de créditos:	Nueve
Número de horas teóricas:	Tres
Número de horas prácticas:	Tres
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Biología celular, Biología de protoctistas y Genética
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Ecología de comunidades y ecosistemas, Sistemática, Evolución, Biología de la conservación, Biogeografía, Recursos naturales de México
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Ecología de poblaciones
Objetivos del curso:	



1. Reconocer y contrastar los diversos conceptos de hongo a la largo de la historia y según distintas civilizaciones.
2. Comparar a los hongos con otros grupos biológicos según los distintos sistemas de clasificación.
3. Distinguir los principales grupos de hongos con sus características diagnósticas.
4. Organizar e interpretar las articulaciones y tendencias evolutivas de los grupos.
5. Reconocer la diversidad de especies en México y el mundo y contrastarla con la de plantas y animales.
6. Revisar y resaltar los eventos más relevantes en el desarrollo de la micología en México y en el mundo.

Biología de hongos

Leticia Romero Bautista

El curso inicia con el análisis de la evolución del concepto de hongo que de manera general se define como un grupo de organismos heterótrofos, con nutrición por absorción, con estructuras filamentosas conocidas como hifas, y con reproducción sexual y asexual.

Se necesitaron algunos siglos de observación y experimentación, así como la comparación con otros organismos que difieren ampliamente de su morfología, reproducción, datos bioquímicos, caracteres moleculares, entre otros, para concluir que se trata de un extenso grupo predominantemente haploide, que probablemente incluye la más alta proporción de especies aparentemente asexuales, comparada con la de cualquier otro grupo de eucariontes.

La sistemática y la evolución se enfatizan en el curso, al considerar su modo de vida fungal y su modo de vida fungoide. Cabe señalar que los organismos hoy llamados “falsos hongos” estuvieron ubicados durante mucho tiempo en el grupo de los hongos, pero actualmente se toman en cuenta caracteres químicos, bioquímicos, fisiológicos, ultraestructurales y moleculares que reflejan las relaciones filogenéticas de mejor manera.

Se hace mención de algunos eucariontes heterotróficos que habían sido clasificados dentro del reino Fungi (*sensu lato*), tales como los plasmidios, los mohos mucilaginosos y los mohos acuáticos (Myxomycota, Dictyosteliomycota y Oomycota, respectivamente), mismos que actualmente están ubicados en otros reinos. Al mismo tiempo, algunos eucariontes unicelulares previamente clasificados entre los “protistas”, han demostrado pertenecer a Fungi, como *Pneumocystis carinii*, que es un patógeno de humanos inmunodeprimidos; Microsporidia, que son amitocondriados y parásitos intracelulares de animales, así como *Neocallimastix*, que son microorganismos anaeróbicos localizados en el rumen de algunos animales; y que al parecer presentan afinidades mitocondriales con los Chytridiomycetes en el orden Spizellomycetales. El lugar filogenético exacto de varios linajes fungales, tales como Microsporidia y Asellariales, es incierto, aunque son incluidos en la reciente clasificación, también son discutidos en el curso.

Los líquenes también son considerados, ya que los hongos que conforman esta asociación alga-hongo, están constituidos por un grupo de hongos no relacionados pertenecientes a los Ascomycetes y Basidiomycetes.

Actualmente, el término Fungi se refiere a los “hongos verdaderos”, también considerados como un reino eucarionte y los phyla son: Chytridiomycota, Zygomycota, Glomeromycota, Ascomycota y Basidiomycota. Algunos autores consideran además a los hongos anamorfos también denominados *fungi imperfecti*, mitosporicos o Deuteromycota y que al realizarles pruebas de entrecruzamiento y/o moleculares están más fuertemente ligados a los Ascomycota o Basidiomycota.

La clasificación utilizada en el curso reconoce a los organismos denominados como “hongos verdaderos” y considera a los siguientes fila:

Chytridiomycota: se encuentran en ambientes acuáticos y terrestres y se consideran los más primitivos por ser el único grupo dentro del reino Fungi que conserva las esporas móviles (flageladas) en alguna etapa de su ciclo de vida, que además son utilizadas para fines reproductivos; incluyen formas unicelulares o filamentosas (figura 1).

De inicio, los Chytridiomycota fueron controversiales, precisamente por presentar células móviles, pero la composición de su pared celular, síntesis de la lisina y los análisis de la secuencia del rDNA 18S, demostraron su estrecha relación con Ascomycota y Basidiomycota. Chytridiomycota y Zygomycota son difíciles de separar y el flagelo del primero pudo haberse perdido más de una vez durante la evolución, en la que Zygomycota divergió primero.

Los hongos terrestres divergieron de Chytridiomycota, hace aproximadamente 550 millones de años. Después, las plantas invadieron el medio terrestre, hace aproximadamente 440 millones de años y los ascomycetos se separaron de los basidiomycetes.

Zygomycota: son cenocíticos inicialmente, y se caracterizan por la formación de una espora de paredes gruesas, resultado de su reproducción sexual. Comprende un grupo diverso de taxa que incluyen saprobios del suelo (mucorales) y simbiontes de artrópodos (Trichomycetes).

Con la pérdida de las células móviles, métodos alternativos de referirse a las esporas relacionaron la evolución de los hongos; las esporangiosporas y las zigosporas, ambas formadas internamente, fueron retenidos en Zygomycota (figura 2).

Chytridiomycota y Zygomycota forman un grupo parafilético que representa las primeras líneas divergentes de Fungi. Son primeramente filamentosos y pierden su flagelo; esto último también aplica para Basidiomycota y Ascomycota. Para entender el patrón de relación entre Zygomycota y Chytridiomycota, es importante resolver el número de pérdidas del flagelo y su transición hacia la tierra en la evolución de los hongos.

Glomeromycota: forman endomicorizas en la mayoría de las plantas vasculares y presentan una gran producción de esporas asexuales. Se considera un phylum separado, recientemente segregado de los Zygomycota (Schüßler *et al.*, 2001); no presentan reproducción sexual (figura 3).

Ascomycota: amplio grupo que incluye los mohos, así como levaduras; los hongos que componen la mayoría de los líquenes pertenecen a este grupo (figura 4).

Nuevos mecanismos para la formación de conidios y meiosporas, y la descarga de las balistorporas han evolucionado en los Ascomycota y Basidiomycota. La subestructura de la pared de las ascas, especialmente en el ápice, tiene valor sistemático en los altos niveles taxonómicos.

Basidiomycota: amplio y heterogéneo grupo que incluye hongos de repisa, gelatinosos, bolas explotadoras, estrellas de tierra, cornetas apestosas, las royas y los carbones. Presenta especies comestibles, tóxicas y medicinales (figura 5).

Los Ascomycota y Basidiomycota son generalmente resueltos como un grupo monofilético por lo que son grupos hermanos. Ambos se caracterizan por la producción de un estado dicariótico en su ciclo de vida aunque expresando sus grados de diferencias.

Hongos anamorfos (fungi imperfecti, Deuteromycota, hongos mitosporicos): se caracterizan porque su reproducción sexual no ha sido encontrada; sin embargo, se les asocia con Ascomycetes y Basidiomycetes cuando se comparan sus esporas y las secuencias de su ADN (figura 6).

La clasificación que se reconoce actualmente a nivel científico, está basada en la novena edición del Ainsworth y Bisby's Dictionary of the Fungi (Ainsworth *et al.*, 2001) que presenta una estructura redefinida que refleja datos moleculares, una revisión del phylum Ascomycota y una integración total de los géneros anamórficos.

Esta clasificación puede ser consultada en www.indexfungorum.org que es un recurso comunitario coordinado y soportado por las CABI, Bioscience, CBS y Landcare Research. En esta base se puede buscar el género de interés, y encontrar la posición sistemática, las especies aceptadas, la familia en la que han sido ubicados, la revista donde se publicó por primera vez, el género, la especie tipo, los autores y literatura, entre otras (figura 7).

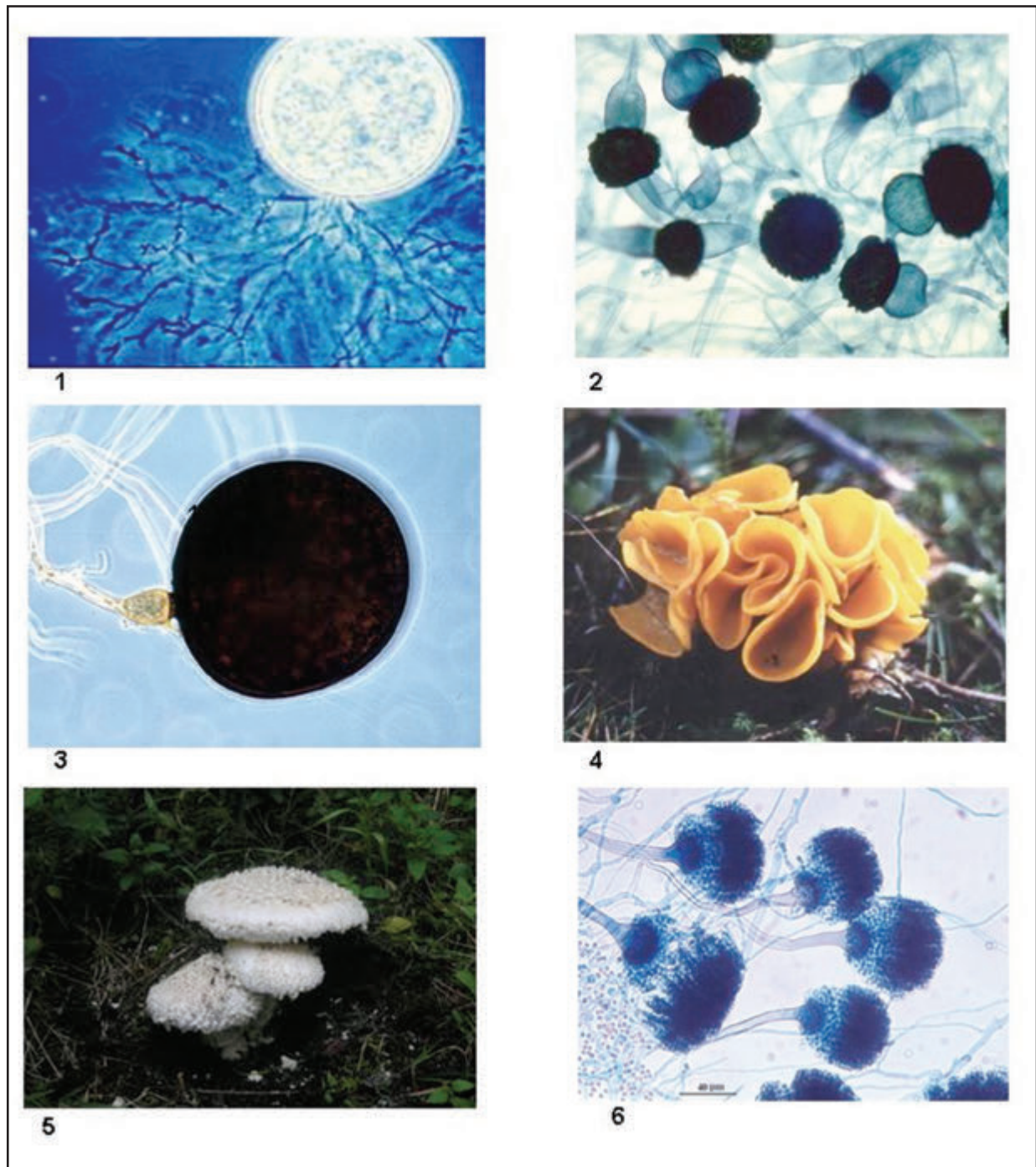
En este curso se abordan los problemas para delimitar a los hongos como reino debido, en parte, a que conceptos como célula, individuo y especie, no han logrado "adaptarse" a las definiciones tradicionales como ha ocurrido en otros grupos de organismos. Por la misma razón, aspectos de su biología poblacional, especiación, filogenia, diversidad, evolución, taxonomía y sistemática, continúan siendo ampliamente examinados y discutidos. Por ello se aporta un acercamiento general sobre el funcionamiento celular, metabolismo, forma de nutrición, crecimiento y diferenciación como organismos modulares, reproducción sexual, asexual y parasexual, además de los sistemas de compatibilidad, hibridización y poliploidía que presentan, enfatizando el papel de las esporas en los diferentes mecanismos reproductivos.

Por otra parte, los hongos han estado ligados al hombre desde tiempos inmemoriales, y la utilización de especies fúngicas también alcanzó cierta especialización. Las diferentes culturas han resaltado sus propiedades alimenticias, medicinales, enteogénicas y ornamentales, entre otras, que han quedado como testimonio en escritos, pectorales, construcciones, megalitos, bajorrelieves, vasijas, calderos, coronas, piedras labradas y frescas, así como los vestigios de los propios organismos.

Se abordan aspectos experimentales a través de prácticas de laboratorio y de campo que refuerzan la temática teórica, así como actividades complementarias, como visitas a empresas e instituciones, entre otras.

Literatura básica

- Ainsworth, G. C., P. M. Kirk, G. R. Bisby, P. F. Cannon, J. C. David, y J. A. Stalpers. 2001. *Ainsworth y Bisby's dictionary of the Fungi*. 9a. ed. CABI Publishing. Cambridge.
- Ainsworth, G. C. 1976. *The history of mycology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Alexopoulos, C. J., C. W. Mims, y M. Blackwell. 1996. *Introductory mycology*. 4a. ed. John Wiley & Sons. New York.
- Barbee, M. L., y J. W. Taylor. 1993. *Dating the evolutionary radiations of the true fungi*. Canadian Journal of Botany 71: 1114-1127.
- Barr, D. J. S. 1992. *Evolution and kingston of organisms from the perspective of a mycologist*. Mycologia 84:1-11.
- Bowman, B. H., J. W. Taylor, A. G. Brownlee, J. Lee, S. D. Lu, y T. J. White. 1992. *Molecular evolution of the fungi: Human pathogens*. Molecular Biology and Evolution 9(2): 285-296.
- Bruns, T. D., R. Vigalys, S. M. Barns, D. González, D. S. Hibbet, D. J. Lane, L. Sikmon, S. Stickel, T. M. Sarro, W. G. Weisburg, y M. L. Sogin 1992. *Evolutionary relationships within the fungi: Analyses of nuclear small subunit RNA sequences*. Molecular Phylogenetics and Evolution 1: 231-241.
- Burnett, J., 2003. *Fungal populations and species*. Oxford University Press. New York.
- Contreras-Ramos, A., C. Cuevas-Cardona, I. Goyenechea, y U. Iturbe (eds.). 2007. *La sistemática, base del conocimiento de la biodiversidad*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca.
- Hawksworth, D. L., 1997. *The fascination of fungi: Exploring fungal diversity*. Mycologist 11: 18-22.
- Lutzoni, F., F. Kauff, C. J. Cox, D. McLaughlin, G. Celio, B. Dentinger, M. Padamsee, D. Hibbet, T. Y. James, E. Baloch, M. Grube, V. Reeb, V. Hofstetter, C. Schoch, A. E. Arnold, J. Miadllikowska, J. Spatafora, D. Johnson, S. Hambleton, M. Crockett, R. Schoemaker, G.-H. Sung, R. Lücking, T. Lumbsch, K. O'Donell, M. Binder, P. Diederich, D. Ertz, C. Gueidan, K. Hansen, R. C. Harris, K. Hosaka, Y.-W. Lim, B. Matheny, H. Nishida, D. Pfister, J. Rogers, A. Rossman, I. Schmitt, H. Sipman, J. Stone, J. Sugiyama, R. Yahr, y R. Vigalys. 2004. *Assembling the fungal tree of life: progress, classification, & evolution of subcellular traits*. American Journal of Botany 91(10): 1446-1480.
- Margulis, L. 1968. *Evolutionary criteria in tallophytes*. A radical alternative. Science 161: 1020-1022.
- Margulis, L., y K. V. Schwartz 1998. *Five kingdoms. An illustrated guide to life on Earth*. 3a. ed. W.H. Freeman. New York.
- May, R. M. 1988. *How many species are there on Earth?* Science 241: 1441-1449.
- Oliver, P. L., y M. Schweizer (eds.). 1999. *Molecular fungal biology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Rayner, A. D. M., C. M. Brasier, y D. More (eds.). 1987. *Evolutionary biology of the fungi*. Cambridge University Press. New York.
- Shußler, A., D. Schwarzott, y C. Walker. 2001. *A new fungal phylum, the Glomeromycota: Phylogeny and evolution*. Mycological Research 105: 1413-1421.
- Wainright, P. O., G. Hinkle, M. L. Sogin, y S. K. Stickel. 1993. *Monophyletic origins of the Metazoa: an evolutionary link with Fungi*. Science 260: 340-342.
- Whittaker, R. H., 1969. *New concepts of kindoms of organisms*. Science 163: 150-160.
- www.indexfungorum.org



Figuras 1-6. 1: Chytridiomycota (*Rhizophydium* sp.) (tomada de www.infusion.allconet.org); 2: Zygomycota (*Rizopus* sp.); 3: Glomeromycota (*Glomerus* sp.) (tomada de www.botany.hawaii.edu); 4: Ascomycota (*Peziza aurantiaca* de Zacualtipán, Hidalgo); 5: Basidiomycota (*Amanita chlorinosma* del Parque Nacional El Chico); 6: Fungi imperfecti (*Aspergillus* sp.) (fotografías 2, 4, 5 y 6: L. Romero Bautista).

Phyla	Clases
Ascomycota	<ul style="list-style-type: none"> Ascomycetes Neoelectomycetes Pneumocystidiomycetes Saccharomycetes Schyzosacaromycetes Sordariomycetes Taphrynomyces
Basidiomycota	<ul style="list-style-type: none"> Basidiomycetes Urediniomycetes Ustilaginomycetes
Chytridiomycota	Chytridiomycetes
Glomeromycota	Glomeromycetes
Zygomycota	<ul style="list-style-type: none"> Trichomycetes Zigomycetes

Figura 7: clasificación del reino Fungi (*sensu* Ainsworth *et al.*, 2001).

Biología de plantas II

(pteridofitas y gimnospermas)

Nombre de los profesores:	María Teresa Pulido Silva Arturo Sánchez González Claudia T. Hornung Leoni
Semestre en el que se imparte:	Quinto
Número de horas / semana:	Seis
Número de créditos:	Nueve
Número de horas teóricas:	Tres
Número de horas prácticas:	Tres
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Biología de plantas I
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Biología de plantas III y Recursos naturales
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Sistemática
Objetivos del curso:	

1. Familiarizar al alumno con la terminología botánica necesaria para describir y conocer la variación existente entre las pteridofitas y gimnospermas, con énfasis en las especies de México.
2. Fomentar en el alumno la capacidad de observación de la morfología de pteridofitas y gimnospermas.
3. Incentivar en el alumno el raciocinio y entendimiento sobre las relaciones evolutivas de pteridofitas y gimnospermas con respecto a las briofitas, angiospermas y plantas fósiles.
4. Permitir al alumno un acercamiento práctico que le facilite y fortalezca su raciocinio teórico sobre la morfología y reproducción de pteridofitas y gimnospermas.
5. Fortalecer las capacidades del alumno para el trabajo botánico en campo y laboratorio.



Biología de plantas II

(pteridofitas y gimnospermas)

María Teresa Pulido Silva y Arturo Sánchez González

Las plantas son organismos que poseen compuestos capaces de fijar energía solar y de almacenarla en forma de energía química (en carbohidratos tales como el almidón). En el planeta Tierra, las plantas comprenden al menos unas 250 mil especies, las cuales representan cerca de una sexta parte del total de organismos vivos que han recibido un nombre científico. Por ser la base de las redes tróficas y por su capacidad de producir oxígeno, las plantas son vitales e imprescindibles para el funcionamiento de los ecosistemas. De acuerdo con la presencia o no de tejidos vasculares, que permiten el transporte de agua y nutrientes, se ha dividido a las plantas en no vasculares (briofitas) y vasculares (pteridofitas, gimnospermas y angiospermas). El curso de Biología de plantas II se ocupa del estudio de las pteridofitas y gimnospermas.

Además de tener tejidos vasculares, las pteridofitas y gimnospermas tienen varias características en común, tales como haberse originado durante el Devónico y el Carbonífero (hace unos 350 millones a 400 millones de años) y presentar un ciclo de vida que alterna entre una generación llamada esporofítica (generación diploide que produce esporas) y otra denominada gametofítica (generación haploide que produce gametos). Por ejemplo, cuando vemos un helecho adulto estamos viendo la generación esporofítica. Las esporas que éste produce germinan y producen un gametofito, el cual se desarrolla en el suelo; después de cierto tiempo de desarrollo, este gametofito producirá los gametos y por medio de la fertilización formará un cigoto, el cual, posteriormente, dará origen a un nuevo esporofito, completando así el ciclo (figura 1).

Las pteridofitas, o plantas vasculares sin semilla, incluyen varias divisiones, algunas constituidas por fósiles (Rhyniophyta, Zosterophyllophyta y Trimerophytophyta), mientras que otras están conformadas por organismos vivientes como los helechos y plantas afines. Éstos se dividen actualmente en dos grandes grupos: Lycopodiophyta y Monilophyta (Judd *et al.*, 2002; Pryer *et al.*, 2004; Smith *et al.*, 2006).

La división Lycopodiophyta está representada por menos del uno por ciento de las plantas vasculares

existentes, todas poseen hojas micrófilas (licófilas). Esta división comprende tres clases, cada una con sólo un orden, familia y género, y con un total de mil 200 especies (Pryer *et al.*, 2004; Smith *et al.*, 2006):

Clase Lycopodiopsida

Orden Lycopodiales; familia Lycopodiaceae, género *Lycopodium*, se caracterizan por ser plantas homosporicas.

Clase Isoetopsida

Orden Isoetales, familia Isoetalaceae, género *Isöetes*.

Clase Selaginellopsida

Orden Selaginellales, familia Selaginellaceae, género *Selaginella*, todas las especies pertenecientes a estas dos clases son heterosporicas.

La división Monilophyta comparte una vascularización distintiva, el protoxilema está confinado a lóbulos incluidos en el xilema, por ello la denominación latina moliniformis, que significa “parecido a un collar” (Pryer *et al.*, 2004). Comprenden alrededor de 9 mil especies, entre las que destacan todos los helechos eusporangiados y leptosporangiados. Existen cuatro clases principales (Smith *et al.*, 2006):

Clase Equisetopsida: son conocidos como colas de caballo, tienen una amplia distribución en el planeta, excepto en Australia y Nueva Zelanda (Rost *et al.*, 2006). Con un solo género *Equisetum* y un total de 15 especies (figuras 2-3).

Clase Marattiopsida: grupo monofilético encontrado principalmente en zonas húmedas tropicales. Tienden a poseer frondas pinnadas muy grandes con esporangios de pared gruesa localizados en la cara abaxial, en grupos bien definidos (a veces fusionados en sinangios). Hay alrededor de 150 especies; en general son terrestres y algunas son epipétricas.

Clase Polypodiopsida: helechos leptosporangios con mayor diversidad, se caracterizan por poseer un esporangio que se desarrolla a partir de una célula, y en el corte del esporangio maduro se observa que su pared es de una célula de espesor, los principales tipos de crecimiento son terrestres, epífitos o acuáticos. Existen alrededor de 8 mil 863 especies.

Clase Psilotopsida: reúne a las familias Ophioglossaceae y Psilotaceae. Algunos caracteres morfológicos que permiten apreciar su monofilia, son los gametofitos axiales, subterráneos y sus raíces sin pelos radicales. Cuenta con alrededor de 92 especies (figura 4).

Por otra parte, las gimnospermas o plantas vasculares con semilla desnuda, están conformadas por divisiones constituidas sólo por organismos fósiles tales, como Progymnospermophyta, Pteridospermophyta y Cycadeoidophyta, y por divisiones con organismos vivos como Coniferophyta, Cycadophyta (figura 5), Ginkophyta y Gnetophyta. Las gimnospermas incluyen plantas como los pinos, los ahuehuetes, las cycadas e individuos que representan eslabones importantes a nivel evolutivo, como el género *Ephedra*, presente en las zonas secas del norte de México.

Las pteridofitas y las gimnospermas tienen una representación numérica baja respecto al total de plantas conocidas por la ciencia. Así, en el mundo, las pteridofitas son cerca de 10 mil especies, mientras que las gimnospermas son un poco más de 800. Por esta razón, erróneamente podríamos pensar que su importancia es muy baja; sin embargo, ambos grupos son fundamentales para el ser humano y para el funcionamiento de los sistemas vivos en la Tierra.

La importancia de las pteridofitas radica principalmente en que el petróleo, tan importante para el desarrollo económico del mundo moderno, es producto de la descomposición de miles de helechos, calamitas, formas arbóreas de licofitas existentes durante el Carbonífero y descompuestas bajo condiciones de alta presión. Pero las pteridofitas no sólo han sido útiles para obtener petróleo; por ejemplo, las propiedades de alta capacidad inflamable de las esporas de algunas especies del género *Lycopodium*, fueron usadas en los albores de la fotografía para producir el flash y para producir la luz empleada en las primeras máquinas fotocopadoras. Además, varias especies de colas de caballo (género *Equisetum*) y doradillas (género *Selaginella*) tienen un uso medicinal

reconocido para curar enfermedades del riñón. También sobresale la importancia de helechos del género *Azolla* para aumentar la fertilidad de los campos de arroz, al asociarse con bacterias fijadoras de nitrógeno.

Las gimnospermas también son de gran importancia, sobresale su uso como especies maderables. Hay que recordar que varios miles de hectáreas en el mundo están cubiertas por ecosistemas dominados por gimnospermas; en el caso de México podemos mencionar los bosques de pino y los bosques de oyamel. Algunas gimnospermas tienen importantes usos no maderables; por ejemplo, los pinos producen semillas comestibles llamadas piñones y también producen resinas, comúnmente denominadas trementina. Desde tiempos prehispánicos esta resina fue usada como adhesivo y como combustible para antorchas. Hoy en día el uso principal de esa resina, es la producción de brea y aguarrás que es empleado por la industria químico-farmacéutica, cosmética y de artículos de limpieza.

En este curso se estudiará la morfología y el ciclo de vida de las pteridofitas y gimnospermas en un contexto evolutivo. Se hará énfasis en tres de los eventos evolutivos que han contribuido a la diversificación de las plantas; estos eventos son el paso del medio acuático al medio terrestre, la aparición de los tejidos vasculares y la evolución de la semilla.

El curso tiene como base una aproximación teórico-práctica; en las sesiones de laboratorio se emplean las colecciones botánicas de docencia disponibles en el herbario del Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Como complemento, en el curso se considera una práctica de campo que comprende recorridos en diversas partes del estado de Hidalgo, así como visitas a jardines botánicos.

Literatura básica

- Arreguín-Sánchez, M. L., R. Fernández-Nava, R. Palacios-Chávez, y D. L. Quiroz-García. 2001. *Pteridoflora ilustrada del estado de Querétaro*, México. Instituto Politécnico Nacional. México, D. F.
- Arreguín-Sánchez, M. L., R. Fernández-Nava, y D. L. Quiroz-García. 2004. *Pteridoflora del Valle de México*. Instituto Politécnico Nacional. México, D. F.

- Bell, P. R., y A. R. Hemsley. 1995. *Green plants: their origin and evolution*. Cambridge University Press. New Jersey.
- Gifford, M. E., y A. S. Foster. 1989. *Morphology and evolution of vascular plants*. W. H. Freeman and Company. New York.
- Judd, W. S., C. S. Campbell, E. A. Kellogg, y P. F. Stevens. 1999. *Plant systematics, a phylogenetic approach*. Sinauer Associates. Massachusetts.
- Mickel, J. T., y A. R. Smith. 2004. *The pteridophytes of Mexico*. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 88: 1-1054.
- Moreno, N. P. 1984. *Glosario botánico ilustrado*. Compañía Editorial Continental. México.
- Raven, P. H., R. F. Evert, y S. E. Eichhorn. 2005. *Biology of plants*. 7a. ed. W. H. Freeman and Company. USA.
- Ramírez-Cruz, S., y A. Sánchez-González. 2007. *Las pteridofitas del estado de Hidalgo. Herreriana* 3: 1-2.
- Rzedowski, G. C., y J. Rzedowski. 2005. *Flora fanerogámica del Valle de México*. 2a. ed. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro.
- Willis, K. J., y J. C. McElwain. 2002. *The evolution of plants*. Oxford University Press. New York.
- Yañez Espinosa, L. 2006. *Las cycadas, biología y conservación en México*. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco.

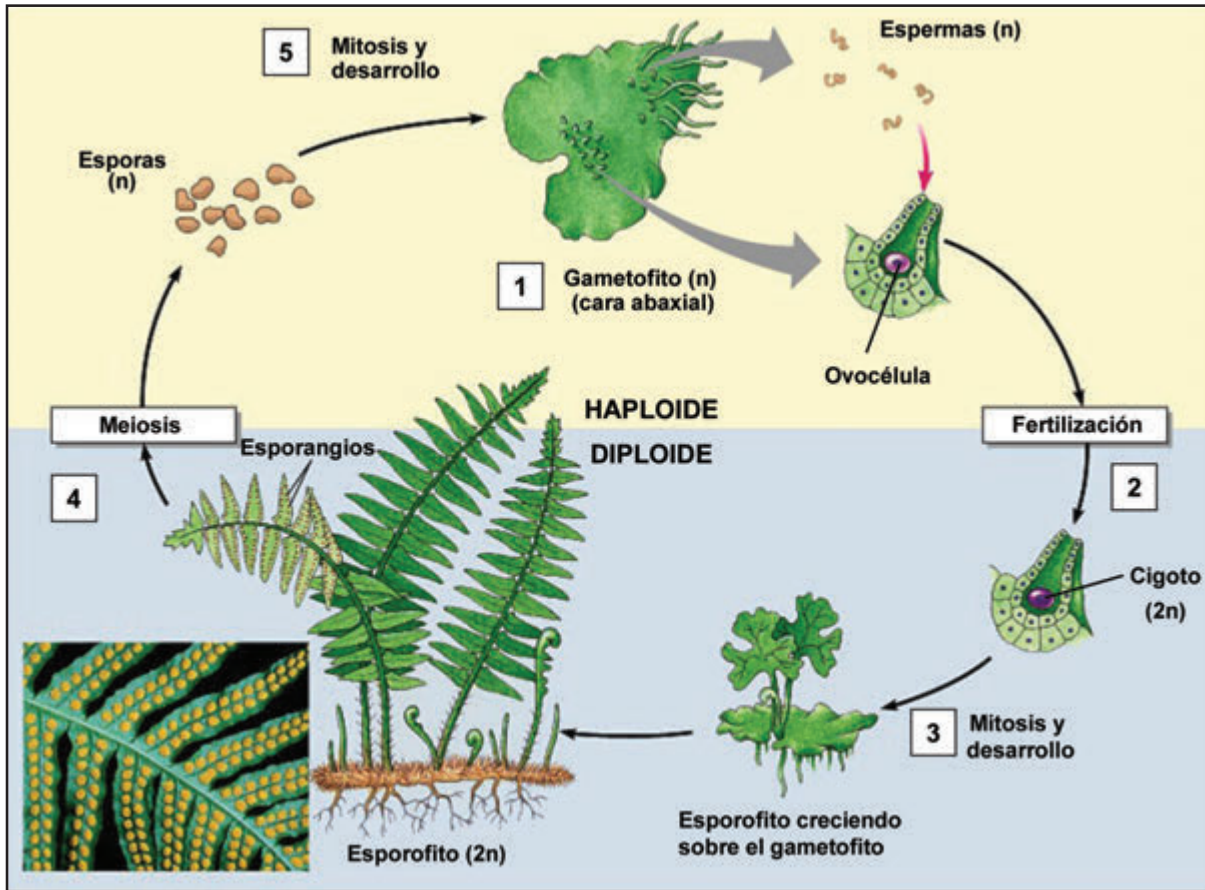
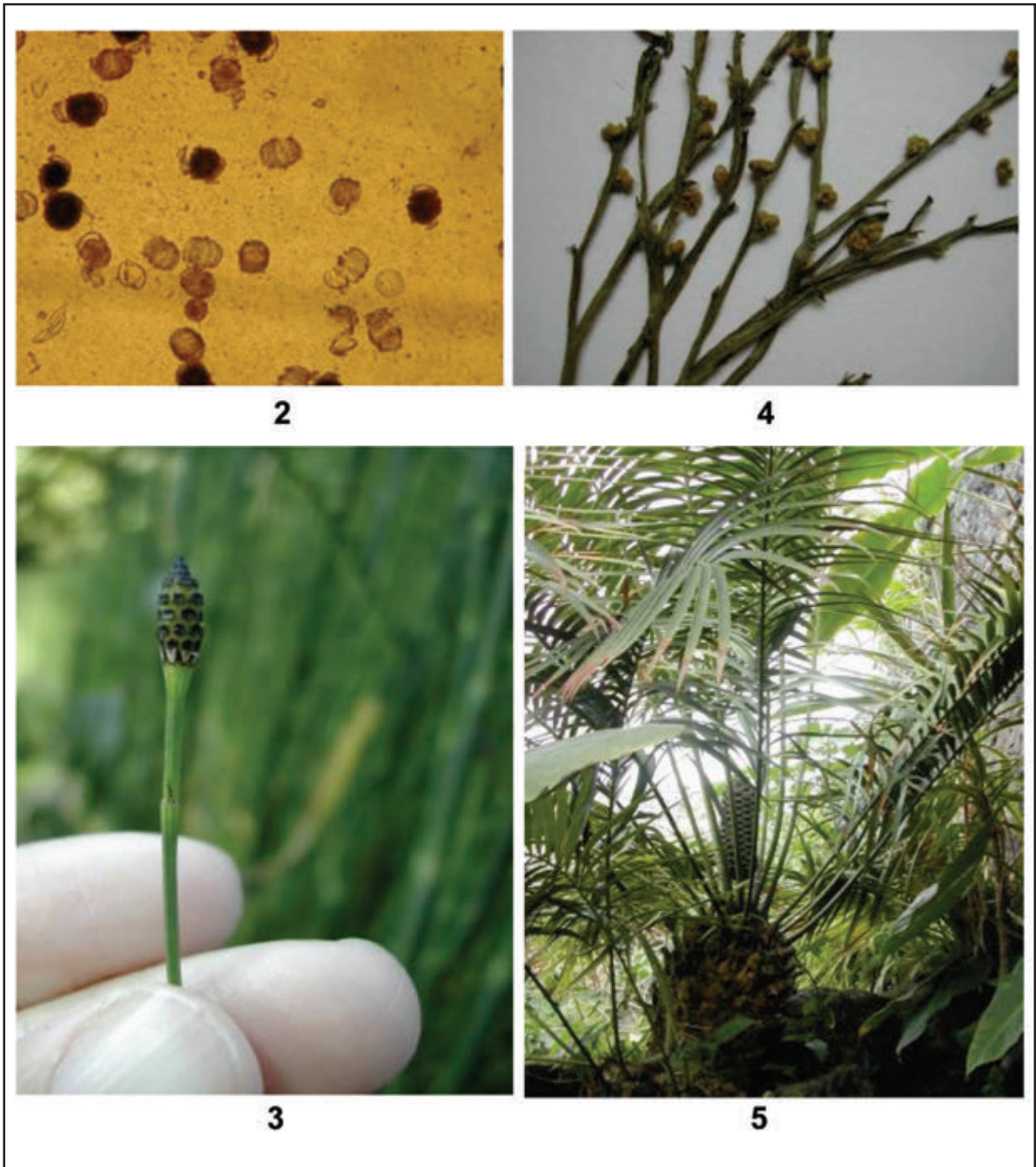


Figura 1: ciclo de vida de un helecho homosporico (Copyright © 2003 Pearson Education, Inc., Publishing as Benjamin Cummings).



Figuras 2-5. 2: esporas de *Equisetum* donde se observan los eláteres; 3: estróbilo de *Equisetum* (Equisetopsida); 4: detalle de un ejemplar de herbario de *Psilotum* (Psilotopsida) mostrando el detalle de sus estructuras reproductivas o sinangios; 5: planta femenina de *Ceratozamia mexicana* (Cycadophyta) mostrando sus hojas compuestas, pinnadas y su estructura reproductiva o megaestróbilo (© fotografías tomadas por M. T. Pulido Silva).

Biología de animales II (articulados)

Nombre de los profesores:	Juan Márquez Luna Julieta Asiain Alvarez Julián Bueno Villegas
Semestre en el que se imparte:	Quinto
Número de horas / semana:	Siete
Número de créditos:	Once
Número de horas teóricas:	Cuatro
Número de horas prácticas:	Tres
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Biología de animales I y Ecología
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Biología de animales III, Biogeografía, Recursos naturales, Evolución y Paleobiología
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Sistemática
Objetivos del curso:	<ol style="list-style-type: none">1. Que los alumnos conozcan las características diagnósticas de los anélidos y los artrópodos a distintos niveles taxonómicos: phylum, subphylum, superclase, clase y orden.2. Que los alumnos adquieran información básica sobre las relaciones filogenéticas de los anélidos y los artrópodos con otros grupos de invertebrados, y entre los taxones que integran a cada phylum.3. Que los alumnos adquieran conocimiento sobre la biodiversidad que representan los grupos estudiados y los aspectos básicos de importancia ecológica, económica, médica, médico-veterinaria y cultural que éstos poseen.4. Que los alumnos conozcan los principales métodos de estudio de anélidos y artrópodos, así como el grado de conocimiento que existe sobre ellos en México.



Biología de animales II (articulados)

Juan Márquez Luna y Julieta Asiain Alvarez

Este curso incluye dos phyla de animales invertebrados segmentados, Annelida y Arthropoda; además de algunos organismos de posición taxonómica incierta conocidos como paratrópodos. Los anélidos están integrados por tres clases: Oligochaeta, que incluye a las lombrices de tierra; Hirudine, que integra a las sanguijuelas, y Polychaeta que abarca a otros gusanos segmentados de ambientes marinos.

Tradicionalmente se han considerado como el grupo hermano de los artrópodos, aunque actualmente existe otra hipótesis alternativa que separa estos dos phyla. La diversidad de los anélidos es relativamente importante, principalmente en el medio acuático, y su importancia biológica radica en que posee especies depredadoras, parásitas y recicladoras de suelo.

En la parte inicial del curso se estudian de manera teórica y práctica las tres clases de anélidos en cuanto a su caracterización taxonómica, sus hábitos de vida, hábitos alimenticios, relaciones filogenéticas e importancia ecológica.

Antes de abordar el estudio de los artrópodos, se analizan los paratrópodos (figura 1) para poder identificarlos, para reconocer los caracteres compartidos tanto con anélidos como con artrópodos, para conocer su biología, importancia y sus relaciones filogenéticas.

Los artrópodos, que se estudian de manera teórica y práctica en el curso, conforman el phylum más numeroso en especies de todos los seres vivos, de tal forma que casi siete de cada diez organismos del planeta, son artrópodos (Wilson, 1992). Este phylum se integra por dos subphyla, Proarthropoda y Euarthropoda. Proarthropoda está conformado por dos clases, los trilobites (figura 2) y los trilobitoideos, todos fósiles y considerados los artrópodos más ancestrales. Éstos tuvieron su esplendor durante la era paleozoica (Vázquez y Villalobos, 1987).

El subphylum Euarthropoda, o artrópodos verdaderos, posee a su vez dos superclases; Quelicerata (o quelicerados), que se caracteriza por tener quelíceros (apéndices con forma de pinza o colmillo) como los principales apéndices que se utilizan para la alimentación, además de que carecen de antenas;

y la superclase Mandibulata, que se distingue por presentar mandíbulas como los principales apéndices tróficos, además de tener antenas.

La superclase Quelicerata está integrada por tres clases, Merostomata (figura 3), Pycnogonida y Arachnida (figuras 4-5), aunque en esta última clase aún permanece el debate de considerar a los ácaros como un orden integrante de Arachnida o como una clase independiente de ésta. Algunos merostomados (subclase Xyphosura; figura 3) son organismos pancrónicos, es decir, que existen desde hace muchos millones de años (desde la era paleozoica) y permanecen hasta nuestros días, sin grandes cambios morfológicos. También hay merostomados fósiles (subclase Eurypterida), que llegaron a medir hasta 2 m de largo y algunos fueron similares a escorpiones gigantes, pero con branquias, ya que habitaron en el mar.

La clase Pycnogonida también es llamada Pantopoda (“todo patas”). Por su aspecto de “araña patona” y sus hábitos marinos, se les conoce comúnmente como “arañas de mar”. Son organismos poco comunes en el medio marino y se caracterizan por tener la región posterior del cuerpo (opistosoma) reducido, por tener de 4 a 6 pares de patas y por llevar parte de los órganos internos dentro de las patas largas.

La clase Arachnida (figuras 4-6) incluye al menos diez órdenes de estos organismos; los principales de ellos son las arañas, los escorpiones (figura 4), las arañas patonas, las arañas de sol (figura 5), los vinagrillos (figura 6), etcétera. Esta clase se caracteriza por la presencia de dos regiones en el cuerpo (prosoma y opistosoma), y por tener quelíceros, pedipalpos y cuatro pares de patas en la región anterior. Sus hábitos alimenticios son predominantemente depredadores y debido a la presencia de glándulas de veneno en las arañas y los escorpiones, algunas especies tienen importancia médica, ya que su picadura puede causar la muerte de infantes o personas sensibles a la toxina. Tal es el caso de las arañas “viudas negras” o “capulinas” y los escorpiones del género *Centruroides*.

Los ácaros (figura 7) son considerados como una clase independiente de los arácnidos por los acarólogos (estudiosos de este grupo), quienes

basan su decisión en que estos organismos ya no poseen dos regiones en el cuerpo, sino una sola (ideosoma), y porque sufren una metamorfosis compleja, similar a algunos insectos; mientras que los arácnidos, además de poseer dos regiones en el cuerpo, no sufren metamorfosis a lo largo de su vida. El resto de los aracnólogos (estudiosos de los arácnidos) consideran que la fusión de dos regiones en el cuerpo para formar una sola, es un proceso evolutivo que se presenta en distintos grados dentro de los arácnidos; así que no es un argumento suficiente para considerar a los ácaros como clase independiente de arácnidos; mientras que de la metamorfosis no se explica esta diferencia entre ambos grupos. Sea como clase o como orden, los ácaros poseen una gran importancia ecológica, económica, médica y médica veterinaria, ya que establecen interacciones mutualistas, comensalistas, parasitarias o de otro tipo con un gran número de distintos organismos, participan en procesos de degradación de suelo, troncos, hongos, etcétera, son plagas de algunos cultivos (como la “araña roja” que es plaga de plantas de ornato), otros son depredadores de organismos plaga. Un número importante de ácaros son ectoparásitos de vertebrados, incluyendo el ganado (garrapatas; figura 7b, c) y al humano, al que pueden transmitir agentes infecciosos o causarle alergias, etcétera.

La superclase Mandibulata está conformada por las siguientes clases: Crustacea (artemias, pulgas de agua, balanos, copépodos, camarones, jaibas, cangrejos ermitaños, etcétera; figuras 8-14), Diplopoda (milpies; figura 15), Chilopoda (ciempiés; figura 16), Pauropoda, Symphyla y Hexapoda (figuras 17-22).

Los crustáceos son una clase de artrópodos altamente diversa en el medio acuático, principalmente marino, y de morfología muy variable, lo que hace difícil su estudio. Incluso, algunos autores consideran que este grupo debería de conformar al menos un subphylum de artrópodos y no una clase. También existen opiniones a favor y en contra sobre la monofilia de este grupo. Los únicos aspectos que son comunes a todos los crustáceos, son los dos pares de antenas y de maxilas, y sus apéndices birrámbicos. Su alta diversidad y abundancia en el medio acuático contribuye a que los crustáceos posean una gran importancia ecológica; por ejemplo, al formar parte importante del zooplancton y servir de alimento a muchos otros organismos, tal es el caso del “krill” (figura 13), que es uno de los principales alimentos de las

ballenas. Los crustáceos de vida sésil, conocidos como balanos y lepas (figura 10) causan daño a la madera de embarcaciones pequeñas y a algunos mamíferos marinos a los cuales se fijan. Finalmente, constituyen fuentes de alimento importantes para el ser humano con una alta proporción de proteínas, y por lo tanto poseen un alto valor comercial, por ejemplo los camarones (figura 14), langostinos y langostas.

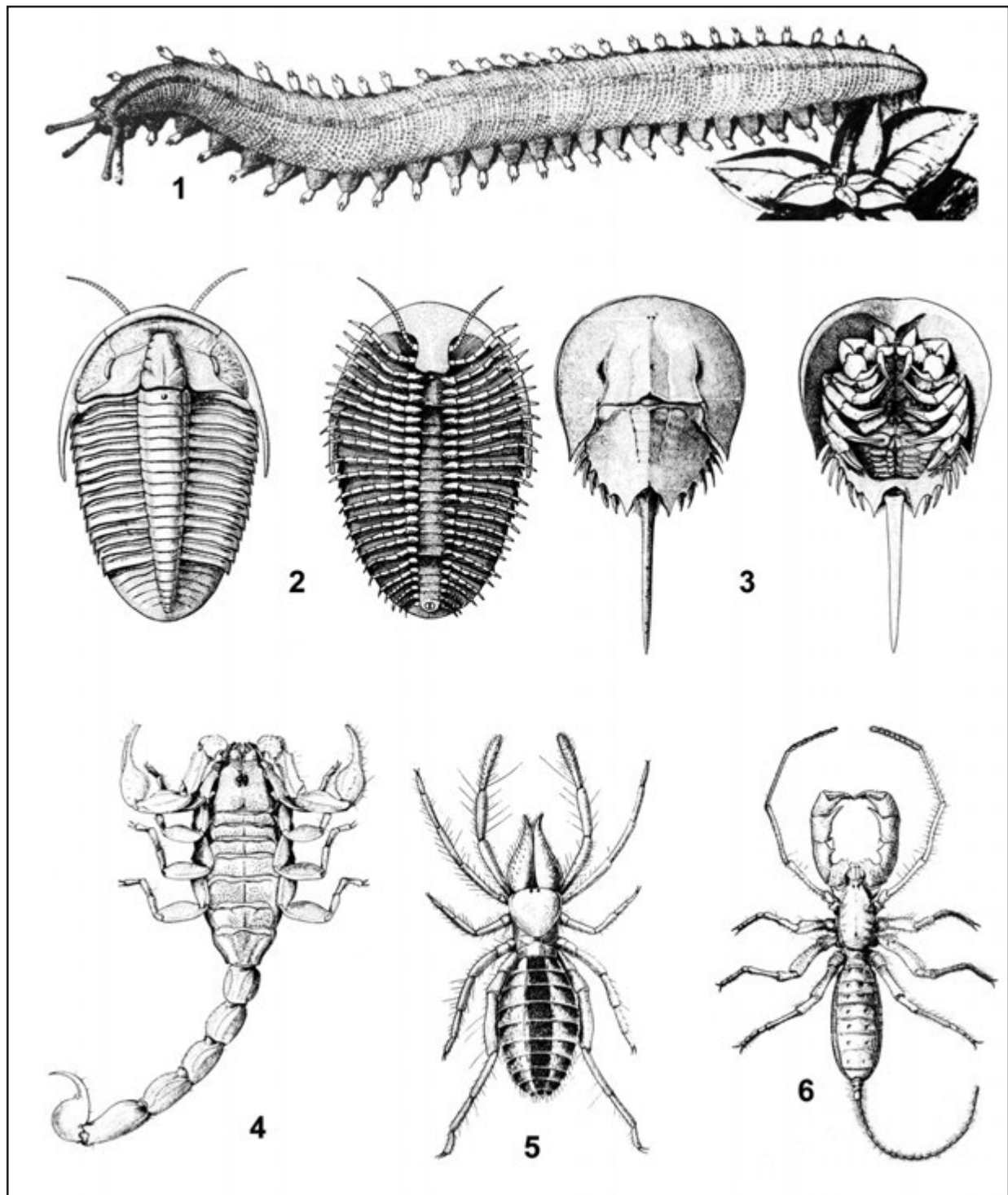
Existen cuatro clases de “miriápodos”, dos de ellas son más comunes o familiares para el hombre, los quilópodos o ciempiés y los diplópodos o mil pies (figuras 15-16). Este conjunto de organismos se distinguen por tener una cabeza pequeña y un tronco con un número grande de patas. Aunque los miriápodos no poseen una gran diversidad, si se compara con ácaros o insectos. Son muy importantes en los procesos ecológicos de los bosques, ya que los diplópodos (figura 15) se alimentan de materia orgánica vegetal en descomposición (hojarasca o troncos), y los quilópodos (figura 16) son depredadores.

Finalmente, se estudian los insectos o clase Hexapoda (figuras 17-22), la cual representa el grupo biológico más diverso de todos los seres vivos. Debido a la diversidad en cuanto al número de especies, a sus hábitos alimenticios, hábitos de vida, variación morfológica, etcétera, no es posible que durante este curso se estudie a nivel de orden a los insectos, sino que se analizan las características a nivel de clase y de grandes grupos (por ejemplo subclases). Además, se abordan los aspectos de importancia ecológica, económica, médica, médico-veterinaria, cultural, etcétera, que este grupo posee de manera muy extensa. Por ejemplo, muchos insectos constituyen plagas que causan pérdidas económicas, pero también, muchos de ellos controlan poblaciones plaga, al alimentarse de ellas; otros más reciclan distintos tipos de materia orgánica en descomposición, algunos son transmisores de enfermedades al humano y otros tantos se utilizan como modelos de estudio en la genética y la biotecnología. Su papel como polinizadores es sumamente importante para contribuir al intercambio genético y variación entre las plantas con flores.

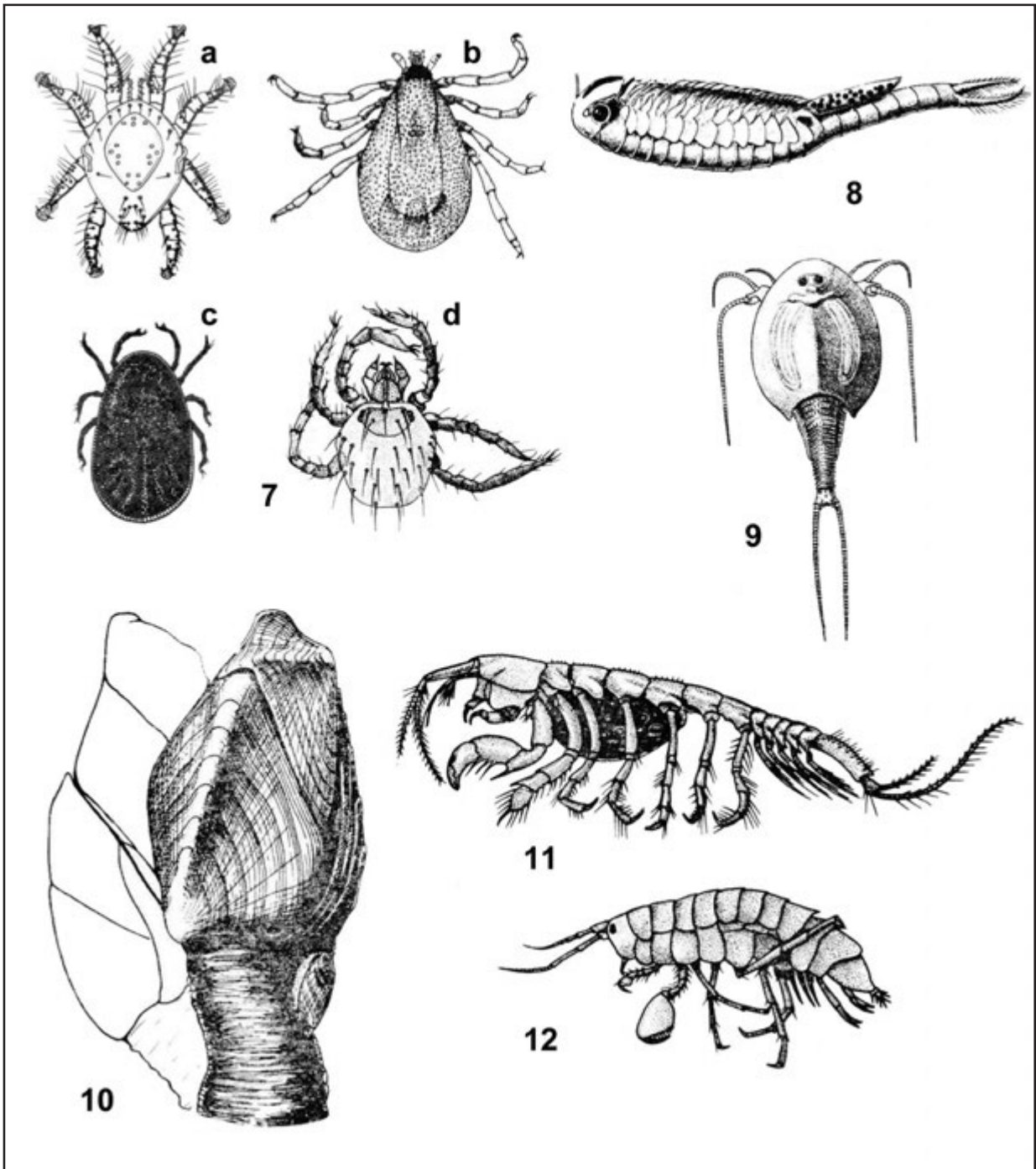
Se considera una salida al campo, donde se pongan en práctica las técnicas de colecta y toma de datos de campo, que se explican para cada grupo taxonómico en clase, y al regreso de ésta, se aplicarán las técnicas de preservación también explicadas previamente.

Literatura básica

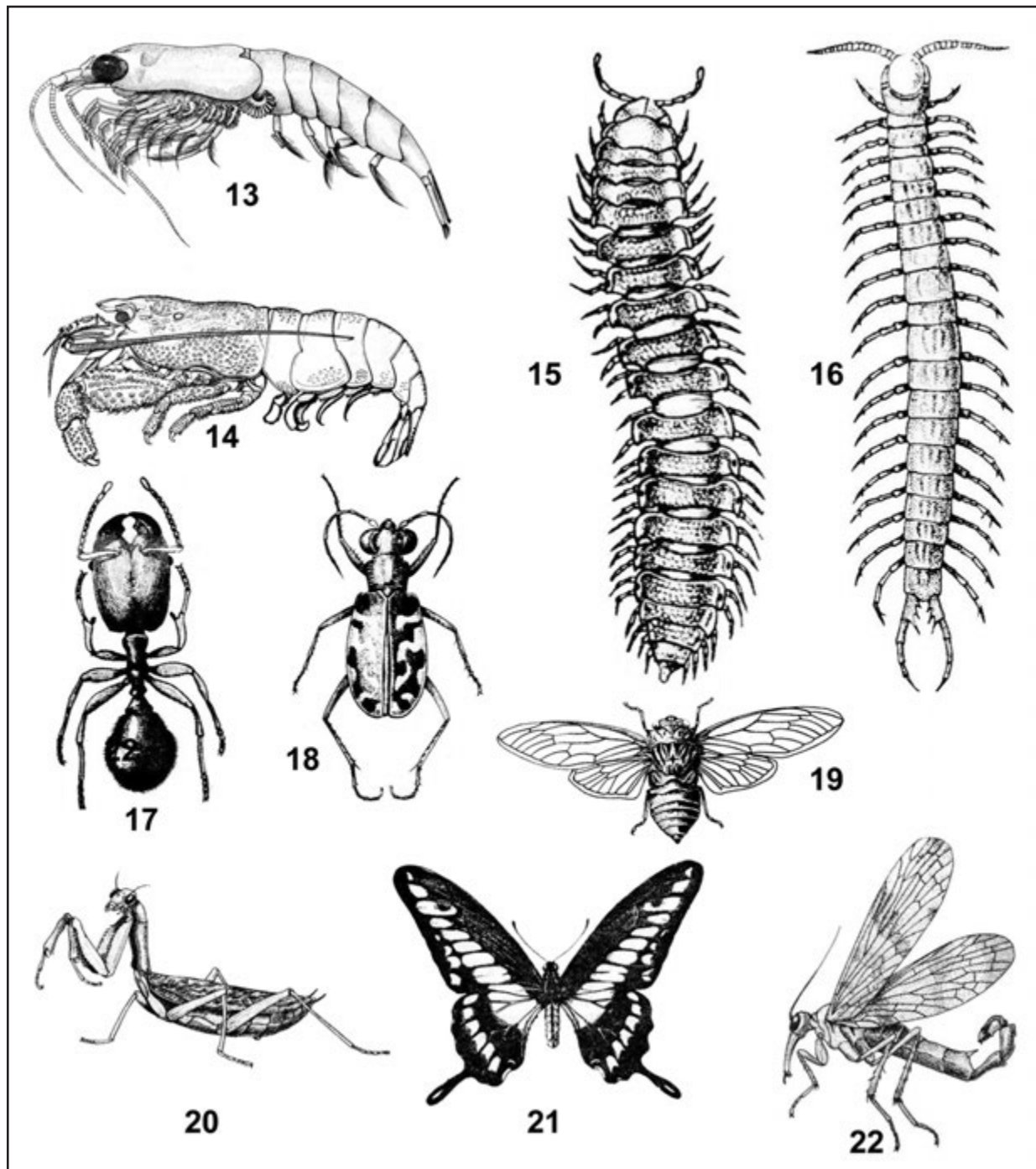
- Barnes, R. D. 1986. *Zoología de los invertebrados*. 4a. ed. Nueva Editorial Interamericana. México, D. F.
- Borror, D., J. De Long, y C. A. Triplehorn. 1981. *An introduction to the study of insects*. 5a. ed. Saunders College Publishing. Chicago.
- Brusca, R. C., y G. J. Brusca. 1990. *Invertebrates*. Sinauer Associates, Inc. Publ. Massachusetts.
- Imes, R. 1992. *The practical entomologist*. Simons & Building. New York.
- Gullan, P. J., y P. S. Cranston. 2000. *The insects: an outline of entomology*. Blackwell Science. USA.
- Llorente Bousquets, J., A. N. García Aldrete, y E. González Soriano (eds.). 1996. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Volumen I*. CONABIO, UNAM. México, D. F.
- Llorente Bousquets, J., E. González Soriano, y N. Papavero (eds.). 2000. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Volumen II*. CONABIO, UNAM. México, D. F.
- Llorente Bousquets, J., y J. J. Morrone (eds.). 2002. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Volumen III*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Llorente Bousquets, J., J. J. Morrone, O. Yáñez Ordóñez, e I. Vargas Fernández (eds.). 2004. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Volumen IV*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Márquez Luna, J. 2005. *Técnicas de colecta y preservación de insectos*. Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa 37: 385-408.
- Triplehorn, C. A., y N. F. Johnson. 2005. *Borror and DeLong's introduction to the study of insects*. Thomson Brooks/Cole. Belmont.
- Vázquez García, L., y A. Villalobos. 1987. *Zoología del phylum Arthropoda*. 6a. ed. Nueva Editorial Interamericana. México, D. F.
- Wilson, E. O. 1992. *The diversity of life*. W. W. Norton & Company. New York.



Figuras 1-6. 1: esquema de un onicóforo (Pararthropoda); 2: vista dorsal (izquierda) y ventral (derecha) de un trilobite; 3: vista dorsal (izquierda) y ventral (derecha) de un merostomado; 4-6: vistas dorsales de arácnidos; 4: escorpión, 5: solífugo; 6: uropígido (tomadas de Vázquez y Villalobos, 1987).



Figuras 7-12. 7a-d: vistas dorsales de ácaros. a: Mesostigmata; b: garrapata Ixodidae; c: garrapata Argacidae; d: “tlalzahuate” (Trombididae); 8-12: crustáceos. 8: *Artemia* (Anostraca, vista lateral); 9: Notostraca (vista dorsal); 10: *Lepa* (Cirripedia, vista lateral); 11: tanaidáceo (Peracarida, vista lateral); 12: anfípodo (Peracarida, vista lateral) (tomadas de Vázquez y Villalobos, 1987).



Figuras 13-22. 13-14: vistas laterales de crustáceos. 13: camarón “krill” (Euphaceacea); 14: acocil (Decapoda); 15: vista dorsal de un mil pies (Diplopoda); 16: vista dorsal de un ciempiés (Chilopoda); 17-22: insectos. 17: hormiga (Hymenoptera, vista dorsal); 18: escarabajo (Coleoptera, vista dorsal); 19: cigarra (Hemiptera, vista dorsal); 20: mantis religiosa (Mantodea, vista lateral); 21: mariposa (Lepidoptera, vista dorsal); 22: mosca escorpión (Mecoptera, vista lateral) (tomadas de Vázquez y Villalobos, 1987).

Biología de plantas III (angiospermas)

Nombre de los profesores:	Miguel Ángel Villavicencio Nieto Manuel González Ledesma
Semestre en el que se imparte:	Sexto
Número de horas / semana:	Seis
Número de créditos:	Nueve
Número de horas teóricas:	Tres
Número de horas prácticas:	Tres
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Biología de plantas I y Biología de plantas II
Relación con asignaturas de posteriores:	Fisiología vegetal, Recursos naturales de México y Paleobiología
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Biología de la conservación y Biogeografía
Objetivos del curso:	1. Conocer la morfología floral, foliar, y frutal de las angiospermas. 2. Conocer las características generales de la reproducción sexual y asexual en angiospermas, así como el ciclo vital de estas plantas. 3. Conocer las características de los principales sistemas de clasificación de angiospermas. 4. Aprender los principales conceptos teórico-prácticos para reconocer y caracterizar los tipos de vegetación en el país y en el estado de Hidalgo. 5. Reflexionar sobre la importancia económica, social y cultural de las plantas con semilla.



Biología de plantas III

(angiospermas)

Miguel Ángel Villavicencio Nieto y Blanca Estela Pérez Escandón

Las angiospermas o plantas con flores, constituyen a la mayoría de las plantas modernas. Se clasifican en el dominio Eukarya, reino Plantae, división Magnoliophyta; Cronquist (1981) trata a las angiospermas, como la división a la que separa en dos clases, Magnoliopsida (dicotiledóneas) y Liliopsida (monocotiledóneas), con seis y cinco subclases respectivamente (figura 1). Raven *et al.* (1999) emplean la clasificación en la que las angiospermas se reconocen como el phylum Anthophyta, con dos clases, Eudicotyledones y

Monocotyledones.

Hay aproximadamente 250 mil especies de angiospermas; 185 mil dicotiledóneas y 65 mil monocotiledóneas, por lo cual es el grupo más grande de organismos fotosintéticos, con una amplia diversidad de formas que incluye plantas de unos milímetros, como *Lemna*, la lenteja de agua, hasta árboles de alrededor de 100 m de alto, como algunas especies de *Eucalyptus*. Las diferencias principales entre las dos clases de angiospermas se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Diferencias principales entre las dos clases de angiospermas.

Características	Dicotiledóneas	Monocotiledóneas
Partes de la flor	cuatro o cinco	tres
Polen	triaperturaado	monoaperturaado
Cotiledones	dos	uno
Venación de la hoja	reticulada	paralela
Haces vasculares del tallo	en un anillo	arreglo complejo
Crecimiento secundario, con <i>cambium</i> vascular	comúnmente presente	raro

La característica que distingue a las angiospermas es la flor, la cual es un brote determinado (con crecimiento de duración limitada) que lleva esporófilos (hojas con esporangios). El nombre angiospermas se deriva de la palabra griega *angeion*, que significa vaso, y *sperma* que significa semilla. La estructura definitiva de la flor es el carpelo, vaso que contiene a los óvulos que se desarrollan en las semillas después de la fertilización.

Una flor completa (figura 2) consta de las siguientes partes: cáliz, corola (ambos forman el perianto o envolturas florales y son estériles), androceo y gineceo (son estructuras reproductoras). A cada uno de estos conjuntos se les llama verticilo, que es un círculo de partes florales de una sola clase. Cuando falta por lo menos un verticilo, es una flor incompleta (figura 3).

Las envolturas florales son las partes que protegen a los órganos reproductores y constituyen los dos verticilos externos de la flor, son el cáliz y la corola, que en conjunto se denominan perianto. Cuando el perianto constituye una sola envoltura, en la que no se distingue el cáliz y la corola, se llama perigonio, cuyas piezas florales reciben el nombre de tépalos. Si las flores no tienen envolturas florales, se llaman desnudas.

El cáliz es el verticilo más externo de la flor; está formado por una especie de hojitas pequeñas modificadas, generalmente verdes, que se llaman sépalos. Si los sépalos están libres, el cáliz es dialisépalo, aposépalo (apo=separado) o polisépalo; si están unidos es gamosépalo o sinsépalo (sin o sim= unido) (figura 5). La función principal del cáliz es envolver y proteger a los otros verticilos.

La corola es el segundo verticilo floral, y está formado por estructuras llamadas pétalos, que en general son de colores variados. Cuando los pétalos están libres, la corola es dialipétala, apopétala o polipétala (figura 4); si están unidos es gamopétala o simpétala (figura 5), en este último caso los extremos libres forman los lóbulos. Las funciones principales de la corola, son la protección de los órganos reproductores y la atracción de animales que acuden a alimentarse, así contribuyen a la polinización.

El androceo (casa del hombre) es el tercer verticilo de la flor, y está formado por los estambres, que son microsporófilos. El estambre generalmente consiste de un filamento y una antera. El filamento es una estructura filiforme de soporte que en el ápice lleva a la antera compuesta de dos lóbulos o tecas unidas por el conectivo, una prolongación del filamento; cada lóbulo o teca contiene dos sacos polínicos o microsporangios, una característica de las angiospermas.

El gineceo (casa de la mujer) es el cuarto verticilo de la flor. Está formado por los carpelos, que son megasporófilos. El carpelo es una estructura “laminar”, “enrollada” a lo largo, que contiene uno o varios óvulos. Pocas flores tienen un solo carpelo, como las leguminosas.

Otras tienen varios carpelos que pueden estar separados formando un gineceo apocárpico, como en las ranunculáceas, o unidos en cuyo caso es un gineceo sincárpico. El carpelo individual o los carpelos fusionados, se llaman pistilo, palabra que tiene la misma raíz que pestle (en inglés), la mano de un mortero. Un carpelo o un grupo de carpelos están diferenciados en una parte inferior u ovario, que encierra a los óvulos; una parte media, el estilo, a través de la cual crece el tubo polínico, y la parte superior, el estigma, que recibe al polen. El estigma, por lo común, es un ensanchamiento que puede estar dividido en varias partes correspondientes al número de carpelos del gineceo. El estilo puede faltar, entonces el estigma es sentado. Por la posición que ocupa el ovario con respecto a los demás verticilos florales es súpero (figura 6) o ínfero (figura 7). Es súpero cuando se encuentra por encima de los demás verticilos. Es ínfero si queda por debajo de los otros verticilos; a veces queda en posición intermedia, y se dice que es semiínfero (figura 8). Según el número de carpelos que forman el ovario, éste puede ser unicarpelar (figura 9a), bicarpelar (figura 9b,c), tricarpelar (figura 9d,e), tetracarpelar o policarpelar. Cuando es unicarpelar

presenta una sola cavidad o lóbulo, y el ovario es unilocular (figura 9a). Si el ovario consta de dos o más carpelos, éstos se disponen en círculo y se fusionan de diferentes maneras. Si sólo se fusionan por el borde y no por el centro, se forma un ovario unilocular (figura 9c,e) aunque tenga varios carpelos, pero si también se fusionan por el centro tendrá tantos lóbulos, como carpelos, y el ovario puede ser bilocular (figura 9b), trilocular (figura 9d), tetralocular, o polilocular.

La mayoría de las flores incluyen estambres y carpelos. Se dice que estas flores son perfectas, y se trata de flores hermafroditas o bisexuales (figura 2). Si los estambres o los carpelos están ausente, la flor es imperfecta y es unisexual; si sólo presentan androceo son masculinas o estaminadas (figura 10), si sólo tienen gineceo son femeninas, carpeladas o postiladas (figura 11).

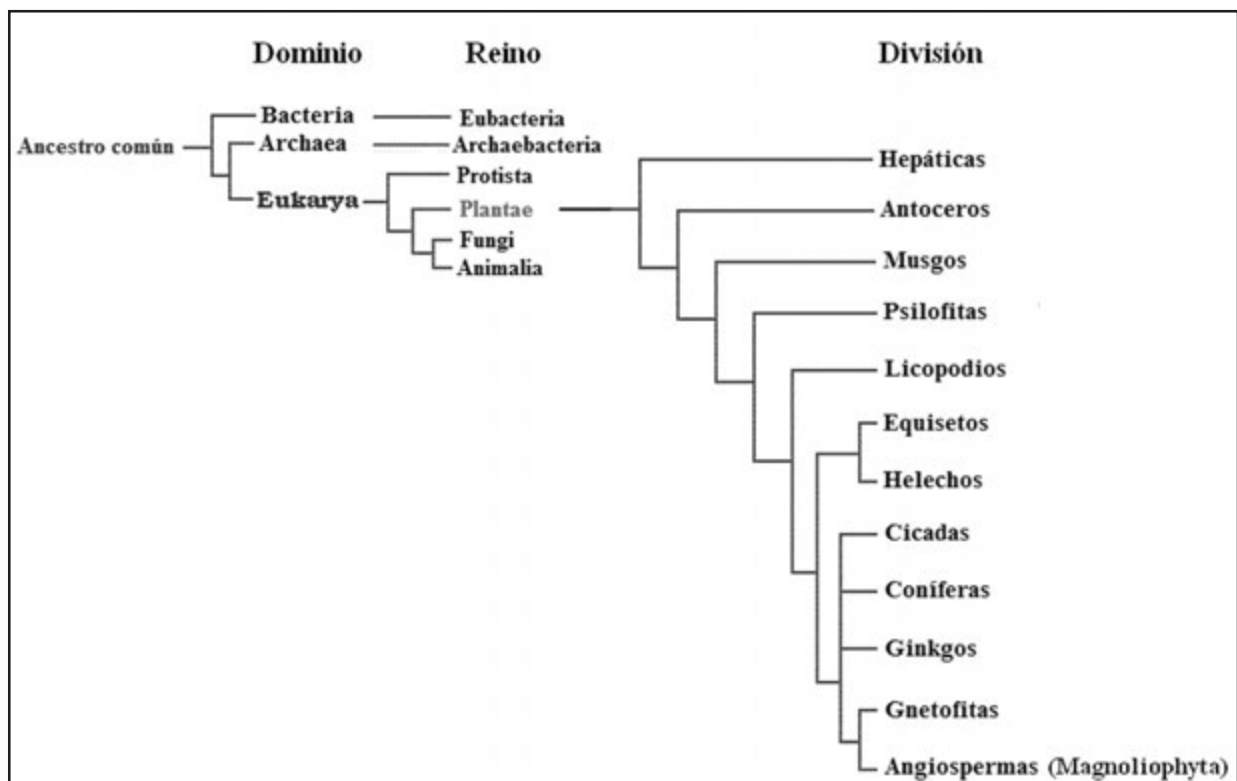
Respecto de la simetría, en algunas flores los miembros de los verticilos son de forma similar, están dispuestos en forma radial y están equidistantes uno de otro; tienen simetría radial y las flores son regulares o actinomorfas (figura 12). En otras flores, uno o más miembros de al menos un verticilo, son diferentes de los otros miembros del mismo verticilo. Tales flores tienen simetría bilateral y son irregulares o zigomorfas (figura 13).

Se considera que éstas son las características mínimas que se requiere conocer para estudiar los aspectos referentes a la reproducción, evolución y diversidad de las angiospermas.

Literatura básica

- Bell, P. R., y A. R. Hemsley. 2002. Green plants. Their origin and diversity. 3a. print. Cambridge University Press. Cambridge.
- Cronquist, A. 1981. An integrated system of classification of flowering plants. Columbia University Press. New York.
- Gifford, E. M., y A. S. Foster. 1996. Morphology and evolution of vascular plants. W. H. Freeman and Company. New York.
- Glimn-Lacy, J., y P. B. Kaufman. 2006. Botany illustrated. Springer. New York.
- González Medrano, F. 2003. Las comunidades vegetales de México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F.
- Heywood, V. H. 1993. Flowering plants. Oxford University Press. New York.
- Raven, P. H., R. E. Evert, y S. E. Eichhorn. 1999.

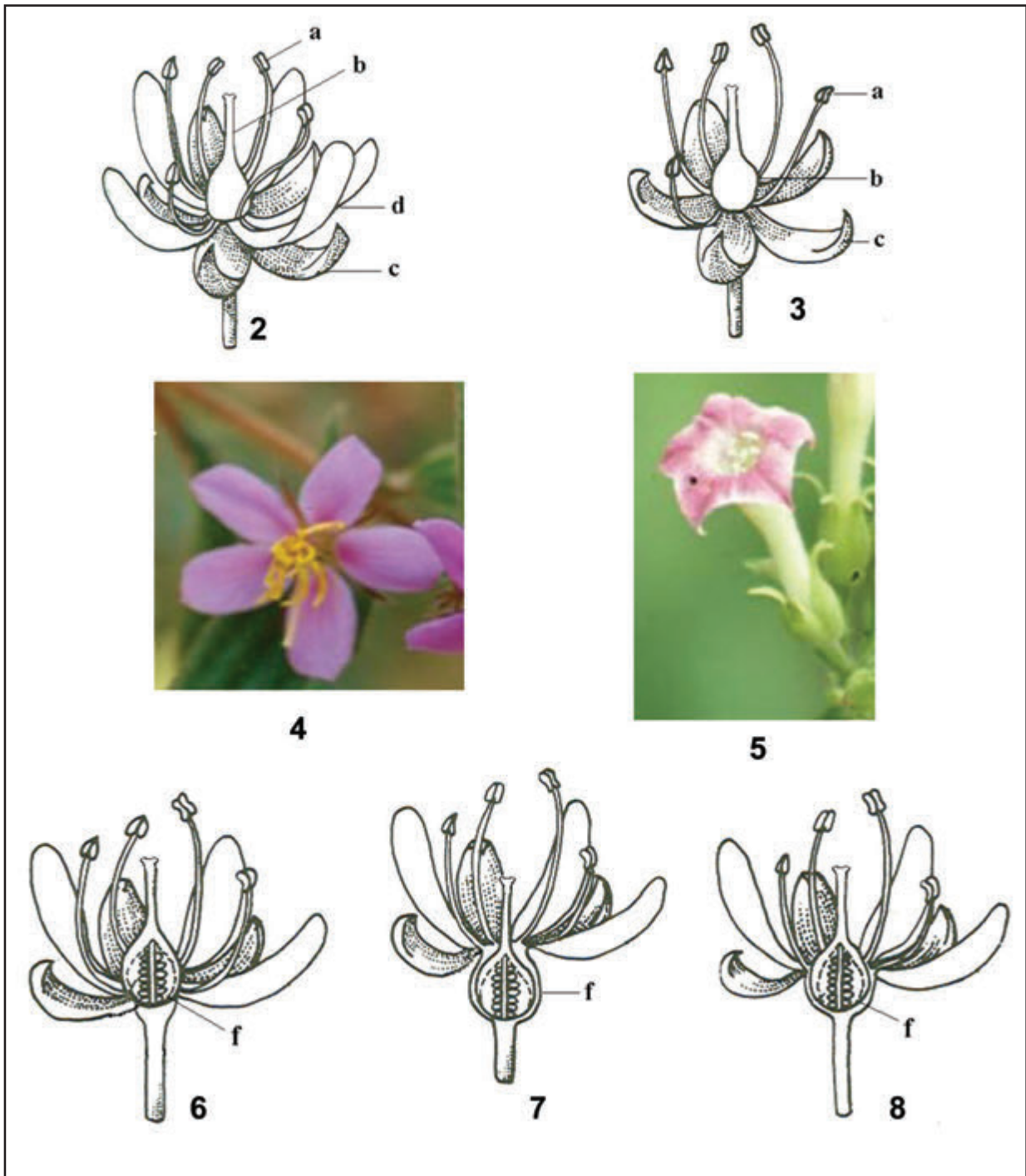
- Biology of plants. W. H. Freeman and Company. New York.
- Rzedowski, J. 1988. Vegetación de México. 4a. reimp. Editorial Limusa. México, D. F.
- Rzedowski, G. C., y J. Rzedowski. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología, CONABIO. Pátzcuaro.
- Villaseñor, J. L. 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia* 28(3): 160-167.



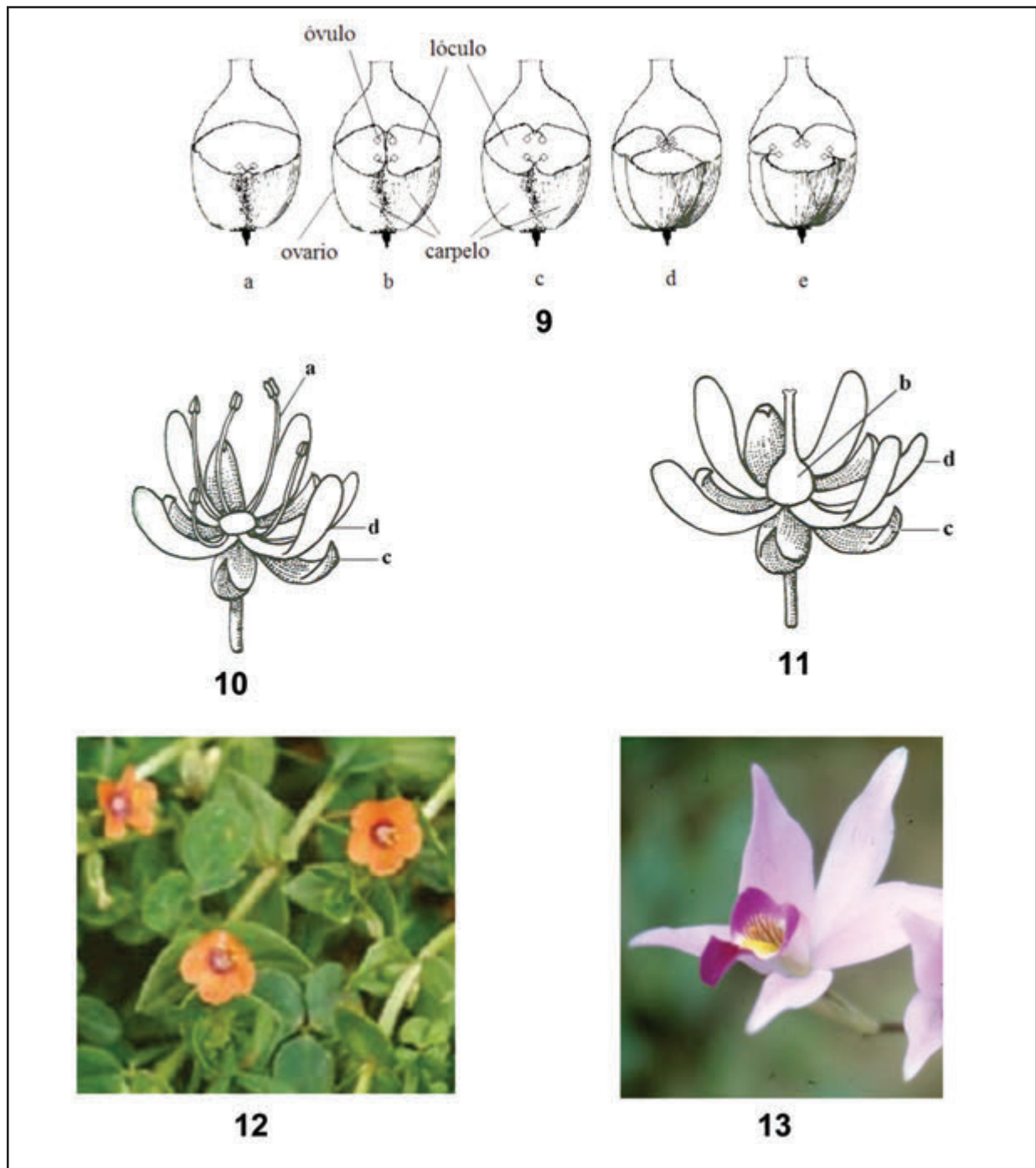
Sistema de clasificación Cronquist (1981) de las plantas con flores

División	Magnoliophyta	
Clase (Monocotiledóneas)	Magnoliopsida (Dicotiledóneas)	Liliopsida
Subclase	Magnoliidae Hamamelidae Caryophyllidae Dilleniidae Rosidae	Alismatidae Arecidae Commelinidae Zingiberidae Liliidae

Figura 1: clasificación de las angiospermas (Cronquist, 1981).



Figuras 2-8. 2: esquema de una flor completa, perfecta, hermafrodita; 3: flor incompleta, perfecta, hermafrodita; 4: flor de *Tibouchinia purpusii*, con corola polipétala; 5: flor de tabaco, *Nicotiana tabacum*, con cáliz sinsépalo, corola simpétala; 6: flor con ovario súpero; 7: ínfero; 8: semi ínfero (a, androceo; b, gineceo; c, cáliz; d, corola; f, ovario) (tomadas de Glimn-Lacy y Kaufman, 2006. Fotografías de Villavicencio y Pérez Escandón).



Biología de animales III (deuterostomados)

Nombre del profesor:	Jesús Martín Castillo Cerón Norma Leticia Manríquez Morán
Semestre en el que se imparte:	Sexto
Número de horas / semana:	Ocho
Número de créditos:	Doce
Número de horas teóricas:	Cuatro
Número de horas prácticas:	Cuatro
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Biología de animales II y Sistemática
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Temas selectos, Trabajos de investigación y Paleobiología
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Biogeografía, Recursos naturales
Objetivos del curso:	<ol style="list-style-type: none">1. Conocer las características principales de estos grupos.2. Proporcionar los conocimientos modernos de la clasificación de estos grupos.3. Preparar a los alumnos en los conocimientos generales de la diversidad y distribución de estos grupos.



Biología de animales III

(deuterostomados)

Jesús Martín Castillo Cerón e Irene Goyenechea Mayer-Goyenechea

Los deuterostomados se caracterizan porque en el desarrollo embrionario, el ano se forma en la zona del blastoporo o cerca de él y la boca se forma después, de manera secundaria, en otra área. Existen tres grupos que conforman a los deuterostomados, éstos son: equinodermos, hemicordados y cordados.

El grupo menos derivado, es el de los equinodermos. Estos conforman un grupo natural, son animales exclusivamente marinos, presentan simetría radiada y están formados, casi siempre, por cinco partes o radios iguales repetidos alrededor del eje del cuerpo, placas endoesqueléticas espinosas, sistema acuífero, presencia de pedicelos, branquias dérmicas, con un cuerpo blando sin segmentar y variadas formas que van de globosas a planas; son acéfalos (sin cabeza visible) característica que está ligada a la simetría radial del cuerpo (figura 1).

Si utilizamos la morfología externa de éstos, podemos notar cuales serían las características que, a su vez, nos permiten ver cuáles son los integrantes más primitivos y cuáles los más derivados. Todos en estadio larval poseen simetría bilateral. En estado adulto poseen simetría radial, con excepción de los holotúridos. Los crinoides son el único grupo sésil, tienen diez radios o más y viven en zonas bastante profundas, sujetos al terreno por un pedúnculo; son los más primitivos y antiguos, probablemente similares al ancestro común de todos los equinodermos (figura 1a). Los asteroideos, junto con los ofiuroideos, se caracterizan por la presencia de brazos, en donde los primeros engloban el disco y los segundos no; en los asteroideos (estrellas), la boca se encuentra en la parte inferior en la región central y el ano en la superior. Pueden comer bivalvos abriéndolos y proyectando el estómago en su interior para digerir las partes blandas; el movimiento es debido principalmente al sistema ambulacral; en la parte inferior de las estrellas se observan unas pequeñas prolongaciones correspondientes a los pies ambulacrales que usan para desplazarse. Tienen una gran capacidad de regeneración; de un brazo arrancado por un depredador vuelve a crear una estrella completa; mientras que los otros cuatro brazos desarrollan de nuevo el brazo que falta (figura 1b).

Los ofiuroideos (arañas de mar) poseen un disco central y cinco brazos que salen de él y, como ya se mencionó antes, no engloban el disco. El disco es blando al tacto, tiene brazos largos y muy flexibles, la musculatura es más responsable del movimiento. El tubo digestivo es ciego, no tiene ano; así que captura el alimento, que es triturado, digerido y expulsado por la misma boca (figura 1c). Los equinoides son los típicos erizos de mar; poseen un esqueleto con placas grandes y soldadas, formando una concha dura y compacta. Todas las placas tienen espinas más o menos desarrolladas. La boca posee cinco mandíbulas fuertes accionadas por 35 piezas (el conjunto se llama linterna de Aristóteles). Alrededor de la boca puede haber evaginaciones correspondientes a las branquias con función respiratoria (figura 1d). Los holotúridos poseen también la linterna de Aristóteles, pero en su caso está constituida por únicamente diez piezas. Podríamos considerar que se tratan de erizos alargados sin espinas aparentes, éstas están embebidas en su cuerpo. Como ya se mencionó, conservan en estado adulto la simetría bilateral, y como resultado de ésta, respiran mayoritariamente por dos branquias que surgen cerca del ano, y que se dilatan internamente a lo largo del cuerpo, el cual es blando al tacto; cuando se sienten en peligro eyectan el sistema digestivo para confundir al depredador y poder escapar, luego regeneran el aparato (figura 1e).

Los hemicordados poseen una estomocorda (esbozo notocordal), hendiduras branquiales y cordón nervioso dorsal. Este último sólo se presenta hueco en los Enteropneusta (figura 2a), y se diferencian por ser estos últimos de vida libre, y los Pterobranchia (figura 2b) de vida sésil. Ambos grupos son muy diferentes morfológicamente hablando. Los hemicordados, junto con los urocordados y cefalocordados, forman el grupo parafilético de los procordados.

Ya dentro de los cordados, el primer grupo que se ve, son los urocordados (figura 2c-e), los cuales son animales provistos de una especie de manto (secretado por ellos mismos), que rodea al cuerpo, y recibe el nombre de túnica que se caracteriza por contener celulosa, y aunque esté por fuera de la

epidermis, nunca la muda. Poseen un cordón dorsal hueco limitado a la región caudal o cola, pero sólo en estado larval, perdiéndolo las ascideas o tunicados (figura 2c), y las thaliaceas o salpas (figura 2d), mientras que las larvaceas o apendicularios (figura 2e) lo conservan, ya que nunca pierden la cola; la notocorda muscular está dispuesta siempre sobre el cordón nervioso.

Los cefalocordados (figura 2f) o mejor conocidos como acranios, son cordados en forma de pez, que se conocen también con el nombre de lancetas o anfibios (extremos opuestos, por su cabeza larga y afilada). Son organismos translúcidos e iridiscentes, por lo que se le pueden ver sus órganos a través de la piel. Presentan una cabeza, un tronco y una cola. Poseen una vaina notocordal que sirve para fortalecer la notocorda, un cordón nervioso dorsal hueco y unas hendiduras branquiales durante todos sus estadios.

El grupo más derivado de los cordados son los craneados y/o vertebrados, los cuales se tratan en este apartado de una manera muy rápida y sencilla, ya que el tiempo dedicado durante el curso, escasamente es más de dos meses y medio. Mientras que existen temas selectos de cada uno de ellos, por ejemplo: ictiología, herpetología y mastozoología, entre otros, en los que a cada uno de ellos se le dedica un “cuatrimestre”, y aún así es imposible abarcarlos.

Empezamos con los Peces (figura 3 a-c), donde la gran mayoría tienen aletas, escamas que cubren y protegen el cuerpo revestida de mucus, un sistema circulatorio, digestivo y nervioso bien desarrollado. Son los más antiguos vertebrados vivos sobre la Tierra, ya que aparecieron hace 450 m.a. (ostracodermos, tiburones 430 m.a.); viven en casi todos los ambientes acuáticos. Algunas especies resisten temperaturas de más de 38°C, mientras otras viven sometidas a enormes presiones a profundidades de hasta 10 mil m; otras más, se han adaptado a las aguas heladas con temperaturas inferiores a los 0°C. Poseen simetría bilateral y cuerpo fusiforme, dándoles una morfología ideal para moverse en el agua. Presentan apéndices especializados para el desplazamiento (aletas). La respiración se realiza a través de las branquias, éstas están sostenidas por arcos cartilagosos situados internamente en la boca, y por donde se produce el intercambio gaseoso entre la sangre y el agua. Hay peces herbívoros y carnívoros. Los primeros tienen el intestino largo y fino, mientras que los segundos lo tienen corto y grueso.

Tienen una estructura sensorial denominada línea lateral, la cual es un órgano usado para detectar movimiento y vibración en el agua circundante, en la mayoría de las especies. Consiste en una línea de receptores a lo largo de cada lado del organismo. El tipo de fecundación generalmente es externa en los peces óseos e interna en los cartilagosos, debido a la presencia de órganos copuladores en los machos, llamados claspers. Con respecto al tipo de desarrollo, los peces óseos son generalmente ovíparos, mientras que en los peces cartilagosos se encuentran todas las variedades (ovíparos, ovovivíparos, y vivíparos).

Hay tres grandes grupos de peces marinos, de acuerdo con la naturaleza de su esqueleto: a) Agnatha, es la más primitiva, carecen de mandíbula; b) Chondrichthyes o mejor conocidos como peces cartilagosos, el esqueleto está compuesto de cartílago que es un tejido menos calcificado que el hueso; y c) Osteichthyes o peces óseos/teleosteos.

Los agnatos (lampreas) tienen la boca en forma de un disco oral, está modificada en una estructura succionadora adaptada para aferrarse sobre objetos en aguas rápidas (figura 3a).

Los condriictios (rayas y tiburones) son vivíparos u ovíparos. El periodo embrionario de las especies vivíparas y ovíparas puede ser muy distinto, 2, 6, o 10 meses, según la especie. Los embriones están protegidos dentro de unas cápsulas. El número de huevos que llegan a desarrollar, es mucho menor que en los peces óseos. Los dientes no los tienen en alveólos de las mandíbulas y los van reemplazando por otros nuevos, continuamente y en serie. Son organismos con ambas mandíbulas móviles y no se encuentran articuladas al cráneo. En su mayoría son depredadores marinos. Los tiburones tienen de 5 a 7 hendiduras branquiales a cada lado. Algunas especies poseen una apertura adicional llamada espiráculo. Tienen la piel cubierta de unas escamas características llamadas escamas placoides (figura 3b).

Los osteictios incluyen a la gran mayoría de los peces. Se caracterizan por tener una piel con abundantes glándulas mucosas y escamas dérmicas, a veces hundidas en ella. Su esqueleto es principalmente óseo, con numerosas vértebras diferenciadas y cola generalmente homocerca. En el rostro existe una boca terminal y con dientes. Sus mandíbulas están bien desarrolladas y se articulan al cráneo. La respiración la realizan en branquias sostenidas por arcos branquiales óseos, situadas a cada lado de la faringe y recubiertas por el opérculo.

Algunos poseen vejiga natatoria, la cual llena de gases, funciona como órgano hidrostático para ajustar el peso específico del cuerpo a las distintas profundidades del agua, donde puede mantenerse pasivamente a la profundidad requerida. La fecundación es externa y existe dimorfismo sexual (figura 3c).

Se aborda el origen de los tetrápodos a inicios y mediados del Devónico, a partir de los crossopterigios (peces óseos de aletas lobuladas), los cuales poseían características anatómicas y morfológicas que les permitieron cambiar lentamente sus hábitos acuáticos a unos de carácter anfibio. Se revisan las diferentes características y adaptaciones que debieron tener para facilitarles moverse lentamente entre diferentes charcos o estanques, desde aquellos que se estaban secando a otros aún con agua, debido a las condiciones desérticas y de calor que eran condiciones imperantes en el Devónico. Es a partir de este grupo (Sarcopterigios), que surgieron los primitivos anfibios, los cuales tenían características corporales que los definieron como grupo natural, la clase Amphibia, primeros organismos tetrápodos. Estos últimos se caracterizan por que las extremidades tienen regiones carpales (mano), tarsales (pie) y falanges distales (dedos de la mano y del pie). Existen dos grupos de tetrápodos en la actualidad: Lissamphibia y Amniota. El primero está conformado por todos los anfibios primitivos (temnospondylos y lepospondylos) y los anfibios con grupos actuales (Apoda, Caudata y Salentia); y los amniota están conformados por los grupos Mammalia, Chelonia, Lepidosauria y Archosauria.

Del Devónico al Pérmico (aproximadamente 90 m.a.) se dió una gran diversidad de anfibios primitivos, y se le conoce a este período de tiempo (de 360 a 270 m.a.) como la “Gran Era de los Anfibios”. Entre ellos, el grupo fósil Proanura con ningún descendiente actual, junto con el grupo Amphibia forman a Lissamphibia; estos últimos más Amniota, constituyen el clado de los tetrápodos. El grupo Amphibia lo constituyen todos los anfibios fósiles que tengan representantes actuales. Éstos son Gymnophiona —Apoda, cecilias— (figura 3d), Anura —Salentia, ranas, hylas y sapos, entre otros— (figura 3e), Urodela —Caudata, salamandras, pletodóntidos, sirenas y tritones— (figura 3f). La palabra anfibio viene del griego “*amphi*” y “*bios*”, que quiere decir doble vida, por vivir alguna parte de su vida cerca de cuerpos de agua o sitios húmedos. Su temperatura corporal depende de la temperatura ambiente.

La frecuencia de su alimentación aumenta o disminuye de acuerdo con su temperatura, grado de actividad y disponibilidad del alimento. Pueden respirar a través de la piel, branquias y/o pulmones. La piel secreta un mucus que la mantiene húmeda y lubricada. Varias especies secretan sustancias tóxicas para defenderse de sus predadores. A través del tacto pueden sentir la temperatura y el dolor. Responden rápidamente a los cambios de pH, así como a la contaminación mínima del agua. Asimismo, a cualquier cambio de temperatura, ya que sino lo hicieran, puede llevarlos a la muerte por desecación o por congelamiento. Por lo anterior, son considerados indicadores de calidad ambiental, de manera particular de agua. Los anfibios corren, nadan, reptan, caminan, saltan e incluso “vuelan”.

En los anfibios es importante el encuentro, el cortejo y el apareamiento, para poder efectuar la puesta. El canto de los machos sirve para atraer a las hembras, aunque también puede atraer a sus predadores. En casi todos los urodelos, la fertilización es interna. En cecilias, existe una yuxtaposición de cloacas y, por consecuente, una fecundación interna. En anuros, el amplexo, mejor conocido como abrazo sexual, coloca al macho en la posición para poder fertilizar a los huevos, ésta se da de manera externa. Son los únicos tetrápodos que sufren metamorfosis. Las larvas y/o renacuajos tienen que permanecer en un cuerpo de agua para completar su desarrollo. El tiempo que tarda en completarse su desarrollo varía de 80 a 120 días, dependiendo de la temperatura y el alimento que se encuentre en el cuerpo de agua. No todos los anfibios tienen fase larvaria.

La definición tradicional del taxón Amniota está basada en un carácter clave: “*cualquiera con un huevo amnioto, es un amnioto*”. La taxonomía filogenética redefine a los Amniota, diciendo: “*el clado consiste del primer animal que poseyó el huevo amnioto y todos sus descendientes*”. Esta definición está basada en una apomorfia: la presencia del huevo amnioto.

El grupo Amniota, así definido, es claro sólo cuando los taxa extintos son considerados; así, los mamíferos, tortugas, lepidosaurios y arcosaurios (incluyendo a las aves), son, sin equivocación, amniotos; mientras que Peces y Lissamphibia son excluidos de los Amniota.

Los reptiles (tortugas, lepidosaurios y cocodrilos), surgieron a partir de los anthracosaurios, un linaje de tetrápodos primitivos del Paleozoico, que se arriesgaron a explorar el medio terrestre e

incrementar las especializaciones fisiomorfológicas para una vida fuera del agua. Este grupo es considerado el ancestro, debido a que poseían características que están presentes en los amniotas, pero no en los anfibios paleozoicos o posteriores.

Del linaje de los antracosaurios se derivan los cotylosaurios, y de éstos los Diadectomorpha, de los que evolucionaron los primeros amniotas, los cuales fueron varios grupos contemporáneos anápsidos, diápsidos y sinápsidos.

Los testudinidos y lepidosaurios se distinguen de los demás vertebrados terrestres porque tienen el cuerpo cubierto de escamas o escudos. Son tetrápodos, aunque algunos de ellos (ofidios, anfisbénidos y algunos saurios) han perdido los miembros como una adaptación posterior y la mayoría poseen una cola bien desarrollada. Son organismos de sangre fría, por lo que su abundancia es mayor en los trópicos y va disminuyendo paulatinamente hacia las zonas más frías, donde son escasos, y sólo puede observarse en días soleados. Otra consecuencia de lo anterior, es que en los trópicos alcanzan su máximo desarrollo corporal (por ejemplo, tortugas y boas). Su epidermis presenta engrosamientos que dan lugar a las escamas que cubren su piel, constituyendo una lámina continua. A diferencia de los peces, este grupo de organismos presentan escamas que no pueden separarse. Cuando mudan su piel (proceso fisiológico, denominado ecdisis), lo que hace es renovar su capa de queratina, que se puede soltar en fragmentos o en una única pieza. Los quelonios presentan a este nivel unos engrosamientos denominados “osteodermos”, que son placas óseas que refuerzan a las escamas córneas de la epidermis; ésta característica la comparten con los cocodrilos y algunos saurios. El esqueleto de las tortugas y los lepidosaurios presenta ciertas particularidades evolutivas que les han ayudado a colonizar la mayoría de los biotopos existentes en las diferentes zonas biogeográficas que conforman la Tierra.

Los quelonios (figura 3g) se dividen a su vez en dos grupos: los pleurodiros, en los que se encuentra a las tortugas de cuello de serpiente (Chelidae), y de cuello escondido (Pelomedusidae). Estas tortugas se caracterizan por retraer el cuello de forma lateral, nunca metiendo la cabeza en el caparazón. Por su parte, los criptodiros se caracterizan por retraer la cabeza dentro del caparazón en una forma de “S” vertical, en este grupo están las tortugas marinas, las dulceacuícolas, las de desierto y la gran mayoría de las terrestres.

Los lepidosaurios se dividen en dos grupos: Rhynchocephalia, conocido como tuátaras (figura 3h) y el de los escamados o Squamata, en el que incluyen las lagartijas (figura 3i), las serpientes (figura 3j) y los anfisbénidos (figura 3k).

Dentro de este gran grupo parafilético Reptiles, se encuentran los arcosaurios, conformados por los cocodrilos (figura 3l), los pterosaurios, reptiles voladores (figura 3m), y los dinosaurios (figura 3n), dentro de estos últimos se encuentran las aves (figura 3o).

Los arcosaurios son los reptiles dominantes del Mesozoico. Son un grupo monofilético que actualmente están representados por los cocodrilos y las aves. De los arcosaurios ocurrieron dos linajes principales: Pseudosuchia (crocodilomorfos) y Ornitosuchia (dinosaurios, pterosaurios y aves). Durante el Mesozoico dominaron el ambiente, entre el Pérmico Tardío y finales del Cretácico. *Euparkeria* (Triásico Temprano) es el fósil más antiguo de los arcosaurios. Este pequeño arcosaurio (500 mm de longitud sin incluir la cola), es el ancestro inmediato de los pseudosuchianos y los ornitosuchianos. Estos dos linajes de Archosauria, se distinguen uno del otro por la forma de la pelvis. Los cocodrilos aparecieron en la Tierra, al mismo tiempo que los dinosaurios (Triásico Medio 215 m.a.). Los cocodrilos son el único grupo de reptiles arcosaurios vivos en la actualidad. Este grupo de reptiles pasó a través de varios grados evolutivos y cada uno de ellos tuvo una amplia radiación adaptativa, existiendo cocodrilomorfos de todos tamaños y formas, y vivieron en ambientes acuáticos y terrestres. Los cocodrilos sobrevivieron a la catástrofe que marcó el fin de los dinosaurios y pterosaurios a finales del Cretácico (64.5 m.a.). El grupo actual *Crocodylia* apareció en el Cretácico Temprano y han sido los cocodrilos semiacuáticos prominentes hasta ahora. Actualmente conservan su forma original casi sin cambio alguno. Incluye las tres familias modernas: Alligatoridae, Crocodylidae y Gavialidae.

Las aves constituyen uno de los grupos animales más evolucionados de los vertebrados. Dentro de los vertebrados terrestres, las aves son el grupo más diversificado. Los diferentes análisis realizados han llevado a conocer que el grupo animal con el que las aves comparten más similitudes es el de los reptiles, tanto que el famoso evolucionista, Thomas Huxley, los llamó reptiles glorificados.

Las aves se derivaron de un grupo de reptiles muy antiguo que vivió durante los primeros años

de la era mesozoica, y que es conocido como pseudosuquios. Algún linaje pseudosuquiano dio origen a una línea evolutiva importante, conocida como la de los tecodontos y éstos, a su vez, originaron grupos como los dinosaurios, los pterosaurios, los cocodrilos y las aves. Filogenéticamente las aves son dinosaurios (Saurischia).

Dentro de las características que presentan las aves, están los huesos huecos y porosos, la presencia de escamas, la ausencia de glándulas sudoríparas en la piel, el huevo amniota, la presencia de un diente para romper el cascarón, la piel cubierta de plumas, pico córneo carente de dientes, ambas mandíbulas tienen movimiento, corazón con cuatro cámaras, ovíparos con fecundación interna, órganos genitales internos, extremidades anteriores transformadas en alas, en algunos casos atrofiadas; dos dedos de la mano desaparecen, en las extremidades posteriores el quinto dedo desaparece, existen casos donde otros dedos también se han atrofiado; y primer dedo poseionado en la parte posterior de la pata, opuesto a los otros tres.

Finalmente, el último grupo que se aborda en el curso son los mamíferos, derivados de los sinápsidos del Mesozoico. Este grupo de terápsidos (mamíferos reptilianos), se separó tempranamente del linaje compartido con los pelicosaurios (reptiles mamíferoides). El grupo Mammalia se divide en prototherios, metatherios y euterios. Están caracterizados por la presencia de pelo, glándulas mamarias y tres huesecillos en el oído medio: martillo, yunque y estribo.

Los prototherios o monotremas (figura 3p) son el único grupo dentro de los mamíferos que ponen huevo; carecen de pezones, por lo que la leche es lamada por la cría a partir de un mechón de pelos; poseen una cloaca, huesos epipúbicos y glándulas de veneno en el espolón de las extremidades traseras, este orden lo constituyen el ornitorrinco y el equidna.

Los metatherios o marsupiales (figura 3q), tienen como característica principal su forma de reproducción y desarrollo, una gestación muy corta en comparación con otros mamíferos no marsupiales. Este tipo de gestación hace que los recién nacidos estén muy poco desarrollados, con piel desnuda, ojos y oídos embrionarios, pero con el olfato, la boca y el sistema digestivo y respiratorio aptos para poder sobrevivir. Quedan prendidos de los pezones de su madre al momento de nacer (después de arrastrarse por el vientre materno), y estarán ahí durante los primeros seis meses (en

promedio), aunque no deja de amamantarse antes de los 12 meses, y por lo tanto aún destetados regresaran al vientre materno por protección.

Finalmente, nos encontramos a los eutherios o verdaderos placentados (figura 3r), siendo quizá el grupo mejor conocido y estudiado de todos los vertebrados. Dentro de este grupo tenemos una gran diversidad de formas, tamaños y ambientes. Están, por ejemplo, los xenarthros (oso hormiguero, armadillo y perezoso, entre otros), afroserícidos (tenrecs y topos dorados), macrosélidos (musarañas elefantes), tubulidentados (cerdo hormiguero), Hyracoidea (hyrax, damanes), Sirenia (dudongs y manaties), Proboscidea (elefantes), Pholidota (pangolines), Carnivora (osos, felinos, cánidos, mustélidos, mapaches y hienas, entre otros), Perissodactyla (caballos, rinocerontes y tapires), Artiodactyla (camellos, venados, jirafas, cabras y alces, entre otros), cetáceos (ballenas y delfines), quirópteros (murciélagos), primates (lemúridos, társidos, cébidos, cercopitécidos y homínidos), dermópteros (colugos), Eulipotyphla (musarañas, topos y erizos), Scadentia (musarañas arborícolas), lagomorfos (conejos, liebres y pikas), y Rodentia (tuzas y diversos roedores).

Por último, se realiza una recapitulación del grupo de los deuterostomados, analizando la importancia y trascendencia de los mismos.

Literatura básica

- Barnes, R. D. 1986. *Zoología de los invertebrados*. Interamericana. México, D. F.
- Barnes, R. S. K., P. Calow, y P. J. W. Olive. 1993. *The Invertebrates, a new synthesis*. Blackwell Science. Oxford.
- Benton, M. J. 1991. *Amniote phylogeny*. En: Schultze, H. P. y L. Trueb (eds.). *Origins of the higher groups of tetrapods*. Comstock Publication Association, New York. p: 317-330.
- Bond, C. E. 1979. *Biology of fishes*. W. B. Saunders Company. Philadelphia.
- Bravo Cuevas, V. M., M. A. Cabral Perdomo, y J. M. Castillo Cerón. 2003. *¿Cumplirá su destino la Megafauna de México?* *Especies* 12(1): 19-24.
- Brochu, C. A. 2001. *Progress and future directions in Archosaur phylogenetics*. *Journal of Paleontology* 75(6): 1185-1201.
- Brusca, R., y G. Brusca. 1991. *Invertebrates*. Sinauer Associates, Inc. Publ. Massachusetts.

- Carroll, R. L. 2001. *The origin and early radiation of terrestrial vertebrates*. Journal of Paleontology 75(6): 1202-1213.
- Casas, A. G., y C. J. McCoy. 1979. *Anfibios y reptiles de México, claves ilustradas para su identificación*. Limusa. México, D. F.
- Castro-Aguirre, J. L. 1999. *Ictiofauna estuario-lagunar y vicaria de México*. Colección Textos Politécnicos. Serie Biotecnologías. Limusa-Noriega Editores. México, D. F.
- Duellman, W. E., y L. Trueb. 1986. *Biology of amphibians*. MacGraw Hill. New York.
- Eckert, R., D. Randall, y G. Augustine. 1990. *Fisiología animal, mecanismos y adaptaciones*. Interamericana, McGraw-Hill. México, D. F.
- Flores-Villela, O., e I. Goyenechea. 2003. *Patrones de distribución de anfibios y reptiles en México*. En: Morrone, J. J. y J. Llorente Bousquets (eds.). Una Perspectiva Latinoamericana de la Biogeografía. Las prensas de Ciencias, Facultad de Ciencias UNAM. México D. F. p: 289-296.
- Flores-Villela, O., F. Mendoza-Quijano, y G. García-Porter (comps.). 1995. *Recopilación de claves para la determinación de anfibios y reptiles de México*. Publicaciones Especiales del Museo de Zoología, UNAM 10: 1-285.
- Gill, F. B. 1990. *Ornithology*. W.H. Freeman and Co. New York.
- Goyenechea, I., y J. M. Castillo-Cerón. 2002. *Historia geológica de las serpientes*. Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana 10(2): 35-42.
- Hickman, C. P., L. S. Roberts, y A. Parson. 1998. *Principios integrales de zoología*. McGraw-Hill & Interamericana. Madrid.
- Heyer, W. R., M. A. Donnelly, R. W. McDiarmid, L. A. C. Hayek, y M. S. Foster. 1994. *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for amphibians*. Smithsonian Institution Press. Washington.
- Lagler, K., J. R. Bardack, y D. Passino. 1984. *Ictiología*. 1a. ed. en español, AGT Editor, S.A. México, D. F.
- Meglitsch, P. A., y F. S. Schram. 1991. *Invertebrate zoology*. Oxford University Press. New York.
- Moyle, P. B., y J. J. Cech Jr. 1988. *Fishes: An introduction to ichthyology*. 2a. ed. Engewood Cliffs, N. J. Prentice Hall. USA.
- Nielsen, C. 1995. *Animal evolution: Interrelationships of the living phyla*. Oxford University Press. New York.
- Pough, F. H., J. B. Heiser, y W. N. McFarland. 1996. *Vertebrate life*. 4a. ed. Prentice Hall. USA.
- Pough, F. H., R. M. Andrews, J. E. Cadle, M. L. Crump, A. H. Savitzky, y K. D. Wells. 2001. *Herpetology*. 2a. ed. Prentice Hall. New Jersey.
- Ramamoorthy, T. P., R. Bye, J. Fa, y A. Lot. 1993. *Biological diversity of Mexico: origins and distributions*. Oxford University Press. New York.
- Ruppert, E. E., y R. D. Barnes. 1995. *Zoología de los invertebrados*. Interamericana. Madrid.
- Sumida, S., y K. L. M. Martin. 1997. *Amniote origins, completing the transition to land*. Academic Press. USA.
- Torres-Orozco, R. 1991. *Los peces de México*. AGT-Editor, S. A. México, D. F.
- Vaughan, T. A. 1990. *Mamíferos*. Interamericana-McGraw-Hill. México, D. F.
- Zug, G. R., L. Vitt, y J. P. Caldwell. 2001. *Herpetology. An introductory biology of amphibians and reptiles*. 2a. ed. Academic Press Inc. California.

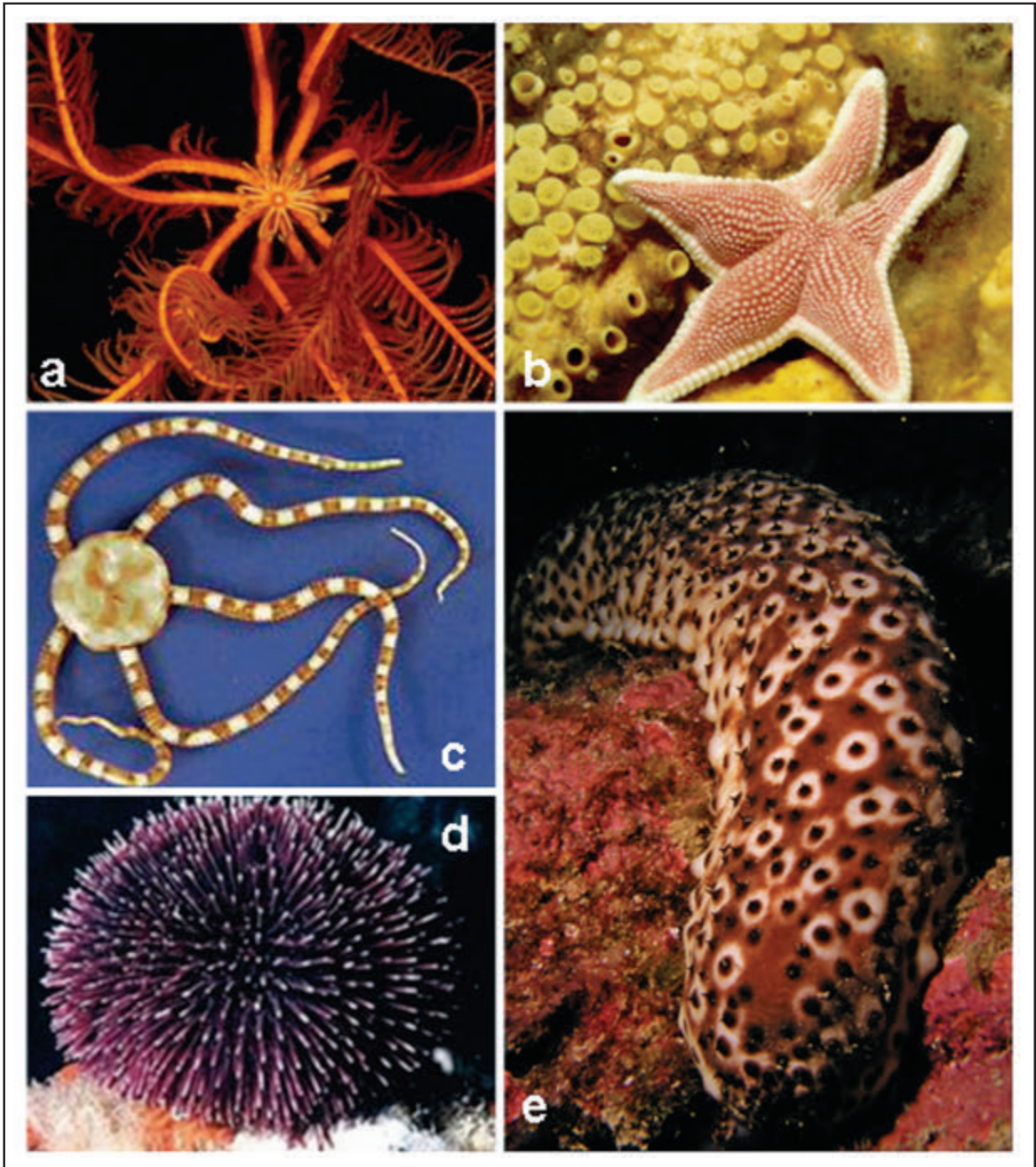


Figura 1: equinodermos. a) crinoideo: lirio; b) asteroideo: estrella; c) ophiuroideo: araña; d) equinoideo: erizo; e) holoturoideo: pepino (tomadas de internet).

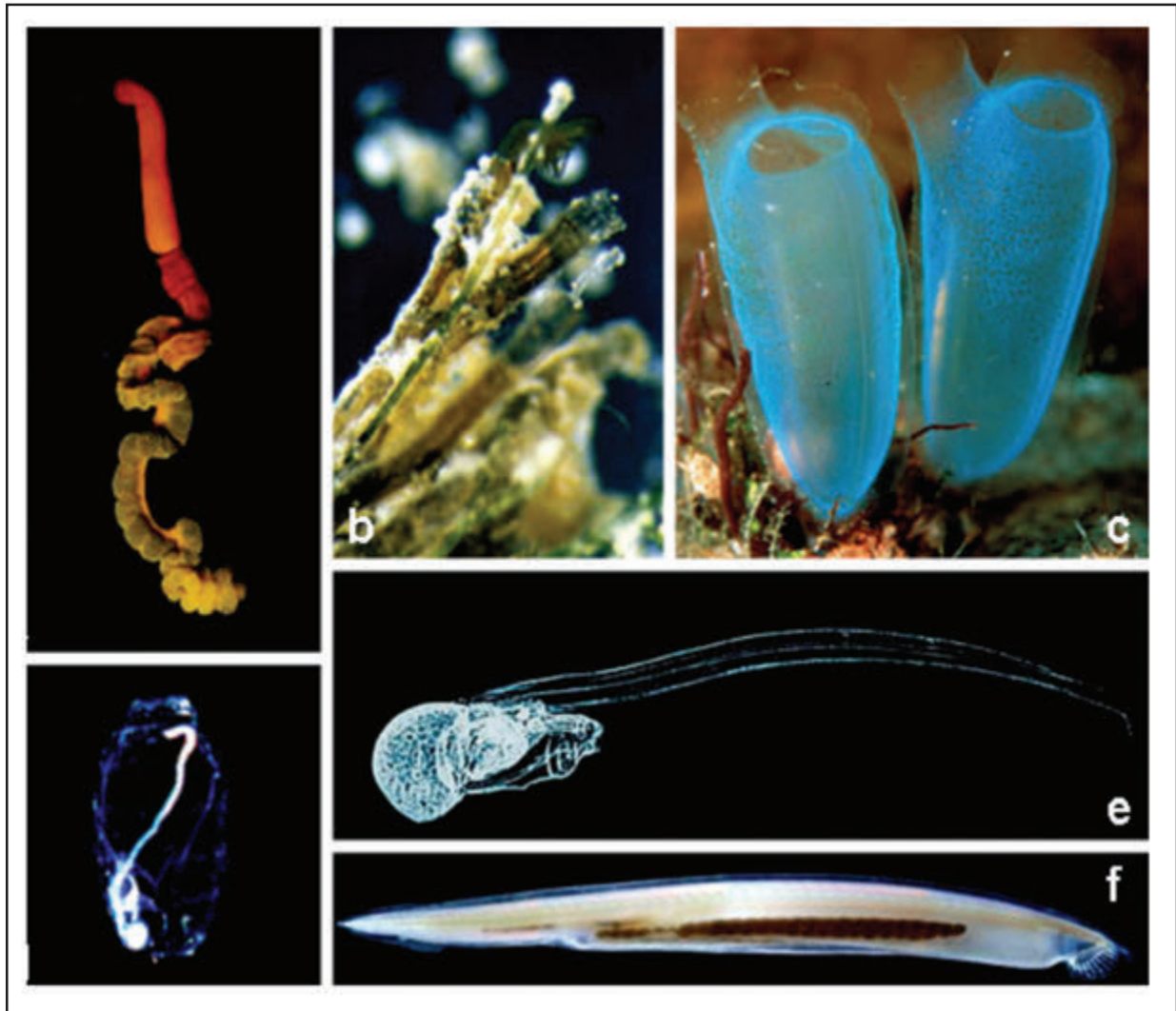


Figura 2: procordados: a-b, hemicordados; c-e urocordados; y f cefalocordados. a) enteropneusto, b) pterobranchia, c) ascidea, d) thaliacea, e) larvacea, f) anfioxo (tomadas de Internet).

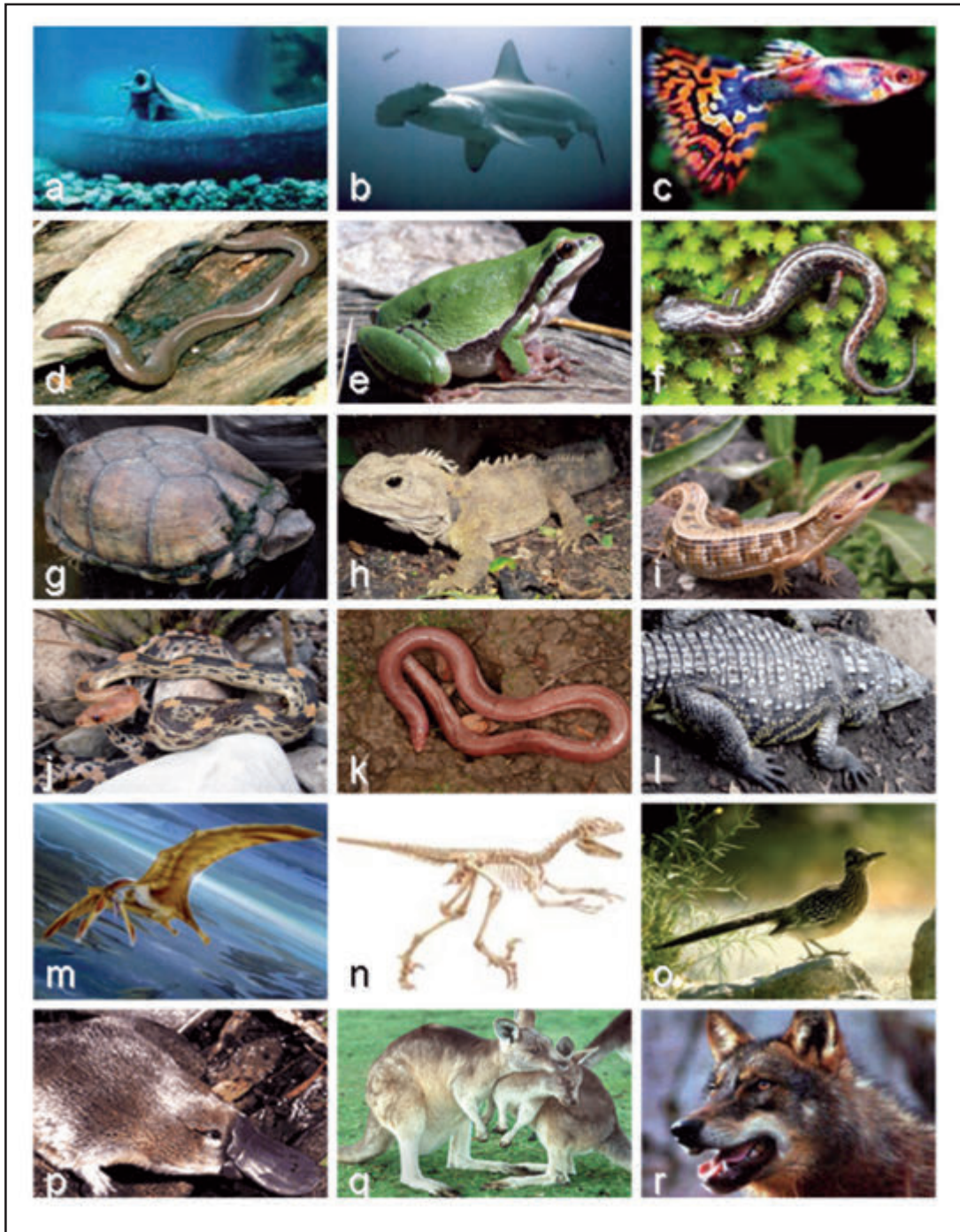


Figura 3: vertebrados, a-c: Pisces, d-f: Amphibia, g: Testudines, h-k: Lepidosauria, l-o: Archosauria, p-r: Mammalia. a) lamprea, b) peces cartilagosos, c) peces óseos/teleósteos, d) cecilias, e) ranas, f) salamandras, g) tortugas, h) tuátara, i) saurios, j) serpientes, k) anfibénidos, l) cocodrilos, m) pterosaurio, n) dinosaurio, o) ave, p) prototherio, q) metatherio, r) eutherio (tomadas de internet, excepto e-g, i-j: © L. Fernández-Badillo, y l: © J. Castillo-Cerón).

Fisiología vegetal

Nombre de los profesores:	Ana Laura López Escamilla Maritza López Herrera
Semestre en el que se imparte:	Séptimo
Número de horas/mana:	Siete
Número de créditos:	Once
Número de horas teóricas:	Cuatro
Número de horas prácticas:	Tres
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Biología de plantas I y Biología de plantas II
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Ecofisiología, Cultivo de tejidos vegetales y Fisiología vegetal avanzada (optativas)
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Ninguna
Objetivos del curso:	1. Que el alumno conozca los procesos y funciones que se llevan a cabo a nivel de células, tejidos y órganos en las plantas. 2. Que el alumno comprenda que los diversos procesos que realizan las plantas están relacionados entre si y conforman un todo. 3. Que el alumno integre los conocimientos adquiridos en el curso y desarrolle un tema sobre la aplicación de la fisiología vegetal dentro de un contexto social o científico.



Fisiología vegetal

Ana Laura López Escamilla y Maritza López Herrera

La fisiología vegetal es la ciencia que estudia los procesos y funciones de las plantas y su relación con su entorno. El conocimiento de esta disciplina nos permite comprender, desde las diversas rutas metabólicas que se desarrollan en las células, tejidos y órganos de las plantas y relacionarlos entre sí, hasta las respuestas más diversas que pueden presentar estos organismos a las diferentes condiciones ambientales.

Esta área del conocimiento nos permite comprender cómo las plantas han llevado a cabo diversas adaptaciones morfológicas en sus órganos: hojas, tallos y raíces; cómo tales adaptaciones están relacionadas con los procesos metabólicos que llevan a cabo y que les permiten sobrevivir en ambientes adversos o ser más eficientes en la captación y transformación de sus nutrientes (figura 1); cómo estos nutrientes son modificados para la producción de metabolitos secundarios que les son útiles para evitar ser depredadas por otros organismos (figura 2).

Asimismo, el estudio de la fisiología vegetal nos permite analizar las diversas respuestas que tienen las plantas en ambientes contrastantes que en ocasiones pueden ser adversos, y manifestarse como diferentes tipos de estrés tanto hídrico como térmico o a suelos alcalinos o básicos.

El curso está conformado de siete grandes temas que comprenden la revisión de la estructura de la planta, desde célula, tejidos, órganos y las rutas metabólicas que se llevan a cabo en los diferentes organelos celulares, y cómo se relacionan entre sí, a diferentes niveles.

Se hace énfasis en el desarrollo y fases de los procesos de fotosíntesis y respiración, haciendo referencia a las propiedades de la luz, la función y estructura de los cloroplastos, tipos de pigmentos fotosintéticos, el proceso de la planta para lograr transformar la energía luminosa, en energía química, a través de los fotosistemas y el transporte de electrones para la formación de moléculas energéticas, como el ATP y NADPH (teoría quimiosmótica), que serán incorporadas, junto con la fijación del CO₂ ambiental, a las rutas metabólicas, como el ciclo de Calvin, el ciclo de Krebs, fotorespiración, glucólisis, gluco-

neogénesis, entre otros, que finalmente se expresan en distintos tipos de fotosíntesis, como son C₃, C₄ y CAM, los cuales permiten a la planta su crecimiento y desarrollo (figura 3).

Para comprender el transporte y nutrición mineral, es necesario abordar el concepto del agua, sus propiedades fisicoquímicas y su función dentro de la célula vegetal, para posteriormente analizar el potencial químico y cómo desde el punto de vista de la fisiología vegetal, se emplea como potencial hídrico y los elementos que la conforman. De esta forma es posible explicar cómo la planta realiza la toma de agua por dos vías, apoplasto y simplasto, y la forma en que el agua es transportada a través del sistema suelo-planta-aire, por la diferencia de potenciales que existen dentro, y en el entorno de la planta. Dentro de este proceso se hace especial énfasis en los estomas que participan de una forma importante en el proceso de transpiración y movimiento del agua dentro de la planta.

Otro tema importante que se aborda en el curso es el crecimiento y desarrollo de las plantas, iniciando con el estudio y conocimiento de las semillas. Debido a que la semilla es la unidad de dispersión de las plantas, es necesario distinguir los diferentes tipos que hay y sus características morfológicas que inducen a este órgano a germinar rápidamente o entrar en periodos de latencia prolongada. Abordar estos aspectos nos permite dar paso al desarrollo del concepto de germinación y los requerimientos fisiológicos necesarios para estudiar este proceso. Para ello, es importante conocer desde la toma de agua por la semilla, hasta los procesos metabólicos en las diferentes fases de la germinación, lo que dará paso a analizar las diferentes etapas por las que pasa una planta durante su crecimiento y morfogénesis, hasta conformar un individuo.

Para llevar a cabo los procesos anteriormente señalados se requieren de nutrientes, y es necesario que la planta sea capaz de tomar los elementos esenciales (macronutrientes y micronutrientes) que están disueltos en el suelo, así como los mecanismos de absorción de éstos y algunos específicos, como el nitrógeno, que requieren de la asociación de bacterias para poder incorporarlo al metabolismo de la planta. Asimismo, se analizará

el efecto positivo y/o negativo que puede tener en las plantas la presencia excesiva o la ausencia de algún nutrimento.

A lo largo del crecimiento y desarrollo de la planta están presentes las fitohormonas, como auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico, entre otras, que van regulando las diferentes fases de su ciclo de vida, desde la germinación, desarrollo vegetativo, floración, fecundación, fructificación, hasta la senescencia (figura 4). Todas estas etapas son discutidas interrelacionando los temas anteriormente vistos para comprender a la planta como una unidad funcional.

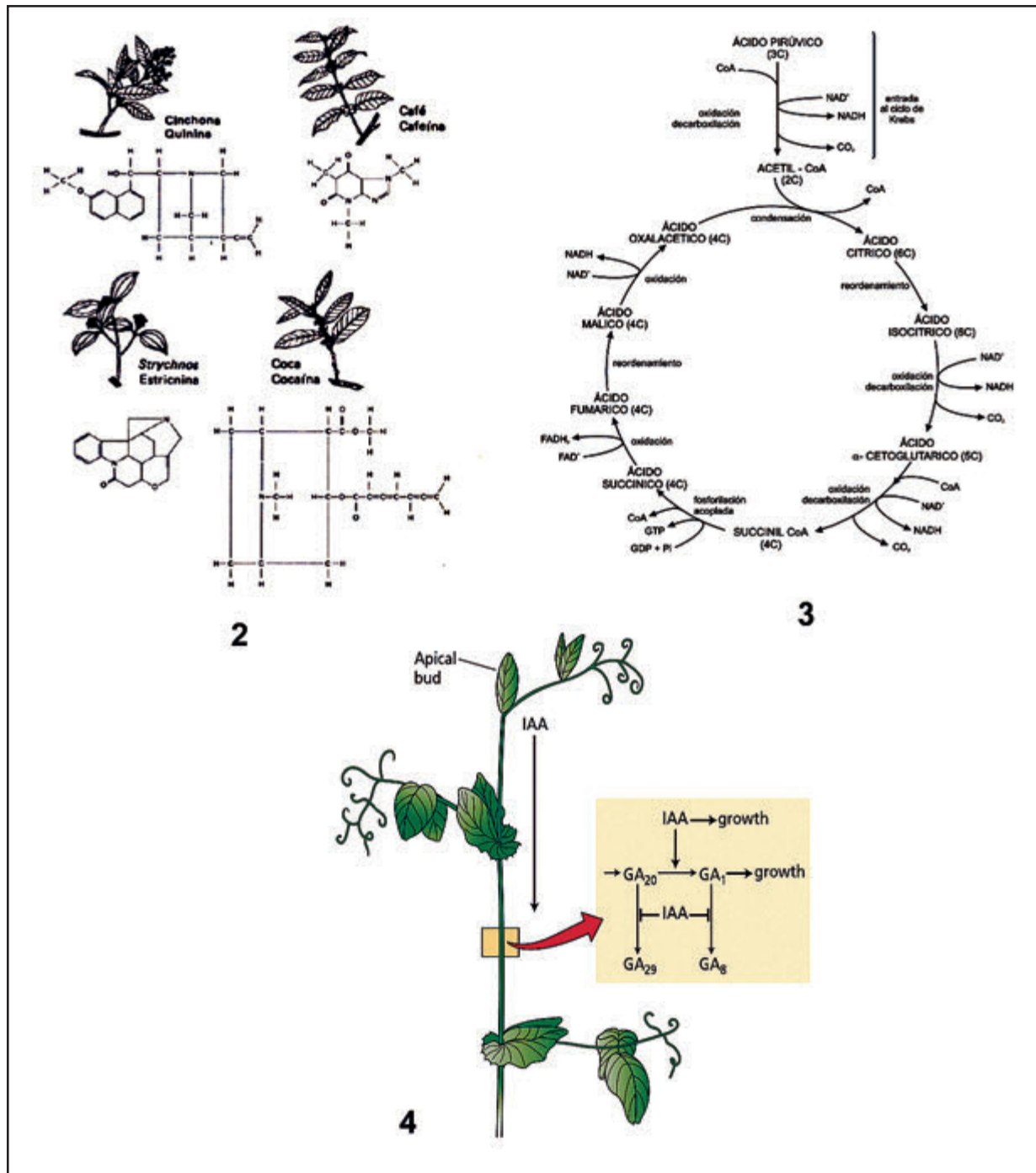
Finalmente, el alumno con los conocimientos adquiridos será capaz de investigar diversos temas en donde se aplique la fisiología vegetal, como pueden ser el mejoramiento de las plantas cultivadas, la respuesta a diferentes tipos de estrés, las adaptaciones que pueden presentar las plantas a diferentes ambientes, la interacción de las fitohormonas en las etapas del crecimiento y desarrollo de la planta, las condiciones de almacenamiento y pruebas de viabilidad en semillas, entre otros.

Literatura básica

- Boardman, N. K. 1977. *Comparative photosynthesis of sun and shade plants*. Annual Review of Plant Physiology 28: 253-286.
- Essau, K. 1972. *Anatomía Vegetal*. 2a. ed. Omega. Barcelona.
- Hartmann H. T, D. E. Kester, F. T. Davies, y R. L. Geneve. 1997. *Plant propagation: principles and practices*. 6a. ed. Prentice Hall. New Jersey.
- Hopkins, W. G. 2004. *Introduction to plant physiology*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Lambers, H., F. Stuart, y T. L. Pons. 1998. *Plant physiological ecology*. Springer. New York.
- Salisbury, F., y R. Parke. 1970. *Las plantas vasculares: forma y función*. Herrero Hnos. México, D. F.
- Taiz, L., y E. Zeiger. 2006. *Plant physiology*. 4a ed. Sinauer. Massachusetts.



Figura 1: las plantas han desarrollado adaptaciones morfológicas en hojas, tallos y raíces para poder sobrevivir en ambientes adversos. Tales adaptaciones están relacionadas con los procesos metabólicos que llevan a cabo (fotos: A. L. López Escamilla).



Figuras 2-4. 2: metabolitos secundarios presentes en las plantas. Fracción del esquema plantas alcaloideas (tomada de P. R. Ehrlich y P. H. Raven, 1967. Mariposas y plantas. Sci. Am., 216(6):106. Usado con permiso. Fracción tomada de Bidwell R. G. S. 1979. Fisiología vegetal); 3: ciclo de Krebs (tomada de S. Márquez y E. Zabala: <http://www.genomasur.com/lecturas/Guia09.htm>); 4: fitohormonas presentes en las plantas (tomada de: Plant physiology, 3a. ed. figura 20.20 ©, Sinauer Associates Inc.).

Fisiología animal comparada

Nombre del profesor:	María del Carmen González Rodríguez Othón Enrique Straffon Muris
Semestre en el que se imparte:	Séptimo
Número de horas / semana:	Seis
Número de créditos:	Nueve
Número de horas teóricas:	Tres
Número de horas prácticas:	Tres
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Biología de animales I, II y III, Biología del desarrollo, Biología celular, Bioquímica I y II
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Ninguna
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Ninguna
Objetivos del curso:	<ol style="list-style-type: none">1. El alumno obtendrá un contexto general de las funciones básicas en los diferentes grupos animales.2. El alumno será capaz de analizar los mecanismos y adaptaciones fisiológicas de los diferentes grupos animales en su historia evolutiva, que favorecieron la adaptación a diferentes ambientes y la diversidad actual.3. El alumno obtendrá herramientas para el manejo experimental y en cautiverio de los organismos aplicados a la salud y su domesticación.4. El alumno desarrollará habilidades de investigación para la preservación y manejo de los recursos faunísticos en la vida silvestre y en cautiverio.



Fisiología animal comparada

María del Carmen González Rodríguez

El estudio de fisiología animal comparada se enfocará en los procesos fisiológicos, físicos y químicos que caracterizan un organismo vivo. El propósito general de la materia es brindar al alumno un contexto general de las funciones básicas de los seres vivos, como base para apreciar la liga evolutiva común que conecta los diferentes grupos animales. El estudio incluye la identificación y análisis de las funciones de los animales y sus partes constituyentes, con la finalidad de comprender los mecanismos que actúan en los organismos vivos a todos los niveles de complejidad, abarcando desde el subcelular hasta el organismo integrado, tanto unicelular como multicelular (figura 1).

Al inicio del curso se introducen los conceptos generales de la fisiología y su relación con otras ciencias. También se considera la gran diversidad animal actual y cómo responden los sistemas biológicos al ambiente para conservar su homeostasis. Finalmente, se identificarán respuestas tales como las ecológicas (a corto plazo) o evolutivas (a largo plazo) para señalar especialmente las adaptaciones evolutivas que han servido para enfrentar los desafíos ambientales mediante la selección y especialización de funciones de cada tipo de organismo (figura 2).

El curso incluye el sistema nervioso, la piel y el tegumento, los mecanismos de locomoción, los sistemas de digestión y absorción, la respiración, la circulación, la excreción y la osmoregulación, regulación de la temperatura corporal y, finalmente, el sistema endócrino.

El estudio del sistema nervioso incluye los aspectos de la excitabilidad celular, la formación de redes neurales, la agregación de sistemas nerviosos simples (ganglionares, figura 3) presentes en invertebrados hasta llegar a la arquitectura neuronal lo más compleja con la especialización de funciones de los sistemas nerviosos de los vertebrados (figura 4). Además, se revisan los mecanismos sensoriales de los organismos, los tipos de receptores de estímulos ambientales (quimiorreceptores, mecanorreceptores, termorreceptores, etcétera) y los órganos de los sentidos.

Los sistemas de la piel y el tegumento son estudiados con relación a los diversos tipos de derivados

epidérmicos presentes en los diferentes grupos animales. Desde esta perspectiva, el estudiante podrá reconocer cada uno por sus adaptaciones al medio en el que se desarrollan (escamas, plumas, pelo, etcétera, figuras 5-7).

La locomoción es una función compleja, con aspectos únicos de cada tipo de organismo e involucra varios sistemas; por lo cual, el estudio de la locomoción se iniciará con movimiento ciliar y flagelar, propio de organismos unicelulares, y se continuará con los sistemas esquelético y muscular de los organismos multicelulares. Para entender los diversos tipos de locomoción, el estudiante debe enfocarse, no sólo en la anatomía, sino en las modificaciones que éstos presentan para llevar a cabo los movimientos. En el caso del sistema muscular, se estudian los tipos de músculo y su funcionamiento durante la contracción muscular desde el punto de vista bioquímico y eléctrico (figuras 8-9).

Otras funciones que se estudian en este curso, son la digestión y la respiración, en ambas funciones se revisan las partes constituyentes de los aparatos digestivo y respiratorio, respectivamente, además de analizar los procesos de digestión y absorción de nutrientes intra y extracelular, analizando también las estrategias alimentarias desarrolladas por los diferentes grupos animales (figura 10).

De la misma forma, se estudian los mecanismos de intercambio de gases en todos los niveles (respiración celular y ventilación). También se estudian los diferentes tipos de pigmentos respiratorios y cuál es la diferencia entre ellos. Del mismo modo, se estudian los tipos de respiración que presentan los animales, como traqueal, branquial, pulmonar o cutánea, según sea el caso (figuras 11-14). Asimismo, se analizan los mecanismos fisiológicos que les permiten a las especies adaptarse a condiciones desfavorables en cuanto a disponibilidad de oxígeno.

La circulación, la excreción y la osmoregulación son también abordadas en este curso. En cuanto a la circulación, se revisan los tipos de aparatos circulatorios que existen (abiertos y cerrados, figuras 15-17), la evolución y desarrollo del corazón y la estructura de los tubos circulatorios

(venas y arterias). Además, se estudia la función circulatoria en relación a la distribución de nutrientes y aportación de oxígeno a los tejidos y células, así como la estructura celular de la sangre.

En lo que se refiere a la excreción, se analizan los sistemas excretores desde el nivel unicelular, protonefridial, hasta el renal, considerando los tipos de desechos nitrogenados presentes tanto en invertebrados como en vertebrados. La osmorregulación, por su parte, se estudia como uno de los mecanismos más importantes para mantener las concentraciones necesarias de solutos y agua para la supervivencia de la célula en primera instancia, y del organismo en su totalidad.

Se abordan los mecanismos de regulación de la temperatura que se han desarrollado a lo largo de la evolución biológica, así como los responsables de la pérdida o ganancia de calor, tomando como base la actividad metabólica de los organismos.

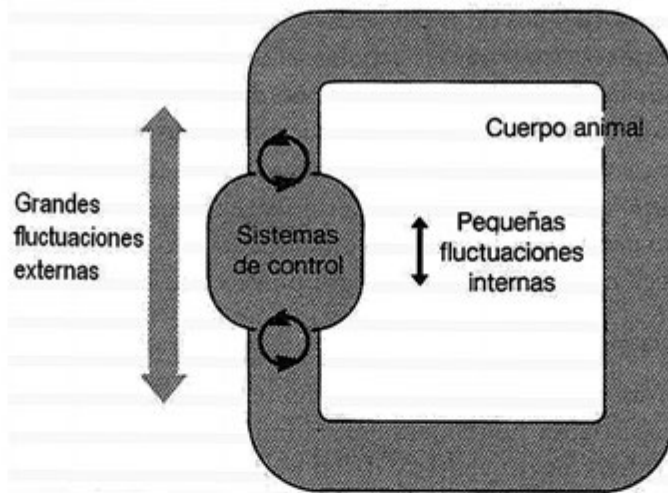
Se identificará el efecto de la temperatura sobre los organismos, lo que permitió desarrollar adaptaciones como el sueño, torpor, hibernación y estivación, entre otros (figura 18).

Finalmente, se considera el sistema endócrino,

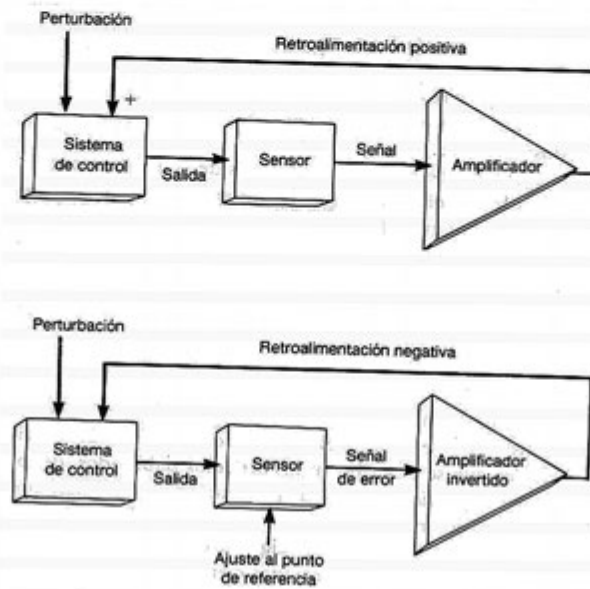
como un sistema de regulación fisiológica por su influencia con la mayor parte de las funciones antes descritas (figura 19). El organismo se presenta como un complejo de sistemas, funcionando en conjunto para adaptarse a diversas condiciones ecológicas, mantener y conservar su homeostasis y, en términos evolutivos, para producir la diversidad animal actual.

Literatura básica

- Eckert, R. 1990. *Fisiología animal: mecanismos y adaptaciones*. 3a. ed. Interamericana. Mc. Graw Hill. Madrid.
- Mc. Farland, W. N., y F. H. Pough. 2001. *Vertebrate life*. McMillan, Publishing Co. London.
- Romer, A. S. 1987. *Anatomía comparada (vertebrados)*. Interamericana. México, D. F.
- Ham, A. W. 1985. *Tratado de histología*. Interamericana. México, D. F.
- Prosser, L. 1991. *Neural and integrative animal physiology*. Wiley Liss. New York.
- Young, J. Z. 1999. *The life of vertebrates*. Oxford University Press. USA.

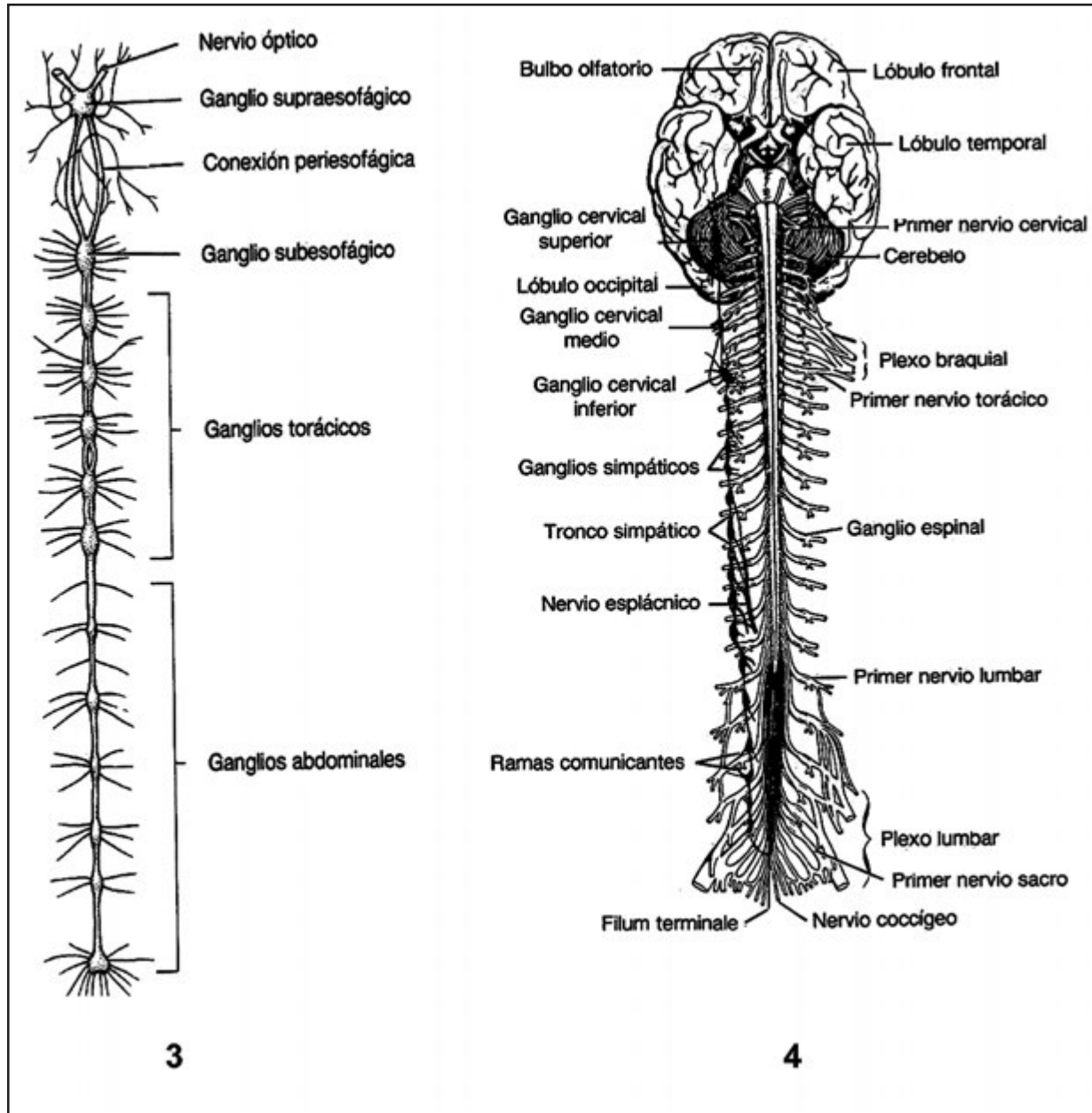


1

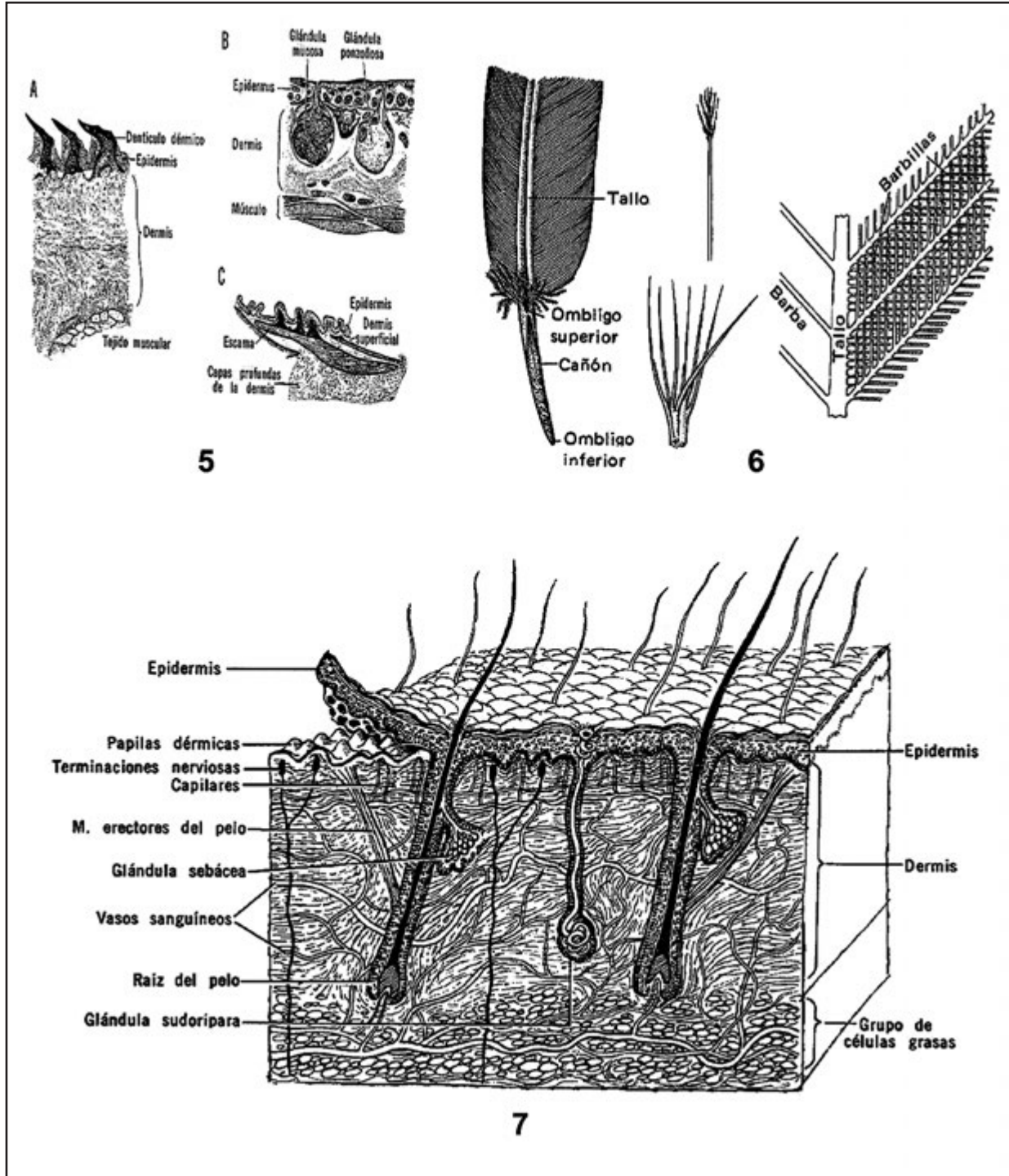


2

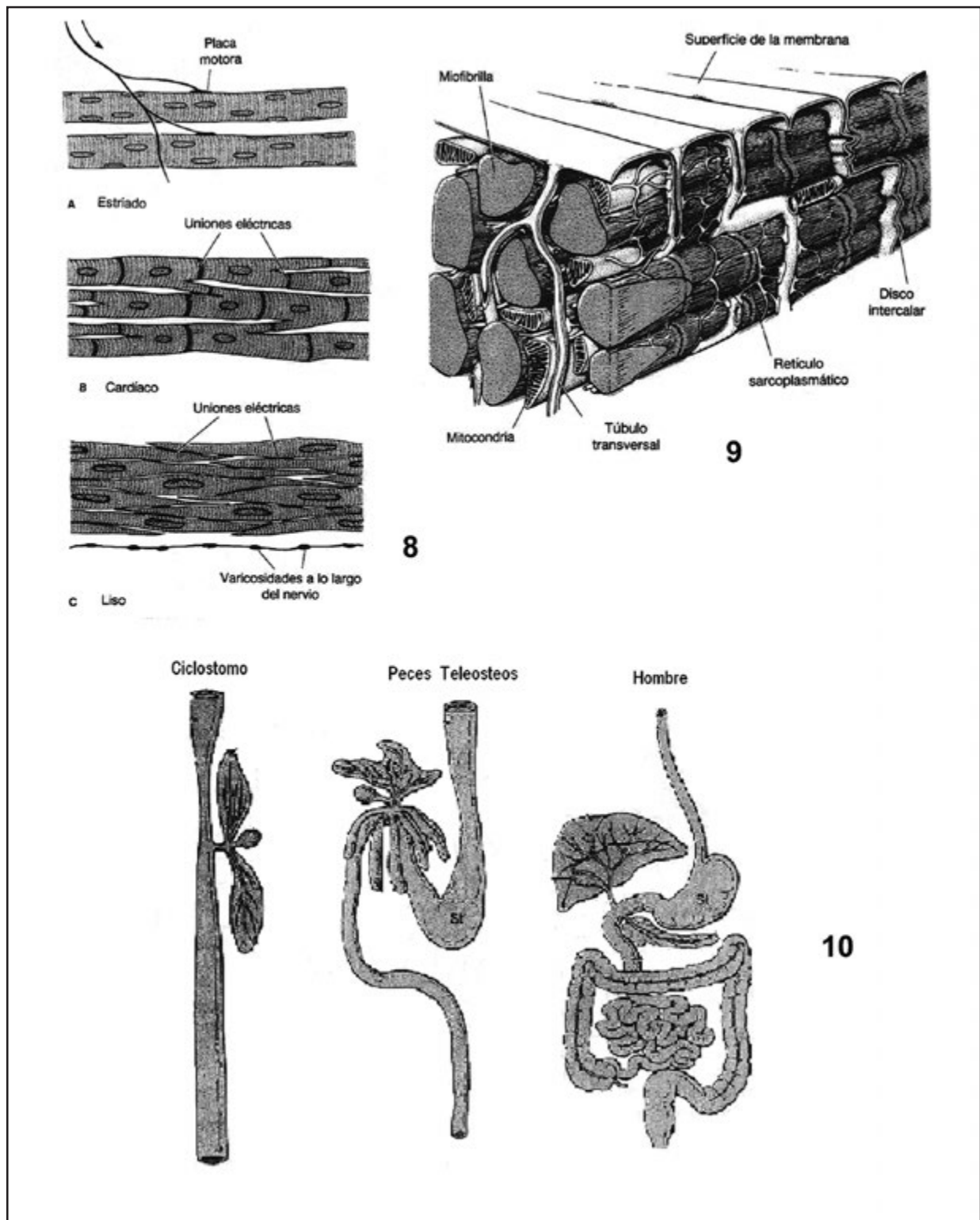
Figuras 1-2. 1: sistemas reguladores fisiológicos; 2: elementos básicos de los sistemas de retroalimentación (tomadas de Eckert, 1990).



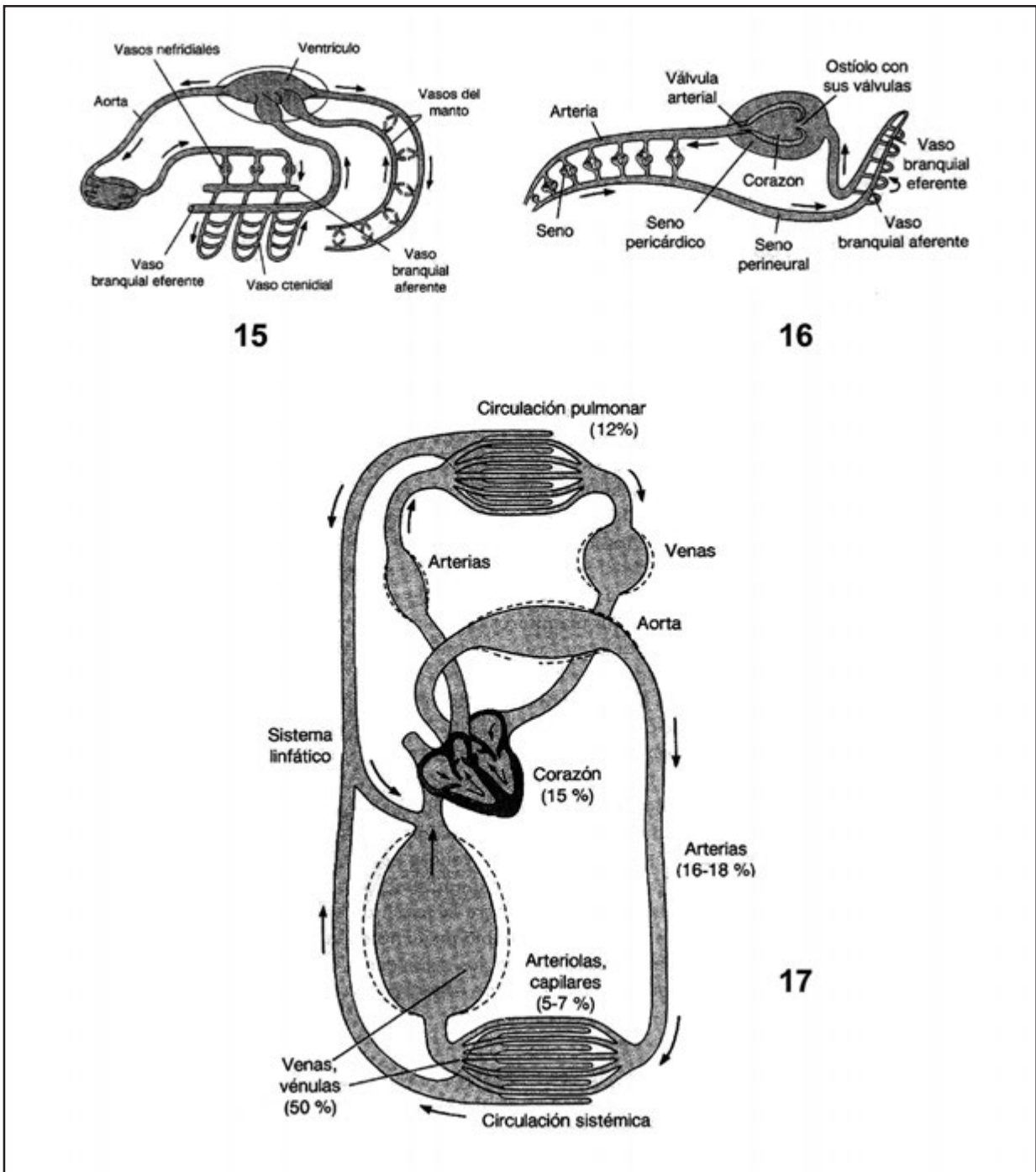
Figuras 3-4. 3: cordón ventral de langosta, *Homarus* sp.; 4: visión ventral del encéfalo y médula espinal del hombre (tomadas de Eckert, 1990).



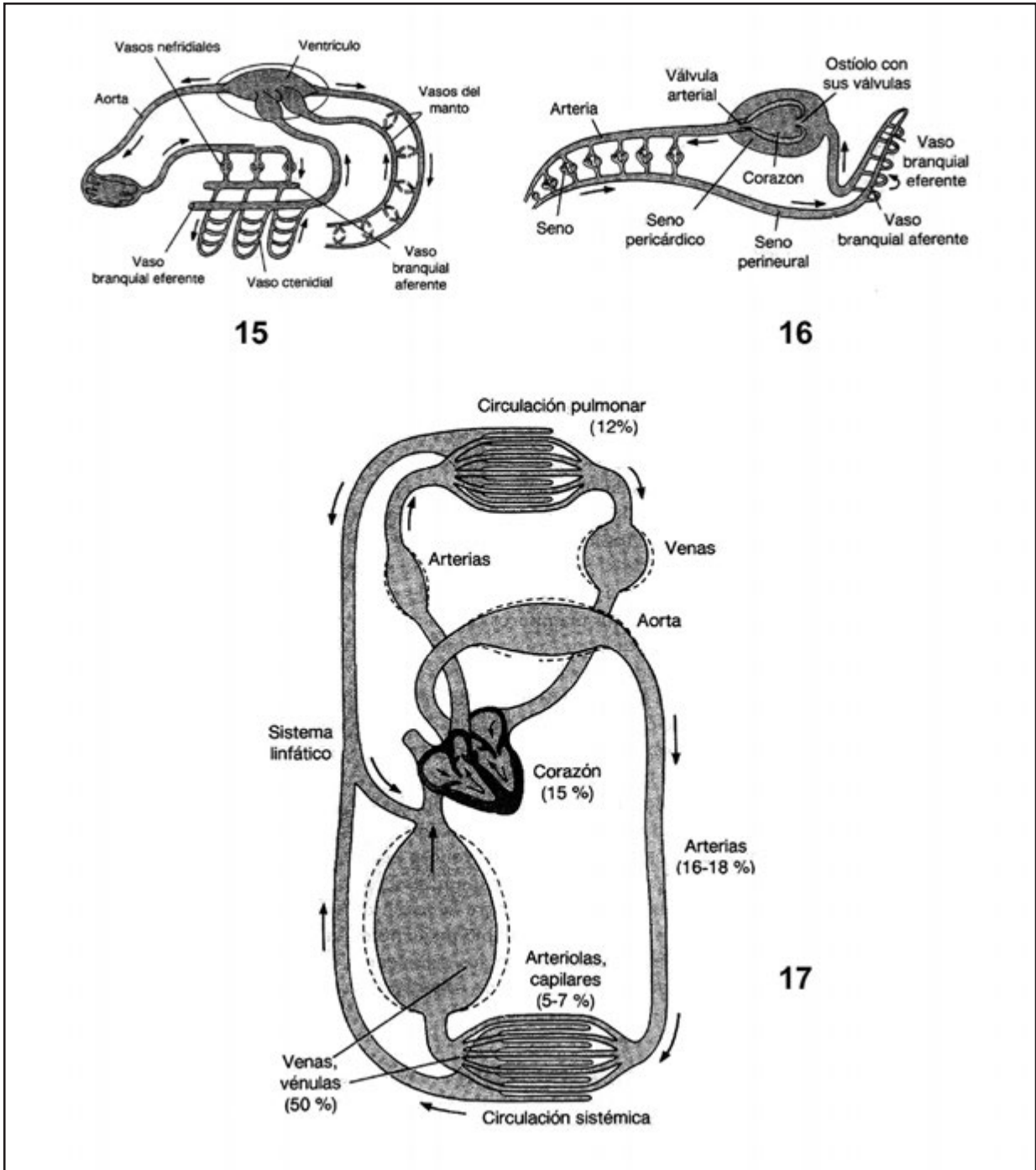
Figuras 5-7. 5: cortes de piel. A: tiburón; B: salamandra; C: teleósteo; 6: estructura básica de las plumas. A: partes; B: filopluma; C: plumón; D: unión entre las barbillas; 7: corte de piel de mamífero (tomadas de Romer, 1973).



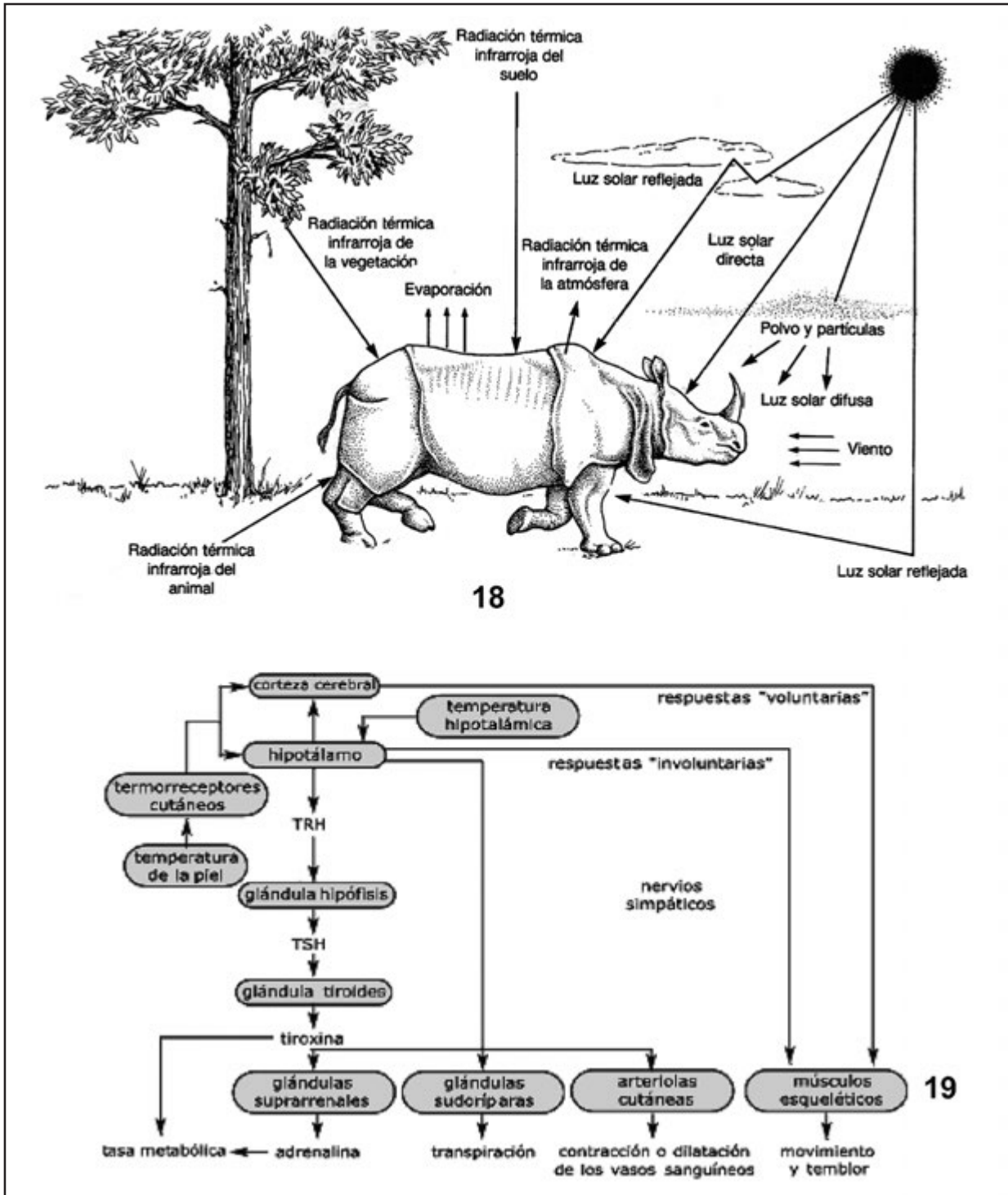
Figuras 8-10. 8: las tres clases de músculo de los vertebrados. A: estriado; B: cardíaco; C: liso; 9: estructura detallada de músculo cardíaco ventricular; 10: tractos digestivos de diferentes vertebrados (tomadas de Eckert, 1990).



Figuras 11-14. 11: estructura de una tráquea; 12: vista parcial de los arcos branquiales; 13: estructura del pulmón de mamífero; 14: diagrama de la molécula de hemoglobina (tomadas de Eckert, 1990).



Figuras 15-17: diferentes tipos de sistemas circulatorios. 15: molusco; 16: cangrejo de río; 17: circulación en los mamíferos, los porcentajes indican la proporción de la sangre en las diferentes regiones (tomadas de Eckert, 1990).



Figuras 18-19. 18: Vías de transferencia de calor entre un animal y su ambiente; 19: sistema de regulación endocrina (tomadas de Eckert, 1990).

Temas selectos

Macrofungi

Nombre de los profesores:	Ángel Moreno Fuentes Leticia Romero Bautista
Semestre en el que se imparte:	Séptimo a noveno
Número de horas / semana:	Cuatro
Número de créditos:	Seis
Número de horas teóricas:	Dos
Número de horas prácticas:	Dos
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Biología de hongos
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Etnomicología
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Ninguna
Objetivos del curso:	1. Profundizar e integrar los diferentes tópicos de la micología dirigida a los hongos macroscópicos. 2. Identificar y diferenciar los principales grupos taxonómicos con importancia ecológica y antropológica. 3. Valorar y reconocer el conocimiento tradicional que se desprende de la interacción entre el reino Fungi y la especie humana. 4. Comprender el papel que desempeñan los hongos macroscópicos en los ecosistemas y sus atributos poblacionales, y reflexionar sobre su diversidad y estrategias de conservación. 5. Brindar un marco teórico y conceptual acerca de la biotecnología en hongos, con especial énfasis en el cultivo experimental de hongos macroscópicos.



Macrofungi

Ángel Moreno Fuentes

El grupo de los hongos, conocido en el medio científico como Fungi, constituye, después de los insectos, el taxón más biodiverso en el macrogrupo eucarionte, según estimaciones realizadas en los últimos años. Empero es, paradójicamente, un conjunto de organismos poco conocido en cualesquiera de las esferas del conocimiento al que uno se aproxime. Ello tiene que ver con cuatro factores fundamentales: la poca atención que recibieron durante varios siglos, la relativamente reciente autonomía de la disciplina con respecto a la botánica, la naturaleza de la biología de estos organismos, y en general, la reducida cantidad de micólogos en relación al número de botánicos y zoólogos en el orbe; situación que asimismo se reproduce en México (Moreno-Fuentes *et al.*, en preparación).

Los hongos tienen un enorme impacto en los ecosistemas y en sus procesos biológicos, ya que dependiendo de la naturaleza de sus especies, son capaces de establecer relaciones mutualistas con aproximadamente el 90 % de las familias de plantas superiores y con algunos insectos. Asimismo, tienen la capacidad de degradar anualmente millones de toneladas de material biológico muerto, y regular las poblaciones vegetales y animales a través del parasitismo, ya sea de carácter biótrofo o necrótrofo. En el hombre y su cultura, su incidencia es incuestionable, ya que a lo largo de la historia (y probablemente también de la prehistoria), han sido elementos importantes en la generación del fuego, en el alivio de sus enfermedades, en la mitigación de su hambre y sed (pero también en la contaminación de sus alimentos), en sus rituales y espiritualidad, e incluso, aunque en menor grado, han sido motivo de intoxicaciones letales o no, alrededor del mundo, tanto en épocas pasadas y presentes, ocasionando algunas hambrunas. En ocasiones su impacto ha sido tal, que ha condicionado el rumbo de la historia de diversos pueblos alrededor del mundo. En la ciencia en general, han cobrado particular preponderancia como modelos experimentales en áreas como la genética y la fisiología.

Una clasificación práctica de los hongos, aunque artificial, es aquella que reconoce dos grandes grupos: los hongos macroscópicos (macromicetos)

y los microscópicos (micromicetos). Dicho criterio se basa simplemente en si los esporomas de estos organismos pueden ser o no vistos a simple vista; se trata de una división artificial, que no obstante se usó durante mucho tiempo, y que hoy en los cursos de micología se vuelve necesario precisar.

Con este antecedente, podemos afirmar que macromiceto o macrofungi (figuras 1-3), tiene la misma connotación. Por ello, esta materia recibe el segundo nombre, haciendo alusión al estudio de los hongos macroscópicos, según un enfoque integral en función de cuatro ejes fundamentales: sistemática y taxonomía, ecología, etnomicología y biotecnología.

Es importante que aquellos estudiantes interesados en los hongos, continúen su desarrollo académico, conociendo con mayor profundidad y amplitud otros aspectos de este grupo biológico, en este caso el de los hongos macroscópicos.

El curso inicia con un análisis y reflexiones acerca de los distintos conceptos de especie que se han propuesto para el caso de los hongos; asimismo, se transmite al estudiante la diferencia entre la sistemática y la taxonomía, así como sus puntos coexistentes, con el fin de que manejen los conceptos adecuadamente. Este hecho conduce como consecuencia a realizar una revisión breve del desarrollo de la sistemática y taxonomía de los hongos, que tiene como parteaguas la figura y contribuciones de Micheli, considerado el patriarca de la micología.

En este orden de ideas, también se discute el concepto de especie genérica (concepto tradicional según una óptica etnobiológica), así como otras jerarquías propias de las taxonomías tradicionales.

Se hace especial hincapié en la diversidad morfológica de los macromicetos, según los principales grupos taxonómicos; se señala su diversidad ecológica y se hace referencia a la diversidad aprovechable. Se presentan también las distintas cifras en relación a las estimaciones que hay hasta el momento, acerca del número de especies que debe existir en el planeta.

De igual manera, se abordan diferentes clasificaciones basadas en filogenias, en las cuales están involucrados la mayor parte de estos hongos

macroscópicos, por lo que se tiene consecuentemente una aproximación a la sistemática molecular del grupo.

Algo importante del curso, es que se abordan las características generales que distinguen a las diferentes categorías jerárquicas, con especial énfasis en las características macroscópicas y microscópicas de los géneros actualmente reportados en nuestro país y particularmente en el estado de Hidalgo, en relación a las divisiones Basidiomycota, Ascomycota y Lichenes.

También se instruye al alumno en el manejo y construcción de claves taxonómicas dicotómicas, y se le hace conciencia de la necesidad que el país tiene de este tipo de documentos, ya que hasta el momento son muy pocas las que existen en relación con la magnitud teórica de la diversidad con la cual se cuenta. Adicionalmente, el alumno recibe instrucción de las técnicas de recolecta apropiadas, de descripción macroscópica y microscópica, del procesamiento adecuado de los materiales y su deshidratación, así como de su debida incorporación y curación en una colección científica. Asimismo, se le capacita para elaborar las bases de datos respectivas, además de su curación y actualización.

En la parte ecológica se abordan algunos métodos y técnicas para su estudio en estos aspectos, hablando también de la importancia de conocer sus distintos atributos ecológicos particulares, contemplando también instrumentos para medir su diversidad, como son los índices de este tipo (diversidad).

Con relación a su fisiología y desarrollo, se abordan aspectos como el desarrollo de la espora, micelio y esporomas, analizando también las distintas formas de dispersión. Se discute y reflexiona sobre su conservación y legislación desde distintas perspectivas, con mención de las

problemáticas particulares a este respecto para el caso de México.

Se señalan los aspectos históricos, culturales y comerciales de estas formas de vida, tanto de sus formas silvestres como cultivadas. Este último punto nos conduce al terreno de la biotecnología, la cual ha diversificado en los últimos años sus líneas de trabajo e investigación. Se ilustra de manera concreta y a manera de ejemplo, el caso de la producción de biomasa fúngica, como alimento rico en proteínas (figura 2), a nivel mundial, para lo cual se abordan los antecedentes históricos mundiales y nacionales acerca de esta importante actividad humana; se señala paralelamente la pertinencia de abrir la investigación en este terreno a especies de hongos con gran arraigo cultural en México, en especial en Hidalgo. Finalmente, se abordan los sistemas y tecnologías de producción actualmente utilizadas en México y en el mundo.

Literatura básica

- Guzmán, G. D. Mata, C. Salmones, Soto Velazco, y L. Guzmán Dávalos. 1993. *El cultivo de los hongos comestibles*. Instituto Politécnico Nacional. México, D. F.
- Moreno-Fuentes, A., N. Hernández Rico, E. Bautista Nava, e I. Goyenechea Mayer (en preparación). *Estatus del conocimiento acerca de los hongos macroscópicos en el estado de Hidalgo*.
- Moreno-Fuentes, A. 2005. *Tópicos actuales acerca de hongos macroscópicos. Bases para su aprovechamiento y conservación* (Presentación). Memorias del Curso Breve de Especialización con Carácter Teórico Práctico. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo.



1



2



3

Figuras 1-3. 1: esporoma de un hongo macroscópico recolectado en Chiapas durante el 2007 (tomada de: www.portafolioblog.com); 2: cultivo de *Pleurotus floridanus* (tomada de Guzmán *et al.*, 1992); 3: esporoma de *Collybia* (foto: L. Romero Bautista).

Cultivo de macromicetes

Nombre del profesor:	Leticia Romero Bautista
Semestre en el que se imparte:	Séptimo, octavo
Número de horas / semana:	Cuatro
Número de créditos:	Seis
Número de horas teóricas:	Dos
Número de horas prácticas:	Dos
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Biología de hongos y Genética
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Ecología de comunidades y ecosistemas, Sistemática, Biología de la conservación, Recursos naturales de México
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Etnomicología y Macrofungi
Objetivos del curso:	<ol style="list-style-type: none">1. Aportar información histórica del cultivo de los hongos a nivel mundial y nacional, a través del análisis de la producción de las diversas especies.2. Enfatizar los hábitos de vida, así como la importancia ecológica de las especies silvestres potencialmente cultivables.3. Revisar la tecnología básica para su producción.4. Resaltar la importancia económica de las especies cultivables, así como aspectos sobre su comercialización.



Cultivo de macromicetes

Leticia Romero Bautista

La biotecnología se define como toda aplicación tecnológica que utiliza recursos biológicos, organismos vivos o sus derivados, para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos.

El término “cultivo de hongos”, hace referencia al sistema agrícola intensivo que se realiza bajo condiciones controladas, sobre sustratos que corresponden a residuos agrícola-industriales y representa una importante industria biotecnológica económica que se ha expandido considerablemente. A manera introductoria, el curso retoma el concepto de hongo y resalta la importancia del ciclo de vida para entender cada una de las fases del proceso de producción.

De la misma forma, se presenta el número total de especies que se calcula deben existir en el planeta, así como también las cifras que se desprenden de este cálculo, en cuanto a las que forman cuerpos fructíferos, las comestibles, las tóxicas, las que tienen potencial de cultivo, y las que se cultivan actualmente a diferentes escalas de producción.

Cabe mencionar que uno de los mayores problemas a los que se enfrenta la producción de hongos, es que son pocas las especies que pueden cultivarse cuando se comparan con la gran diversidad de especies que gozan de prestigio gastronómico y/o medicinal, esto debido a su naturaleza micorrizógena. El conocimiento biológico es aún limitado en lo referente a aspectos fisiológicos, genéticos y moleculares, principalmente, de los que dependerá la tecnología particular para cada especie.

La utilización de los hongos por las sociedades desde tiempos antiguos, es resultado de experiencias empíricas transmitidas mediante mecanismos no formales a través de las generaciones. De este modo, lo que ellos practicaron puede ser visto como el “arte” de los biotecnólogos; el cultivo de los hongos comestibles es un ejemplo de ello, si consideramos que la tecnología basada en su actividad degradante o sintética, forma una parte integral de la sociedad humana.

Por lo anterior, se le proporciona al alumno información acerca del desarrollo histórico del

cultivo de los hongos a nivel mundial y nacional, al considerar que es una actividad que se desarrolla desde hace más de doscientos años en Europa con el champiñón (*Agaricus* sp.), y en Asia con shiitake (*Lentinula* sp.) y oreja (*Auricularia* spp.). Actualmente, las tendencias de producción del mercado mundial giran en torno a especies que conjugan su valor por sus propiedades nutrimentales y medicinales vinculadas con la tecnología de producción.

Se resaltan los aspectos ecológicos, reproductivos y necesidades nutrimentales de los hongos en los procesos de crecimiento y fructificación. Éstos requieren de la combinación de factores físicos, tales como la temperatura, luz, oxígeno y dióxido de carbono, cuyos valores y concentraciones óptimas varían en función de la especie y de la etapa en que se encuentren para poder determinar la biotecnología específica, es decir, la biología de cada especie determina su biotecnología.

El micelio debe tener a su disposición la fuente de carbono que constituye la base nutricional. Todos los hongos necesitan este tipo de fuente dado que están desprovistos de clorofila, y no pueden realizar la fotosíntesis. Por ese motivo pueden vivir y prosperar sobre materia orgánica muerta, esto es, extraer su fuente de carbono y demás nutrientes de sustratos como el aserrín y la paja, entre otros. Cualquier residuo de la agroindustria puede ser factible de ser utilizado para este fin. Las necesidades de nitrógeno pueden cubrirse con las proteínas y aminoácidos que resultan de la descomposición químico-biológica de cuerpos orgánicos (harinas, granos de cereales, estiércol, o simplemente urea).

Las fructificaciones de los macromicetes son apreciadas por su agradable sabor y por sus propiedades nutrimentales. Sin embargo, en las últimas décadas se han destacado además por su contenido de sustancias relevantes para la industria farmacéutica, como saborizantes e insecticidas, por lo que su potencial está aún lejos de ser ampliamente explotado.

El cultivo comercial parte de diferentes etapas: desde la obtención de carpóforos en campo, la obtención de la cepa (figuras 1-2), la preparación

del inóculo (figura 3) que es la propagación de micelio en semilla; de aquí se desprende su nombre comercial “semilla de hongo”.

Otra fase del proceso es la siembra del inóculo en diferentes sustratos, como la paja de cebada (figura 4). El objetivo se logra cuando se obtiene una eficiencia biológica considerable con cuerpos fructíferos frescos, carnosos y libres de plagas y/o enfermedades (figura 5); éstas últimas también se revisan en el curso.

El alumno pone en práctica cada una de estas fases en el laboratorio de Micología, así como a través de visitas a naves de producción, donde el alumno tiene la oportunidad de visualizar a una escala mayor, así como observar los problemas de carácter físico, químico, biológico y técnico que se llegan a presentar en estos sitios.

Se revisan y analizan presupuestos de inversión, canales de comercialización, formas de presentación del producto y el valor agregado de algunos derivados del proceso.

Se enfatizan las propiedades nutrimentales y medicinales de las especies cultivadas y cultivables; se resaltan aspectos culinarios del producto, y finalmente se prepara una degustación (figura 6), que permite apreciar la gran cantidad de platillos que se pueden preparar, la forma de hacerlo y estimar la gama de sabores y de aromas que presentan estos organismos.

Con base en lo anterior, el alumno comprenderá que el papel de la biotecnología de producción de hongos comestibles en la seguridad y soberanía alimentaria de México, será fundamental para fortalecer la sostenibilidad agrícola mediante el aprovechamiento y reciclaje de subproductos agroindustriales y forestales; para obtener un alimento humano socialmente aceptado de alto valor medicinal, proteínico, y comercial; y para incrementar la rentabilidad de los cultivos agrícolas.

Literatura básica

- Chang, S. T., J. A. Buswell, y S. W. Chiu (eds.). 1993. *Mushroom products. The Chinese*. University Press. Hong Kong.
- Chang, S. T., y P. G. Miles. 2004a. *Mushrooms, cultivation, nutritional value, medicinal effect, and enviromental impact*. 2a. ed. CRC PRESS. Florida.
- Chang, S. T., y P. G. Miles. 2004b. *Mushroom biology: anew discipline*. *Mycologist* 6: 64-65.
- Martínez-Carrera, D. 2000. *Mushroom biotechnology in tropical America*. *International Journal of Mushroom Sciences* 3: 9-20.
- Martínez-Carrera, D., A. Larqué, M. Aliphath, A. Aguilar, M. Bonilla, y W. Martínez, 2000. *La biotecnología de hongos comestibles en la seguridad y soberanía alimentaria de México*. II Foro Nacional sobre Seguridad y Soberanía Alimentaria. Academia Mexicana de Ciencias-CONACYT. México, D. F.
- Martínez-Carrera, D., R. Leben, P. Morales, M. Sobal, y A. Larqué Saavedra. 1991. *Historia del cultivo comercial de los hongos comestibles en México*. *Ciencia y Desarrollo (CONACYT)* 96: 33-43.
- Sánchez, D., D. Martínez-Carrera, G. Mata, y H. Leal (eds.). 2007. *El cultivo de setas Pleurotus spp. en México*. ECOSUR-CONACYT. México, D. F.
- Singh, J., y K. R. Aneja (eds.). 1999. *From ethnomycology to fungal biotechnology. Exploiting Fungi from natural resouces for novel products*. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York.
- Staments, P. 2000. *Growing gourmet and medicinal mushrooms*. Ten Speed Press. Berkeley.
- Staments, P., y J. S. Chilton. 1983. *The mushroom cultivator a practical guide to growing mushrooms at home*. Olympia, Washington Agarikon. USA.
- Watling, R. 1997. *The business of fructification*. *Nature* 385: 299-300.



Figuras 1-6. 1-2: aislamiento y obtención de cepas; 3: obtención de inóculo; 4: siembra de inóculo (nave de producción, Estanzuela, Mineral del Chico, Hidalgo); 5: fructificación (*Pleurotus ostreatus*); 6: IV muestra gastronómica (fotos: L. Romero Bautista y M. Valdez Romero).

Variación morfológica vegetal para análisis filogenéticos

Nombre del (de los) profesor(es):	Claudia T. Hornung Leoni
Semestre en el que se imparte:	Séptimo, octavo y noveno
Número de horas / semana:	Cuatro
Número de créditos:	Seis
Número de horas teóricas:	Dos
Número de horas prácticas:	Dos
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Sistemática, Biología de plantas I, II y III
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Ninguna
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Otros temas selectos
Objetivos del curso:	<ol style="list-style-type: none">1. Explorar la variación morfológica en grupos de plantas.2. Búsqueda de caracteres a partir de diversas estructuras.3. Analizar y categorizar la obtención de caracteres morfológicos.4. Preparar al estudiante para la codificación de caracteres morfológicos con un enfoque filogenético.



Variación morfológica vegetal para análisis filogenéticos

Claudia T. Hornung Leoni

Este curso optativo se plantea como una opción para familiarizar al estudiante con la codificación de caracteres morfológicos para ser empleados en la reconstrucción filogenética, con el objetivo final de obtener una matriz para este tipo de análisis; además de ser una herramienta para el análisis y comprensión de la morfología, como una aproximación al estudio de su variación en plantas, por lo que el estudio de caracteres morfológicos puede ser empleado igualmente para otro tipo de análisis (ejemplo: descriptivo, estadístico, morfométrico, etcétera). El curso se inicia con la introducción a los conceptos básicos que serán necesarios a lo largo de las clases, con la presentación de la clasificación de los grupos de plantas, y se mencionan las nuevas propuestas y cambios realizados a la taxonomía tradicional. La cátedra se basa principalmente en el estudio de la variación morfológica en un grupo taxonómico determinado, para la realización de una matriz de datos.

La morfología ha sido fundamental en los estudios de la taxonomía y la clasificación de la diversidad vegetal. Los inicios de la clasificación de las plantas comenzaron con el sistema binomial propuesto por Linneo en 1793, en su obra *Species Plantarum*, en donde se propuso un sistema de clasificación basado en la descripción de la variación y forma de los caracteres morfológicos, es decir, agrupando taxa por similitudes morfológicas (Jones, 1988). Sin embargo, la clasificación ha tenido recientemente una gran cantidad de cambios nomenclaturales importantes, basados en estudios filogenéticos (APG, 2003).

La morfología ha sido objeto de cuestionamiento, dada una serie de argumentos en contra, como el bajo número de caracteres en relación con otras fuentes de datos como los moleculares. Sin embargo, aún y cuando éstos últimos son muy útiles para la reconstrucción filogenética, la discusión de morfología vs. moléculas ya ha pasado su punto crítico muy en auge en los años 80-90. Actualmente la tendencia es combinar diversas fuentes de caracteres para la construcción de hipótesis filogenéticas, análisis conocidos como *evidencia total* (Wiens, 2000), donde evidentemente

la morfología es una fuente relevante de datos.

Los estudios sobre la variación morfológica son importantes para comprender la evolución en diversos grupos. Distintas estructuras vegetales son fuente de caracteres, tal es el caso de las estructuras florales (figura 1); sin embargo, las características vegetativas (figura 2) han sido, en ocasiones, renegadas en estudios cladísticos; los análisis de caracteres en tallo, hojas y otras estructuras foliosas, tanto a nivel macroscópico o microscópico, representan una buena fuente a explorar. De igual forma, los caracteres en las estructuras reproductivas, como las inflorescencias y estructuras que conforman la flor, complementan estudios de la variación morfológica en plantas.

Las estructuras florales presentan una enorme variación en angiospermas, desde diferencias en número de estructuras que conforman cada verticilo (ejemplo: número de sépalos o pétalos, estambres, etcétera), hasta la posición, o incluso, las medidas de cada una de ellas (figura 1). Otra fuente de caracteres son los correspondientes a estudios de variación en cortes anatómicos y estudios palinológicos (figura 3), donde pueden encontrarse diferencias importantes entre las unidades de estudio.

Durante el curso se introduce a la clasificación actual, con base en los recientes estudios cladísticos. Las relaciones filogenéticas implican las posibles vías de la evolución que han seguido las plantas durante su historia sobre la Tierra, y para la reconstrucción filogenética es necesario el uso de criterios para la codificación de caracteres, éstos últimos corresponden a los atributos o rasgos de las unidades de estudio.

Una parte fundamental en un análisis filogenético es la selección de caracteres, para lo cual existen varios criterios (Wiens, 2000). Cada carácter debe ser observable, independiente y puede presentar varios estados entre las unidades de muestreo (Izco *et al.*, 1997; Wheeler y Meier, 2000; Wiens, 2000). Muchos trabajos recientes son ejemplos de las diferentes formas de codificar caracteres morfológicos en plantas (De Mello-Silva, 2005; Specht, 2006; Möller *et al.*, 2007; Hornung-Leoni y Sosa, 2008). Existen varios tipos de caracteres,

los cualitativos o discretos, y los cuantitativos. Los primeros se refieren más a la categorización de la forma, y los segundos a las medidas. A su vez, los caracteres pueden tener dos o más estados, refiriéndose a la variación encontrada en el grupo de estudio; éstos últimos son denominados como caracteres multiestados.

Por otra parte, los caracteres informativos para la reconstrucción filogenética varían según el grupo taxonómico de estudio, por lo que es importante explorar la variación existente en el grupo de interés con los fundamentos correctos en el proceso de formulación de hipótesis de homología primaria, es decir, relacionar la correspondencia entre los rasgos a comparar.

Una parte fundamental para la realización de estudios filogenéticos es la realización de la matriz de caracteres, la cual, en ocasiones, no es elaborada con sumo cuidado y puede llevar a errores en la obtención de los árboles filogenéticos finales. Sin embargo, es en la matriz donde se resume la variación observada en los ejemplares revisados, para posteriormente ser analizada según criterios particulares en un programa cladístico y finalmente obtener la(s) hipótesis de relaciones entre las especies o taxones de un grupo. Más aún, uno de los aspectos relevantes de los análisis cladísticos es el estudio de la evolución, tanto de taxa, como de caracteres. Son muchos los usos de los análisis filogenéticos, pero cabe destacar la importancia en el entendimiento de la evolución de un carácter morfológico a través de la reconstrucción histórica. En un ejemplo hipotético (figura 4) se puede observar en el árbol filogenético resultante, la evolución del tipo de ovario a través de los clados, siendo el ovario ínfero la condición basal en el grupo (presente en A y en el clado BC), que posteriormente en la historia evolucionó con un cambio hacia ovario súpero (clado DEF).

Durante el curso se contemplan clases teóricas y prácticas, en éstas últimas se aplicará el conocimiento obtenido en ellas, con el grupo de interés de cada estudiante; para lo cual se estudiará la variación de estructuras vegetativas y florales de los grupos de estudio, tanto a nivel macroscópico como microscópico. El resultado será un proyecto de estudio de la variación en un grupo de plantas determinado, con la finalidad de construir una matriz para análisis filogenéticos. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el estudio de la variación morfológica puede también ser empleado para descripción de las especies, así como para

análisis morfométricos o estadísticos.

Literatura básica

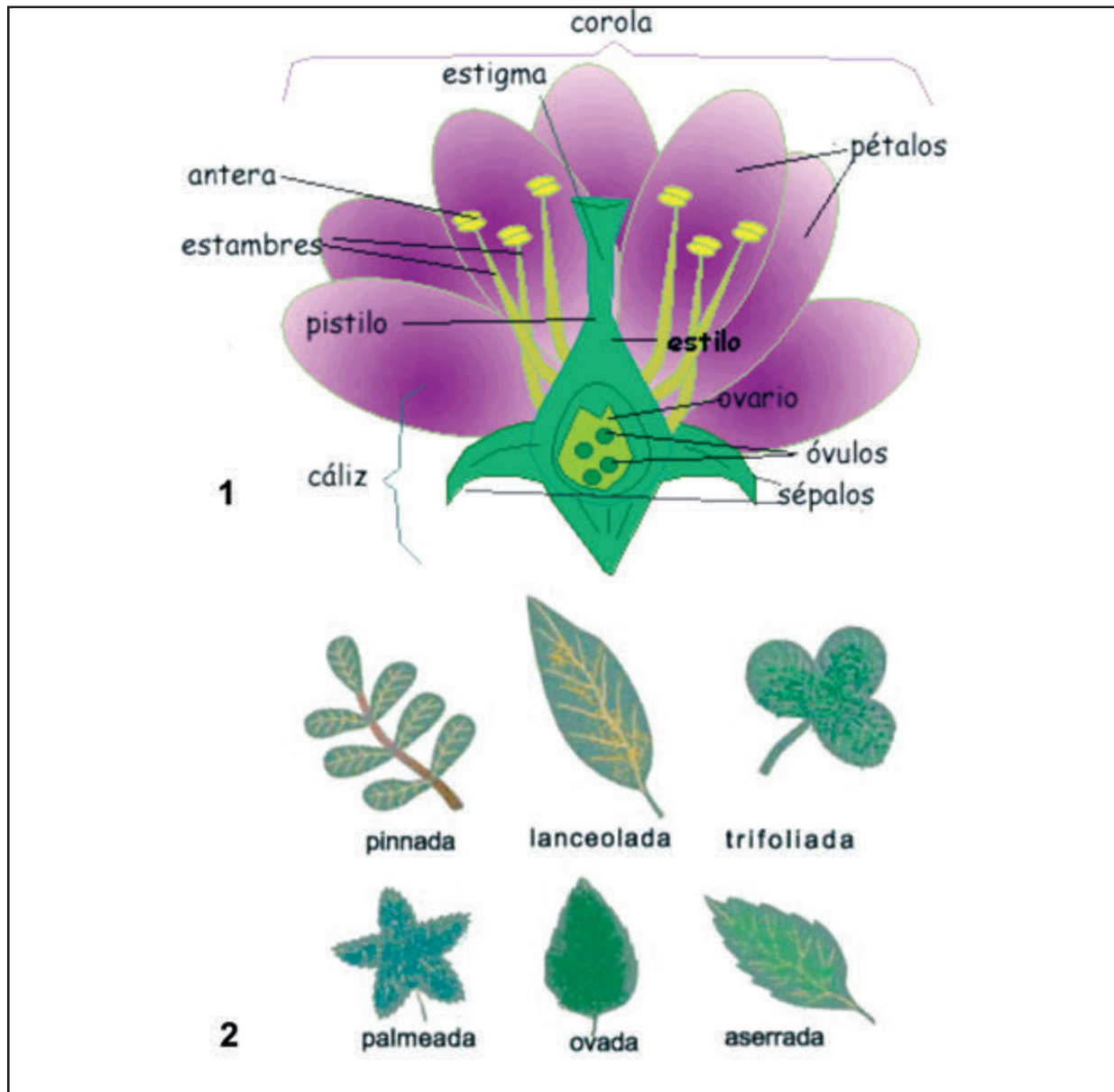
- APG. 2003. *An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants: APG II*. Botanical Journal of the Linnean Society 141: 399-436.
- Bremer, K. 2000. *Early Cretaceous lineages of monocot flowering plants*. Proceedings of the National Academy of Sciences 97: 4707-4711.
- De Mello-Silva, R. 2005. *Morphological analysis, phylogenies and classification in Velloziaceae*. Botanical Journal of the Linnean Society 148: 157-173.
- Endress, P. K. 2001. *Origins of flower morphology*. Journal of Experimental Zoology 291: 105-115.
- Endress, P. K. 2003. *Morphology and angiosperm systematics in the molecular era*. Botanical Review 68: 545-570.
- Friedman, W. E., R. C. Moore, y M. D. Purugganan. 2004. *The evolution of plant development*. American Journal of Botany 91: 1726-1741.
- Hornung-Leoni, C. T. y V. Sosa. 2008. *Morphological phylogenetics of Puya subgenus Puya (Bromeliaceae)*. Botanical Journal of the Linnean Society 156: 93-110.
- Izco I., E. Barreno, M. Brugués, M. Costa, J. Devesa, F. Fernández, T. Gallardo, X. L. Limona, E. Salvo, S. Talavera, y B. Valdés. 1997. *Botánica*. McGraw-Hill. Madrid.
- Jones, S. B. Jr. 1988. *Sistemática vegetal*. 2ª. ed. McGraw Hill. USA.
- Kaplan, D. R. 2001. *The science of plant morphology: definition, history, and the role in modern biology*. American Journal of Botany 88: 1711-1741.
- Möller, M., L. Gao, R. R. Mill, D. Li, M. L. Hollingsworth, y M. Gibby. 2007. *Morphometric analysis of the Taxus wallichiana complex (Taxaceae) based on herbarium material*. Botanical Journal of the Linnean Society 155: 307-335.
- Raven, J. A., y D. Edwards. 2001. *Roots: evolutionary origins and biogeochemical significance*. Journal of Experimental Botany 52: 381-401.
- Soltis, P. S., y D. E. Soltis. 2004. *The origin and diversification of angiosperms*. American Journal of Botany 91: 1614-1626.

Specht, C. D. 2006. *Systematics and evolution of the tropical monocot family Costaceae (Zingiberales): a multiple dataset approach*. Systematic Botany 3: 89-106.

Wheeler, Q. D., y R. Meier. 2000. *Species concept*

and phylogenetic theory. A debate. Columbia University Press. USA.

Wiens, J. J. 2000. *Phylogenetic analysis of morphological data*. Smithsonian Institution Press. USA.



Figuras 1-2. 1: partes de la flor: el verticilo de sépalos constituyen el cáliz, y el de los pétalos forman la corola. El ovario está conformado por los óvulos, estilo y estigma (pistilo). El verticilo de estambres lo conforman los filamentos y la antera, y pueden variar en número (tomada de: <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/concurso2004/ver/09/partes.htm>); 2: tipos de hojas de dicotiledóneas. Hay una gran variación en formas: del ápice. Ejemplo: las que tienen forma con punta de lanza se llaman “hojas lanceoladas”; en la forma global de la hoja. Ejemplo: “hojas aciculares” tienen forma de aguja, como las del pino. Variación en el margen. Ejemplo: “hojas aserradas o dentadas” tienen el borde lleno de pequeños “dientes a modo de sierra”. Las “hojas espinosas” tienen estos dientes muy pronunciados (tomada de: <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/concurso2004/ver/09/partes.htm>).



Figura 3: variación morfológica en polen de angiospermas: se observa polen con colpos, poros, con superficie especulada, reticulada, granulada y verrugosa (tomada de: http://nationalgeographic.abril.com.br/ng/imagem/ed83_wallpaper_sm.3.1.jpg).

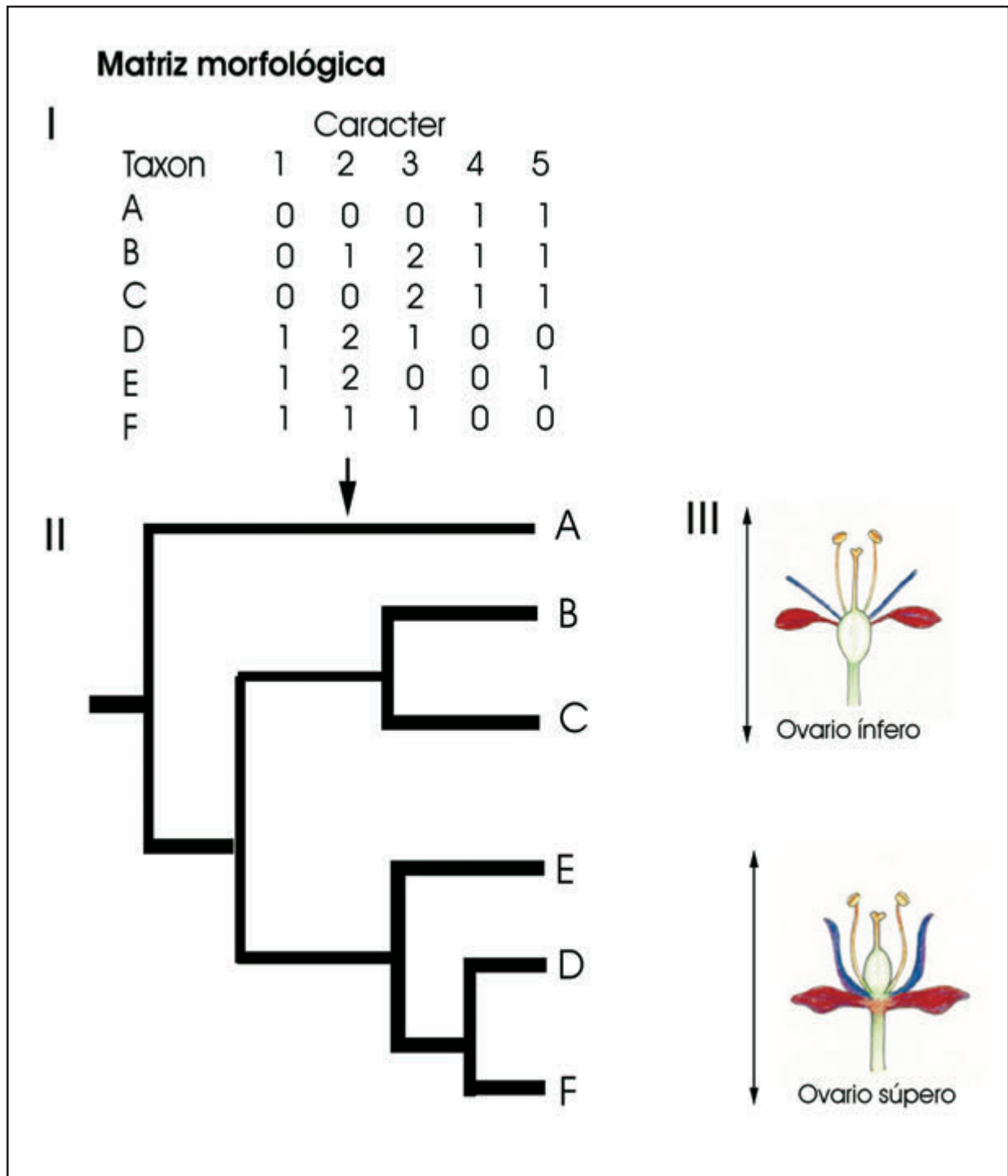


Figura 4: proceso en el análisis filogenético: I) construcción de la matriz filogenética, II) obtención del árbol o hipótesis filogenética, III) análisis de la evolución de caracteres. Ejemplo: tipo de ovario: ínfero en A y clado BC; súpero en el clado DEF.

Etnobiología

Nombre de los profesores:	María Teresa Pulido Silva Ángel Moreno Fuentes
Semestre en el que se imparte:	Séptimo a noveno
Número de horas / semana:	Cuatro
Número de créditos:	Seis
Número de horas teóricas:	Dos
Número de horas prácticas:	Dos
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Etnobotánica, Etnomicología y Recursos naturales de México
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Métodos etnobiológicos
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Ninguna
Objetivos del curso:	1. Brindar al alumno conceptos y aspectos teóricos básicos, relacionados con el estudio del conocimiento tradicional derivado de las relaciones entre los grupos humanos y la biota. 2. Exponer al alumno algunos elementos metodológicos básicos en el abordaje de la investigación etnobiológica. Asimismo, indicarle la importancia de la nomenclatura, lingüística y clasificación tradicional. 3. Proporcionar los conceptos y señalar la importancia del manejo y la domesticación de plantas y animales. 4. Analizar y discutir los diversos sistemas productivos, sus implicaciones ecológicas, así como su sustentabilidad y conservación.



Etnobiología

María Teresa Pulido Silva y Ángel Moreno Fuentes

La etnobiología debe entenderse, en su versión más consensuada, como el estudio científico del conocimiento tradicional, producto de las relaciones espacio-temporales entre la especie humana con el resto de los organismos biológicos. La etnobiología es un área del conocimiento relativamente reciente, pero hoy día se estudia, enseña y practica en diversas regiones del planeta, incluyendo a México, el cual figura entre los principales.

Mundialmente, se origina alrededor de 1876 con el nacimiento de una de sus ramas, la etnobotánica, aunque como etnobiología, en 1940 por Cassteter. En nuestro país fue introducida originalmente por Maldonado-Koerdell, quien en su momento la entendía como el estudio de la utilización de las plantas y animales de una región cualquiera, por un grupo humano definido, que la habita o viene a ella para obtenerlos. Existen tareas, fenómenos y problemas biológicos que la biología puede atender y tratar de resolver, lo mismo para la antropología; pero en el caso de fenómenos biológico-culturales hay un nicho que ninguna de las dos disciplinas, por sí mismas, son capaces de atender, este es el “hiperespacio” biológico-social objeto de estudio de la etnobiología.

Como su nombre lo indica, en esta disciplina confluyen dos áreas importantes del conocimiento humano, la antropología y la biología. La palabra etno-, proveniente del ethnos, ‘pueblo’ o ‘raza’; bio- proveniente del bios, ‘vida’ y -logía, del logos, ‘tratado’. Por ello, son importantes para su estudio las diversas manifestaciones biológicas y culturales, ya que de la existencia de este binomio depende su desarrollo y aportación a la biodiversidad y al hombre mismo, paradigmas contemporáneos en estas esferas cognitivas, en donde el reencuentro entre las ciencias naturales y sociales es una necesidad y, afortunadamente, también una consecuencia real de nuestros tiempos.

A nivel mundial, la etnobiología es cada vez más reconocida, aumentando en número y calidad de sus investigaciones, ya que la reciente adecuación de nuevos métodos de análisis entre otros aspectos, han venido a robustecerla; además de la creciente aceptación de las disciplinas de síntesis u holísticas

y del paradigmático reencuentro de las ciencias naturales y las sociales, como la filosofía misma. Ante la creciente importancia económica que han adquirido los recursos biológicos, actualmente se aceptan como áreas relevantes en esta gran disciplina, a la etnobotánica, etnozología y a la etnomicología, las cuales abordan estudios en los rubros de etnotaxonomía (antropología cognitiva, lingüística), etnomedicina (antropología médica, etnofarmacología), economía de subsistencia (alimentos y combustibles, manejo de recursos), material cultural (arqueología, etnografía) y etnoecología (conocimiento tradicional ambiental, efectos antropogénicos, paleoecología), entre otros. Asimismo, se empiezan a reconocer como disciplinas paralelas a la etnoedafología y etnomineralogía.

El curso optativo de etnobiología aborda las interacciones múltiples y complejas entre el ser humano y la diversidad biológica que le rodea. Durante el curso se desarrollan diversas temáticas agrupadas en tres unidades: introducción, herramientas conceptuales y metodológicas, y aplicación de la etnobiología para el manejo y conservación de los recursos naturales (figura 1).

En la parte introductoria del curso se hace un breve recuento histórico del surgimiento de las disciplinas etnobotánica, etnozología, etnomicología, y se analizan sus bases conceptuales y epistemológicas. Posteriormente, se discute la relación hombre-naturaleza y se explican las bases del axioma bio-cultural que fundamenta esta concepción teórica del estudio sociedad-naturaleza.

En la siguiente unidad se abordan de forma general los métodos que pueden ser aplicados en el estudio etnobiológico, y se discute la aparente dualidad entre el enfoque de la cualificación y cuantificación en etnobiología. Una discusión más profunda sobre este tema se desarrolla en el curso “Métodos etnobiológicos”. Posteriormente, se analizan la necesidad de diseñar investigaciones etnobiológicas, y se hace un repaso general de herramientas de la estadística básica requerida para cualquier investigación. Se explican los diferentes tipos de entrevistas que pueden realizarse en la investigación etnobiológica; seguido de una

caracterización cultural y sociodemográfica de algunos de los principales grupos étnicos de México y se profundiza en el estudio de los otomíes, tepehuas, nahuas y mestizos en el estado de Hidalgo. Además, se dan algunas nociones de cómo la lingüística puede ser empleada como herramienta básica en estudios etnobiológicos.

La última unidad trata sobre los aspectos relacionados con el manejo de recursos naturales por parte del ser humano. Se inicia con una serie de conceptos básicos (manejo, formas de manejo de recursos y domesticación), aunado a un análisis de los procesos asociados al manejo de los recursos y al estudio detallado del proceso de domesticación (figuras 2-3).

También se contrastan diversos sistemas productivos tradicionales y no tradicionales para analizar en qué consisten, dónde ocurren y las consecuencias de estos sistemas sobre el medio ambiente, la cultura y el desarrollo de los pueblos. Específicamente se discuten los sistemas productivos tradicionales, como en el caso de la milpa, los cafetales rústicos y tradicionales, los huertos familiares y se comparan con los sistemas productivos de occidente, tales como la agricultura intensiva a gran escala, el monocultivo de café y los potreros. Para hacer esta comparación se explica al estudiante el concepto de sostenibilidad, y bajo este marco se comparan ambos grupos de sistemas productivos.

Por último, se hace una reflexión sobre el tema de derechos de propiedad intelectual, donde se discuten ampliamente los distintos matices que este tema puede tener, y la necesidad del biólogo y de los manejadores de recursos, de conocer más a profundidad el marco legal en donde, como sociedad, estamos insertos.

Pedagógicamente, este curso se desarrolla con base en la discusión de lecturas, donde se espera fomentar la capacidad de análisis y crítica del estudiante. Otra parte fundamental del curso es la realización de una salida al campo con el objetivo de llevar a cabo un estudio etnobiológico breve. Se pretende que los estudiantes fortalezcan su capacidad de formular una pregunta de investigación etnobiológica, que piensen y realicen el diseño, y que sean capaces de elegir el método adecuado para realizar la toma de datos y el análisis de los mismos. Con esta práctica se busca que el alumno tenga la oportunidad y la necesidad de acercarse a la población local, y de alguna manera encuentre los medios de comunicación y puntos en

común e identifique las habilidades que necesita desarrollar con mayor profundidad en el futuro.

Literatura básica

- Alexiades, M. N. 1996. *Selected guidelines for ethnobotanical research: a field manual*. The New York Botanical Garden. New York.
- Asociación Etnobiológica Mexicana, A. C. 1997a. *Métodos cuantitativos en etnobiología*. México, D. F. (Antología; J. Caballero, comp.).
- Asociación Etnobiológica Mexicana, A. C. 1997b. *Métodos cualitativos en etnobiología*. México, D. F. (Antología; M. Á. Martínez Alfaro, comp.).
- Barrera-Bassols, N., y V. M. Toledo. 2005. *Ethnoecology of the Yucatec maya: symbolism, knowledge and management of natural resources*. Journal of Latin American Geography 4: 9-41.
- Bernard, H. R. 2000. *Social research methods, qualitative and quantitative approaches*. Sage Publications, Inc. Thousand Oaks.
- Bray, D. B., L. Merino-Pérez, P. Negreros-Castillo, G. Segura-Warnholtz, J. M. Torres-Rojo, y H. F. M. Vester. 2003. *Mexico's community-managed forest as a global model for sustainable landscapes*. Conservation Biology 17: 672-677.
- Cotton, C. M. 1996. *Ethnobotany, principles and applications*. John Wiley and Sons Ltd. Chichester.
- Gómez-Pompa, A., y A. Kaus. 1990. *Traditional management of tropical forests in Mexico*. En: Anderson, A. B. (ed.). Alternatives to deforestation: Steps toward sustainable use of the Amazon rainforest. Colombia University Press. New York. p: 45-63.
- Griffith, D. M. 2000. *Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity after fire*. Conservation Biology 14: 325-326.
- Kass, D. C. L., y E. Somarraba. 1999. *Traditional fallows in Latin America*. Agroforestry Systems 47: 13-36.
- Kleinman, P. J. A., D. Pimentel, y R. B. Bryant. 1995. *The ecological sustainability of slash-and-burn agriculture*. Agriculture, Ecosystems and Environment 52: 235-249.
- Maldonado-Koerdell, M. 1940. *Estudios etnobiológicos I. Definición, relaciones y métodos de la etnobiología*. Revista Mexicana de Estudios

- Antropológicos 4(3): 195-202.
- Schultes, R. E., y S. von Reis. 1995. *Ethnobotany: evolution of a discipline*. Discorides press. Portland, Oregon.
- Steepp, R. 2005. *Advances in ethnobiological field methods*. Field Methods 17(3): 211-218.
- Weller, S. C., y A. K. Romney. 1988. *Systematic data collection*. SAGE., Pubs. California.



Figuras 1-3. 1: construcción de un canasto con hojas de la palma *Sabal yapa*; 2: troje de maíz; 3: taller comunitario de mapeo del territorio en la península de Yucatán (© fotos: M. T. Pulido Silva).

Introducción a los métodos etnobiológicos

Nombre de los profesores:	Ángel Moreno Fuentes María Teresa Pulido Silva
Semestre en el que se imparte:	Séptimo a noveno
Número de horas / semana:	Cuatro
Número de créditos:	Seis
Número de horas teóricas:	Dos
Número de horas prácticas:	Dos
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Etnobotánica, Etnomicología, Recursos naturales de México
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Etnobotánica, Etnobiología, Recursos naturales de México
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Ninguna
Objetivos del curso:	<ol style="list-style-type: none">1. Presentar los elementos históricos, teóricos y conceptuales generales, relacionados con los métodos etnobiológicos.2. Mostrar que un estudio etnobiológico no puede concebirse sin un adecuado y riguroso método de trabajo.3. Dar a conocer al alumno algunos métodos etnográficos, biológicos, ecológicos y sociales utilizados por la etnobiología.4. Poner en práctica algunos métodos etnobiológicos.



Introducción a los métodos etnobiológicos

Ángel Moreno Fuentes y María Teresa Pulido Silva

El propósito inmediato del pensamiento científico, según Walker (1968), es hacer predicciones correctas de los acontecimientos de la naturaleza; la sobrevivencia humana depende de ello.

La naturaleza y sus procesos biológicos, sociales y culturales, están íntimamente relacionados y aunque inextricables, son en principio, inteligibles.

Para comprenderles y conocer la naturaleza de su existencia y su dinámica, se requiere de un marco teórico y conceptual, así como de herramientas metodológicas que nos permitan interrogar a la naturaleza. La etnobiología es una ciencia y requiere, además de sus aspectos ontológicos, de estos dos pilares fundamentales.

No hay ciencia sin método. El método constituye la columna vertebral de cualquier investigación científica. De él depende la robustez y confiabilidad en la investigación científica, sin él no hay certidumbre. De ahí que Descartes (2006), en su momento, pusiera tanto interés e hiciera tanto énfasis en este aspecto, el cual no es otra cosa que un procedimiento que se aplica para alcanzar tal o cual objetivo.

La etnobiología, entendida como el estudio científico de las relaciones dinámicas entre los grupos humanos, la biota y el ambiente (Ethnobiological Working Group, 2003), presenta una naturaleza híbrida producto fundamentalmente de la confluencia entre la antropología y la biología. En este sentido y debido a que los aspectos epistemológicos y metodológicos del área se encuentran en construcción, la etnobiología toma métodos de la antropología, de la biología, de la sociología, adecuándolos según sus propias necesidades.

Generalmente, cuando se habla de métodos en etnobiología, se debe hacer énfasis en la importancia de aquellos descriptivos (cualitativos) y aquellos de carácter positivista (cuantitativos), y hacer ver que ambos son complementarios, no antagónicos, y que unos u otros, o ambos se aplicarán, dependiendo de la naturaleza de los estudios, así como de los objetivos y preguntas de investigación (Martínez-Alfaro, 1994).

La etnobiología nació con una metodología cualitativa, pero en los últimos 15 años ha adecuado e incorporado, diversas técnicas y métodos que

han permitido entender nuevos fenómenos en esta área del conocimiento. De hecho, hay subáreas al interior de ésta, en donde los métodos cuantitativos predominan de manera importante, abriendo claras corrientes de pensamiento positivista.

En general, podemos decir que los métodos etnobiológicos son aplicables en sus distintas esferas, pero siempre deberá tenerse presente la biología de los organismos, así como los grupos humanos con los que se esté trabajando; esto sugiere que difícilmente podemos aplicar una metodología etnobiológica universal estandarizada, debido a la particularidad de cada etnia y/o grupo biológico de interés, así como de contextos históricos, sociales, geográficos, económicos, entre otros.

Dentro de las disciplinas etnobiológicas, es la etnobotánica la más vanguardista en proponer y aplicar herramientas técnicas y metodológicas; posiblemente esto se deba a que es la disciplina que tiene las raíces más antiguas en la historia de la etnobiología.

Es importante, por consiguiente, que el alumno de la licenciatura en Biología, interesado por la investigación etnobiológica, tenga una aproximación general a las distintas herramientas técnicas y metodológicas que la etnobiología utiliza para obtener respuesta de los sistemas cognitivos tradicionales acerca de la relación entre la biota y los distintos grupos humanos del planeta, en diferentes momentos y lugares geográficos. Esto es importante porque México constituye uno de los patrimonios biológico-culturales más importantes de la humanidad.

En la primera parte del programa se abordan los aspectos introductorios de la etnobiología, tales como su origen, su evolución conceptual y su naturaleza binomial, lo que ha conducido a la propuesta teórica del axioma biocultural. También se señalan las subdisciplinas que la integran y se hace referencia a los orígenes de cada una de éstas. Además, se abordan de manera breve, las bases epistemológicas y ontológicas que permiten su existencia, así como su importancia y trascendencia.

En la unidad dos se introduce al alumno en el método, considerándolo como eje principal de todo estudio etnobiológico, en él se hace hincapié en que

la etnobiología es una ciencia y que por consiguiente utiliza múltiples métodos y herramientas técnicas en su quehacer cotidiano.

La tercera unidad constituye la parte medular del curso, ya que aquí es donde se expone la mayor parte de la información relacionada con la metodología de la etnobiología. Se inicia con intentar que el alumno discierna adecuadamente entre lo que es el método y lo que es una técnica; asimismo, se busca que comprenda la naturaleza e importancia de un método cualitativo en relación a la naturaleza y relevancia de uno cuantitativo, indicándole que durante el planteamiento de un problema y de las preguntas de investigación, esto es fundamental.

Por otra parte, se le hace hincapié en lo importante que es plantear hipótesis de trabajo, ya sea con o sin implicaciones estadísticas, tratándose en el segundo caso de una consideración de trabajo, que brinda la ventaja de ser un referente, un hilo conductor o directriz durante la investigación.

En el curso es importante hablar de la teoría del muestreo, incluyendo el tipo de muestra que se desea trabajar, el tamaño de la misma y recalcar las ventajas y/o desventajas de trabajar con muestras representativas y/o probabilísticas. También se abordan los aspectos relacionados como el dominio, en términos de un componente semántico, categórico o cultural.

La siguiente parte contempla los métodos etnográficos, indispensables para tener una comunicación con los informantes (fuentes cognitivas), en su modalidad estructurada y no estructurada. Los métodos no estructurados incluyen la observación directa; es decir, aquella en la que el estudioso sólo observa el fenómeno en cuestión; la observación participante, en donde además de observar, se involucra en tal o cual actividad; la entrevista abierta, en la cual se charla de manera abierta y sobre múltiples temas con el informante. Por último, la entrevista a fondo, en la cual se procura tener la mayor profundidad y exhaustividad posible acerca del tema que se desea abordar (figura 1).

En contraste, en los métodos estructurados se habla de la entrevista cerrada y sus ventajas, la cual, según su diseño, puede contemplar recopilar un listado libre de diferentes recursos bióticos conocidos y/o aprovechados, para calcular posteriormente algunos parámetros utilizados para conocer la importancia cultural de un recurso, como pueden ser la frecuencia de mención o ranking promedio. Asimismo, se les señala cuál es

el tipo de información que puede arrojar la técnica conocida como recordatorio de 24 horas (“24 hours recall”; Bernard, 2000).

En otro apartado de esta misma unidad se les brindan también dos técnicas útiles para comprender cómo las personas conciben la naturaleza en su mente, en términos de organización o clasificación tradicional. Éstas son el “pile sorting” (figura 2) y las tríadas. La primera de ellas consiste a *grosso modo* en pedir a los informantes que a partir de un lote de elementos, los agrupe en pilas dicotómicas sucesivas, según un criterio específico. La segunda, en cambio, busca “revelar” el elemento más disímil de un conjunto de tres; de esta forma muestra qué afinidades y diferencias existen entre los distintos elementos considerados. En éste último, se vuelven necesarios análisis de tipo fenético.

También se ilustra la técnica conocida como acuerdo entre pares de informantes, en la cual se busca analizar el grado de consenso que presentan diversos informantes en relación a una pregunta determinada, por ejemplo, en cómo llaman a tal o cual organismo.

En relación a los métodos biológicos, sólo se hace un breve repaso, y se señala su importancia de aquellas técnicas biológicas generalmente utilizadas en el campo (las cuales el alumno ya ha visto y practicado); por ejemplo, esto incluye a las formas de recolectar partes de organismos o capturar organismos y su incorporación en colecciones científicas. También se les proporciona información acerca de la experimentación en campo, por ejemplo, el efecto de aplicar un hongo en una mancha de la piel para su erradicación, basada en información tradicional preliminar. Asimismo, se les hace referencia de algunas técnicas ecológicas para evaluar la disponibilidad de algún recurso útil para tal o cual grupo humano. En este apartado se habla sobre el muestreo de los organismos, muestreo en ecosistemas bajo manejo, cuadrantes, transectos, demografía, atributos poblacionales, etcétera.

Cuando el tiempo y las condiciones lo permitan, se realizará una práctica de campo para organizar y sistematizar la información recopilada.

Literatura básica

- Bernard, H. R. 2000. *Social research methods*. SAGE Publishers. California.
- Descartes, R. 2006. *El discurso del método*. Espasa-Calpe. Madrid.

- Ethnobiological Working Group. 2003. *Intellectual imperatives in ethnobiology*. Missouri Botanical Garden Press. St. Louis.
- Martínez Alfaro, M. A. 1994. *Estado actual de la investigación etnobotánica en México*. Boletín de la Sociedad Botánica de México 55: 65-74.
- Phillips, O. L. 1996. *Some qualitative methods for analyzing ethnobotanical knowledge*. En: Alexiades, M. N. (ed.). Selected guidelines for Ethnobotanical research: A field manual. New York Botanical Garden. New York. p: 171-197.
- Phillips, O. L., y A. H. Gentry. 1993. *The useful plant of Tambopata, Peru: I. statistical hypotheses test with a new quantitative technique*. Economic Botany 47(1):15-32.
- Walker, M. 1968. *El método científico*. Ed. Grijalbo. México, D. F.



1



2

Figuras 1-2. 1: aplicación de una entrevista estructurada; 2: imágenes de animales presentadas a un informante durante la aplicación de la técnica etnográfica conocida como “pile sorting” (fotos: Á. Moreno).

Técnicas de histología

Nombre de los profesores:	William Scott Monks
Semestre en el que se imparte:	Sexto a noveno
Número de horas / semana:	Cuatro
Número de créditos:	Seis
Número de horas teóricas:	Dos
Número de horas prácticas:	Dos
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Biología de animales I, II, III, Biología del desarrollo y Biología celular
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Ninguna
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Ninguna
Objetivos del curso:	<ol style="list-style-type: none">1. El estudiante aprenderá el uso de las técnicas histológicas para el estudio de varios tipos de tejidos.



2. Aplicará las técnicas histológicas para obtener muestras permanentes de tejidos animales y vegetales.
3. Será capaz de diferenciar e interpretar los cortes de los tejidos al microscopio óptico.

Técnicas de histología

Rafaela Escorcía Iganacio y William Scott Monks

La histología es una disciplina morfológica que investiga las propiedades estructurales de los tejidos animales y vegetales y su relación de dependencia con la función que desempeñan. Sin embargo, para obtener muestras permanentes, deben pasar por un proceso que se denomina técnica histológica, en la que se incluyen etapas como la fijación, deshidratación, aclaramiento, impregnación, inclusión, cortes con el microtomo y coloración. El estudio incluye aprender y llevar a cabo la técnica histológica, en la cual se utilizarán diferentes tejidos de animales, como intestino, hígado, corazón, etcétera, así como tejidos vegetales tales como raíz, tallo, entre otros. También los estudiantes serán capaces de diferenciar e interpretar los cortes de los tejidos al microscopio óptico, cuando éstos sean teñidos con técnicas distintas.

Una de las etapas importantes en la histología es realizar los cortes de los tejidos en proceso, por lo tanto, éstos deben de hacerse de manera correcta y con mucha precaución, ya que el microtomo es una herramienta peligrosa, si no se siguen las instrucciones adecuadas. Al inicio del curso se introducen los conceptos generales de la histología y la relación que tiene con otras ciencias, así como la importancia de la histología en las ciencias biológicas.

Todas las ramas de las ciencias biológicas están dirigidas al entendimiento de los organismos vivos y, por lo tanto, deben estar basadas principalmente en organismos vivos. Desafortunadamente, la observación de las células vivas puede dificultarse por un gran número de razones. En la mayoría de los animales metazoarios, las células están unidas firmemente en masas densas. Para examinar las células de dichos organismos con el microscopio, primero las células deben separarse, y es casi imposible no lesionarlas. Sin embargo, debemos ser capaces de mantener vivas las células, o al menos retrasar la muerte y los cambios postmortem (Galigher y Kozloff, 1964). Existen varios métodos que pueden minimizar las dificultades y permiten realizar un estudio más intensivo de los especímenes vivos o frescos.

Primero, existen técnicas para la preparación y el montado de los especímenes, los cuales

permanecerán en condiciones favorables para su observación y estudio (Galigher y Kozloff, 1964). Segundo, existen varios métodos de iluminación y examinación de las preparaciones. Sin embargo, este curso se enfocará a la primera categoría que trata sobre la preparación y el montado de los especímenes para su posterior observación, y de los cuales se encarga la histología.

Como se mencionó anteriormente, la técnica histológica incluye la fijación, la cual se realiza con la finalidad de evitar la destrucción de las células por sus propias enzimas (autólisis) (Junqueira y Carneiro, 1981; Luna, 1960), o por bacterias. Los tejidos separados del cuerpo de un animal deben ser tratados inmediatamente después de ser cortados. Este tratamiento tiene como finalidad endurecer los tejidos, volviéndolos más resistentes para las etapas subsiguientes de la técnica histológica.

En resumen, se puede decir que la fijación es la fase de la técnica histológica cuya finalidad es preservar la morfología y la composición química de los componentes del tejido, de modo que aquello que se va a observar al microscopio corresponda a lo que existía cuando los tejidos formaban parte del cuerpo del animal o vegetal en vivo (Junqueira y Carneiro, 1981). La duración de esta etapa es de aproximadamente 12 horas, dependiendo del fijador y del tamaño del espécimen (Junqueira y Carneiro, 1981).

La deshidratación significa “remover el agua de”. Es un paso esencial, del cual depende que el tejido sea impregnado exitosamente después con parafina o celoidina (Clayden, 1962). Algunos deshidratantes usados son: tetrahidrofurano, acetona, dioxano, alcohol isopropílico y etanol. Sin embargo, este último es el que los alumnos utilizarán, en forma creciente hasta terminar con alcohol al 100% (Luna, 1960). La duración de la deshidratación es de 6 a 24 horas, dependiendo del tamaño de la pieza (Junqueira y Carneiro, 1981).

La aclaración, también llamada diafanización, tiene como finalidad embeber la pieza con una sustancia miscible con la parafina; utilizando benzol, xilol o tulol. La duración es de 1 a 6 horas, dependiendo del tamaño de la pieza (Junqueira y Carneiro, 1981).

La impregnación la realizarán con parafina fundida, generalmente realizada en una estufa entre 56°C y 60°C. La finalidad de la parafina es penetrar en los vasos, en los espacios intercelulares y también en el interior de las células, de esta forma se impregna y hace más fácil la obtención de cortes en el microtomo. Tiene una duración de 30 minutos a 6 horas, dependiendo del tamaño de la pieza.

La inclusión es una fase en la que los alumnos colocarán la pieza en un molde rectangular que contiene parafina fundida, el cual se dejará enfriar para que posteriormente se realicen los cortes. Uno de los pasos finales es la realización de los cortes con el microtomo, los cuales serán seccionados (figura 1) con un grosor de 3 a 8 µm. Posteriormente, el exceso de parafina la retirarán con una gota de agua caliente; la pieza quedará adherida en el portaobjeto (Junqueira y Carneiro, 1981).

Como la mayoría de los tejidos son incoloros, esto hace difícil su observación al microscopio. Debido a esto, se introdujeron métodos para la coloración de los tejidos, a fin de hacer sus componentes visibles y diferenciados unos de otros. En esta etapa se utilizan mezclas de sustancias químicas denominadas colorantes. Los colorantes más usados en este curso, son: tricrómica de Masson (figura 2) y hematoxilina-eosina (figura 3).

Por último, los alumnos realizarán la interpretación de los cortes histológicos al microscopio óptico.

Literatura básica

Alger, N. 1966. *A simple, rapid, precise stain for intestinal protozoa*. American Journal of Clinical Pathology 45: 361-362.

Baker, J. R. 1960. *Experiments on the action of mordants. I. 'Single-bath' mordant dyeing*. Journal of Microscopic Science 101: 255-272.

Baldauf, R. J. 1958. *A procedure for the staining and sectioning of the heads of adult anurans*. Texas Journal of Science 10: 448-451.

Bullock, W. L. 1963. *Intestinal histology of some salmonid fishes with particular reference to the histopathology of acanthocephalan infections*. Journal of Morphology 112: 23-44.

Chaicharn, A., y W. L. Bullock. 1967. *The histopathology of acanthocephalan infections in suckers with observations on the intestinal histology of two species of catostomid fishes*. Acta Zoologica, 48: 19-42.

Clayden, E. C. 1962. *Practical section cutting and*

staining. J. & A. Churchill Ltc. London.

Cooper, D. W. 1988. *The preparation of serial sections of platyhelminth parasites, with details of the materials and facilities required*. Systematic Parasitology 12: 211-229.

Esch, G. W., y W. J. Huffins. 1973. *Histology associated with endoparasitic helminths in bass*. Journal of Parasitology 59: 306-313.

Filipski, G. T. y M. V. H. Wilson. 1984. *Sudan black B as a nerve stain for whole cleared fishes*. Copeia 1984: 204-208.

Fraser, T. H., y W. C. Freihofer. 1971. *Trypsin modification for Sihler technique of staining nerves for systematic studies of fishes*. Copeia 1971: 574-576.

Galigher, A. E., y E. N. Kozloff. 1964. *Essentials of practical microtechnique*. Lea & Febiger. Philadelphia.

Gray, P. 1954. *The microtome's formulary and guide*. The Blakiston Company, Inc. New York.

Hostes, H., S. Mallet, y G. Fort. 1993. *Histopatología of the small intestinal mucosa in Nematodirus spathiger infection in rabbits*. Journal of Helminthology 67: 139-144.

Jones, A. 1990. *Techniques for hand-sectioning thick-bodied platyhelminths*. Systematic Parasitology 15: 211-218.

Junqueira, L. C., y J. Carneiro. 1984. *Histología básica*. Salvat Editores, S. A. Barcelona.

Kurabuchi, S. 1994. *Fine structure on the surface of nuptial pads of male hylid and rhacophorid frogs*. Journal of Morphology 219: 173-182.

Leake, L. D. 1975. *Comparative histology: An introduction to the microscopic structure of animals*. New York Academic Press. New York.

Luna, L. G. 1968. *Manual of histologic staining of the Armed Forces Institute of Pathology*. McGraw-Hill Book Co. New York.

Pantin, C. F. A. 1962. *Notes on microscopical technique for zoologists*. Cambridge University Press. London.

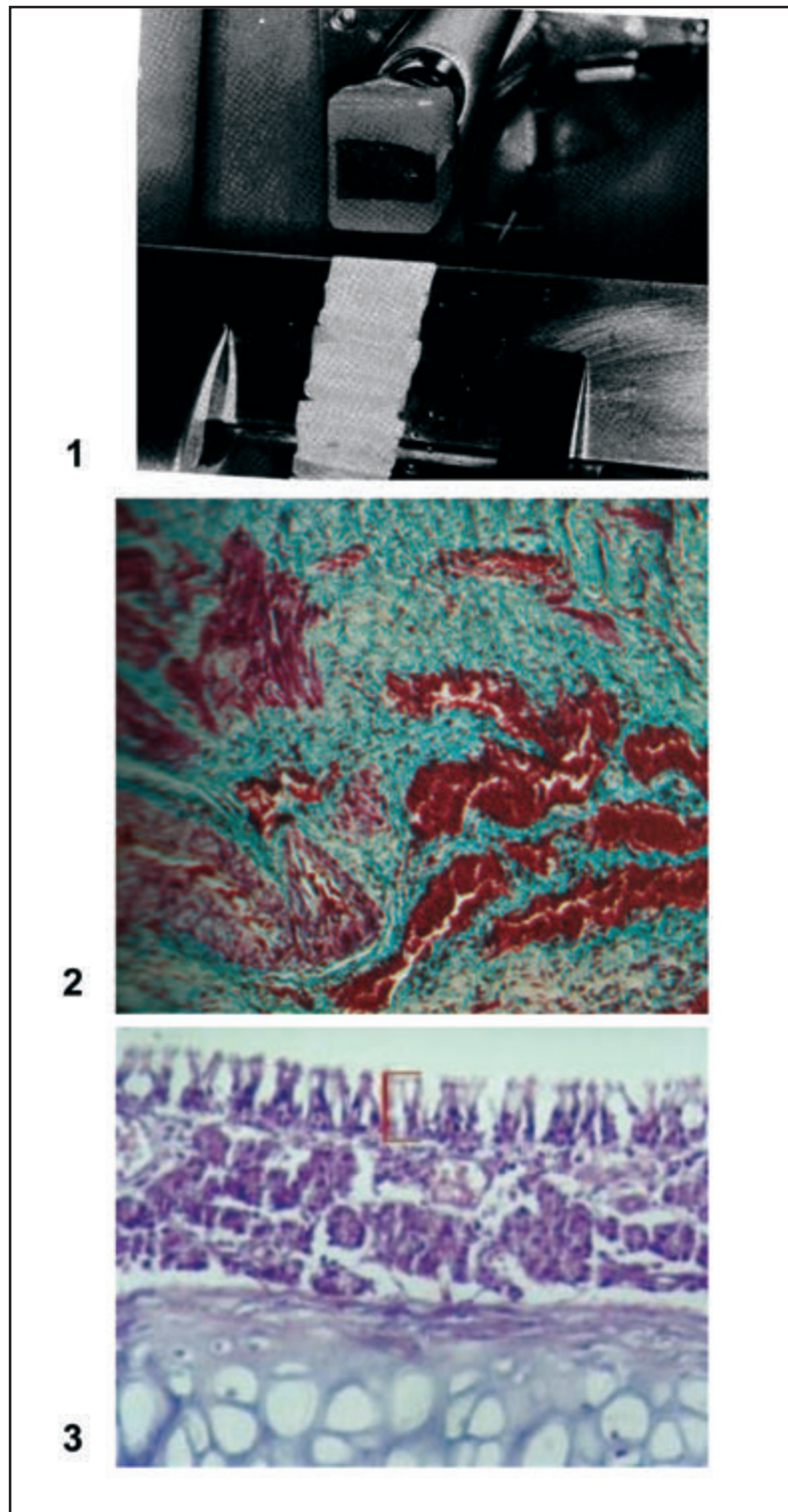
Richards, O. W. 1959. *The effective use and proper care of the microtome*. American Optical Company, Buffalo. New York.

Singhvi, A., y D. W. T. Crompton. 1982. *Increase in size of the small intestine of rats infected with Moniliformis (Acanthocephala)*. International Journal for Parasitology 12: 173-178.

Steedman, H. F. 1960. *Section cutting in microscopy*. Blackwell Scientific Publications. Oxford.

Wassersug, R. J. 1976. *A procedure for differential staining of cartilage and bone in whole formalin-fixed vertebrates*. Stain Technology 51: 131-134.

Williams, J. A., y B. B. Nickol. 1989. *Histological structure of the intestine and pyloric caeca of the green sunfish, *Lepomis cyanellus* Rafinesque*. Journal of Fish Biology 35: 359-372.



Figuras 1-3. 1: corte de bloques con el microtomo; 2: músculo liso y estriado, teñido con la técnica tricrómica de Masson; 3: tinción con hematoxilina-eosina de células epiteliales (glándulas mucosas) (tomadas de Luna, 1968).

Entomología

Nombre de los profesores:	Julieta Asiain Alvarez Juan Márquez Luna
Semestre en el que se imparte:	Octavo y noveno
Número de horas / semana:	Cuatro
Número de créditos:	Seis
Número de horas teóricas:	Dos
Número de horas prácticas:	Dos
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Biología de animales II, Ecología, Recursos naturales I y II, Biogeografía
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Trabajos de investigación
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Otros temas selectos
Objetivos del curso:	<ol style="list-style-type: none">1. Que los alumnos conozcan las características esenciales de los insectos que los permiten distinguirse de otros artrópodos.2. Proporcionar a los alumnos los elementos básicos para el estudio de los insectos que les faciliten la comprensión del éxito evolutivo del grupo.3. Que los alumnos adquieran información básica sobre el reconocimiento taxonómico y las relaciones filogenéticas de los distintos órdenes de insectos.4. Que los alumnos adquieran conocimiento sobre la biodiversidad que representan los grupos estudiados y los aspectos relevantes de importancia ecológica, económica, médica, médico-veterinaria y cultural que éstos poseen.5. Que los alumnos conozcan los principales métodos de estudio de insectos, así como el grado de conocimiento que existe sobre ellos en México y las perspectivas futuras.



Entomología

Julieta Asiain Alvarez y Juan Márquez Luna

El curso de entomología se ofrece en la Licenciatura en Biología como una estrategia para aumentar la información que se brinda a los alumnos durante el curso de Biología de animales II, ya que esta materia obligatoria incluye también a los insectos en el contenido temático. Sin embargo, el nivel de conocimiento que se adquiere sobre los insectos, y sobre el resto de los taxones que pertenecen a los anélidos y artrópodos, es muy general, básicamente a nivel de clases. Aunado a lo anterior, la clase Hexapoda es el taxón más diverso de todos los seres vivos, poseen una gran importancia biológica, económica y cultural, y por ello es necesario ofrecer mayor información a los estudiantes que tengan interés por este tema.

La gran riqueza de especies de la clase Hexapoda supera en gran medida a todos los demás seres vivos, lo cual refleja una necesidad evidente de ofrecer al estudiante de biología un curso donde se le introduzca al conocimiento básico de la entomología. Por ello, es importante abordar de manera particular el estudio de estos organismos y así poder comprender mejor por qué es el grupo biológico más diverso, cuáles son sus relaciones filogenéticas con otros artrópodos y entre los órdenes que lo integran, y cuál es el grado de su conocimiento. Asimismo, es interesante conocer cómo han contribuido en diferentes áreas de la biología, tales como la sistemática, biogeografía, ecología, fisiología, entre otras; así como su papel en las interacciones biológicas, en la economía humana y en general en toda la biota.

Este curso inicia con los aspectos históricos de la entomología en México, durante los tres periodos clásicos de la historia de México: periodo precortesiano, que abarca las aportaciones entomológicas que dejaron nuestras etnias, por ejemplo, el uso de insectos comestibles, nombres de lugares o ríos, meliponicultura, etcétera; periodo colonial, en el cual se considera que existió el menor desarrollo o el mayor estancamiento de esta disciplina; y el periodo de México independiente, considerado como el inicio de lo que se llama institucionalización, caracterizado por la creación de instituciones, como centros de investigación, publicaciones, sociedades y colecciones.

Por otro lado, un tema básico e importante en este curso es entender el plan estructural del phylum Arthropoda y relacionarlo con su éxito adaptativo, para poder establecer las diferencias básicas entre las clases de artrópodos, con base en sus tagmas y los apéndices que presentan, y también conocer las relaciones filogenéticas entre éstas. Lo más importante es aprender a reconocer y diferenciar a los hexápodos del resto de los artrópodos, con base en sus características diagnósticas: tres pares de patas, cuerpo dividido en tres regiones (cabeza, tórax y abdomen) y, en la mayoría de los órdenes, la presencia de dos pares de alas en los adultos (con excepciones).

La morfología externa de los hexápodos es un tema básico para tratar de identificar, diferenciar y conocer sus diferentes órdenes. Características como los tipos de apéndices, en especial los que forman parte del aparato bucal, tipos de alas y los apéndices rudimentarios de la región posterior del abdomen, son importantes para reconocer los grandes grupos dentro de los hexápodos (que incluye órdenes, familias y géneros). Por lo tanto, para poder llevar a cabo la identificación de los hexápodos, es necesario hacer un análisis cuidadoso de la morfología externa del cuerpo de los insectos en cada una de las diferentes regiones (cabeza, tórax y abdomen). Un aspecto relevante es que conociendo y entendiendo la morfología externa de los hexápodos podemos entender las tendencias evolutivas que se han presentado durante la evolución de este gran grupo de artrópodos.

También, como parte de la morfología externa, está el papel que desempeña la cutícula en los insectos, tales como evitar la desecación, dar sostén mediante la inserción de los músculos, protección física y química. A través de la cutícula se da el crecimiento, proporciona coloración, etcétera. Existen derivados cuticulares como los cuernos, uñas, sedas, ojos, alas, entre otros. Uno de los más importantes son los ojos, ya que son uno de los principales órganos sensoriales de los insectos, con la capacidad de formar imágenes (ojos compuestos); las alas son otro ejemplo interesante de derivado cuticular, que durante la evolución de los insectos les ha permitido conquistar muchos ambientes,

por tener la capacidad de distribuirse en grandes extensiones del mundo para buscar alimento con mayor facilidad, además de permitirles huir de sus enemigos.

Una vez estudiadas las estructuras externas (figuras 1-10), se analiza la anatomía interna de los hexápodos, desde las estructuras básicas de cada uno de los sistemas internos, hasta entender cómo funciona cada uno de ellos. Los aparatos y sistemas que participan dentro del cuerpo de los insectos, son: el aparato digestivo, que es un tubo abierto por los dos extremos, con regiones especiales para triturar y almacenar alimento, la producción de enzimas y la absorción de nutrientes; el aparato excretor, formado por los túbulos de malpigio; el circulatorio, se trata de un sistema abierto, que está lleno de hemolinfa (equivalente de nuestra sangre); el aparato respiratorio o ventilador, formando por un sistema traqueal; el aparato reproductor, con un par de glándulas sexuales; el sistema muscular bien desarrollado, con músculos formados por fibras capaces de contraerse y relajarse; y finalmente el sistema nervioso, que incluye los órganos de los sentidos, y a los órganos endócrinos y exócrinos.

Existen varios insectos cuyo aspecto al salir del huevecillo es muy similar al de los insectos adultos y durante el periodo de premaduración no sufren cambios al ocurrir la muda (ametábolos: no sufren metamorfosis), por ejemplo todos los apterigotos (hexápodos sin alas, (figura 1). En el resto de los insectos con alas o pterigotos (figuras 2-10) el periodo de premaduración consiste de una serie de cambios o etapas efectuados durante su desarrollo y cada uno con aspecto diferente, lo que da como resultado un individuo adulto muy diferente a sus estados juveniles (larvas [figura 3], ninfas [figura 2] o náyades [figura 4]) morfológica y biológicamente; estos insectos pasan por una metamorfosis, y se les llama metábolos.

La metamorfosis es un proceso de desarrollo postembrionario mediante el cual los insectos alcanzan su fase adulta (imago), llegan a la madurez sexual y en los pterigotos se desarrollan las alas (figuras 3-4). Es muy interesante el estudio de la metamorfosis de los insectos con alas, ya que interviene de manera importante en la evolución del grupo y proporciona elementos adecuados para su identificación taxonómica y el conocimiento biológico. Los cambios de forma durante el desarrollo de los metábolos difiere en los pterigotos y forma tres grupos: los paurometábolos y hemimetábolos, que tienen un

desarrollo de alas externamente (exopterigotos) y los holometábolos, con desarrollo de alas internamente (endopterigotos). Los paurometábolos (metamorfosis gradual) incluyen formas jóvenes (ninfas) similares al adulto y presentan los mismos hábitos y el mismo tipo de alimentación que ellos; su desarrollo consiste en cambios graduales, que se manifiestan en aumento de tamaño corporal, aparición paulatina de las alas y madurez sexual. Los hemimetábolos (metamorfosis incompleta), en comparación con los paurometábolos presentan cambios más marcados en su desarrollo, sus hábitos y forma de alimentación son diferentes en los adultos (figura 4), los cambios son más notorios porque el estado juvenil (náyade) es de hábitos acuáticos y los adultos son terrestres, esto trae como consecuencia diferentes métodos de alimentación y respiración. Los holometábolos son un grupo que está constituido por individuos en los que el período de premaduración durante su ciclo de vida consiste en una serie de estados muy diferentes en cuanto a su forma y hábitos. A estos insectos se les llama holometábolos o de metamorfosis completa y pasan por cuatro estados de desarrollo: huevo, larva, pupa y adulto o imago (figura 3).

Respecto a las relaciones filogenéticas de los hexápodos, son tema de discusión tanto en el contexto general (el grupo hermano de los hexápodos) como en el particular (las relaciones internas de los insectos). Con frecuencia se considera a los miriápodos y hexápodos más estrechamente relacionados entre sí, tanto que han sido agrupados dentro de un solo grupo, los Unirramia, por que poseen apéndices con una sola rama, al contrario de los apéndices birrameos de los Crustacea, Chelicerata y los Trilobita. Hay dos hipótesis alternativas en cuanto al probable grupo hermano de los hexápodos, la más apoyada históricamente y la cual está basada en caracteres de morfología externa e interna, es la que propone a los sinfilos o quilópodos (miriápodos); mientras que la segunda hipótesis (muy reciente y sustentada en análisis moleculares) propone a los crustáceos como el grupo hermano de los hexápodos. Internamente hay varios clados bien sustentados, tanto en caracteres morfológicos como moleculares, estos grupos principales, son los hexápodos sin alas y con el aparato bucal dentro de la cavidad bucal (Entognatha), los “polineópteros” u ortopteroides, los “paraneópteros” o hemipteroides y los “Holometabola”. Otros clados, como “Thysanura” y “Paleoptera” han resultado parafiléticos. Para

cada clado principal existen múltiples propuestas filogenéticas sobre las relaciones de los órdenes que los integran. Esta problemática es discutida en el curso.

Existe una amplia variedad en los hábitos alimenticios de los insectos, de tal manera que podemos encontrar insectos que pueden alimentarse de raíces, tallos, xilema de las plantas, fruta, etcétera (fitófagos). Están los que se alimentan de carroña, excrementos, etcétera (saprófagos) o los que son depredadores o parásitos (zoófagos).

Quizá una de las razones que pueden explicar la alta riqueza de especies de los insectos, se debe a las interacciones con plantas y otros organismos, debido a que existen mecanismos como el mutualismo, comensalismo, depredación o parasitismo. Otro aspecto, es que los insectos han desarrollado mecanismos de defensa muy eficientes, tales como la criptosis, mimesis, aposematismo, mimetismo, a la presencia de estructuras como las mandíbulas, sedas urticantes, a la capacidad de desprender alguna parte de su cuerpo (autonomía) o sacar el contenido estomacal (autohemorrea), liberación de sustancias irritantes. Por otro lado, la etología del grupo a dado lugar a su éxito reproductivo, desarrollándose conductas como la territorialidad, cortejo y selección sexual, oviposición, migración, vagabundeo, dispersión, gregarismo y la vida social.

El último tema de estudio en el curso de entomología consiste en aplicar todos los conocimientos adquiridos en el estudio e identificación las familias más representativas de los órdenes de hexápodos. También es importante que los alumnos aprendan a usar las claves dicotómicas para la determinación de las familias, así como a reconocer las estructuras más importantes que son útiles para el reconocimiento de tales familias; por ejemplo, el tipo de antenas, el tipo de patas y el aparato bucal.

Además de proporcionar los conocimientos básicos sobre la mayoría de los órdenes de insectos, es importante conocer qué entomólogos existen en el país, cuál es el conocimiento que se ha generado sobre los insectos mexicanos, y hacer énfasis en que aún se desconocen muchos aspectos de la entomofauna nacional, ya que son pocos los grupos de hexápodos que han sido estudiados.

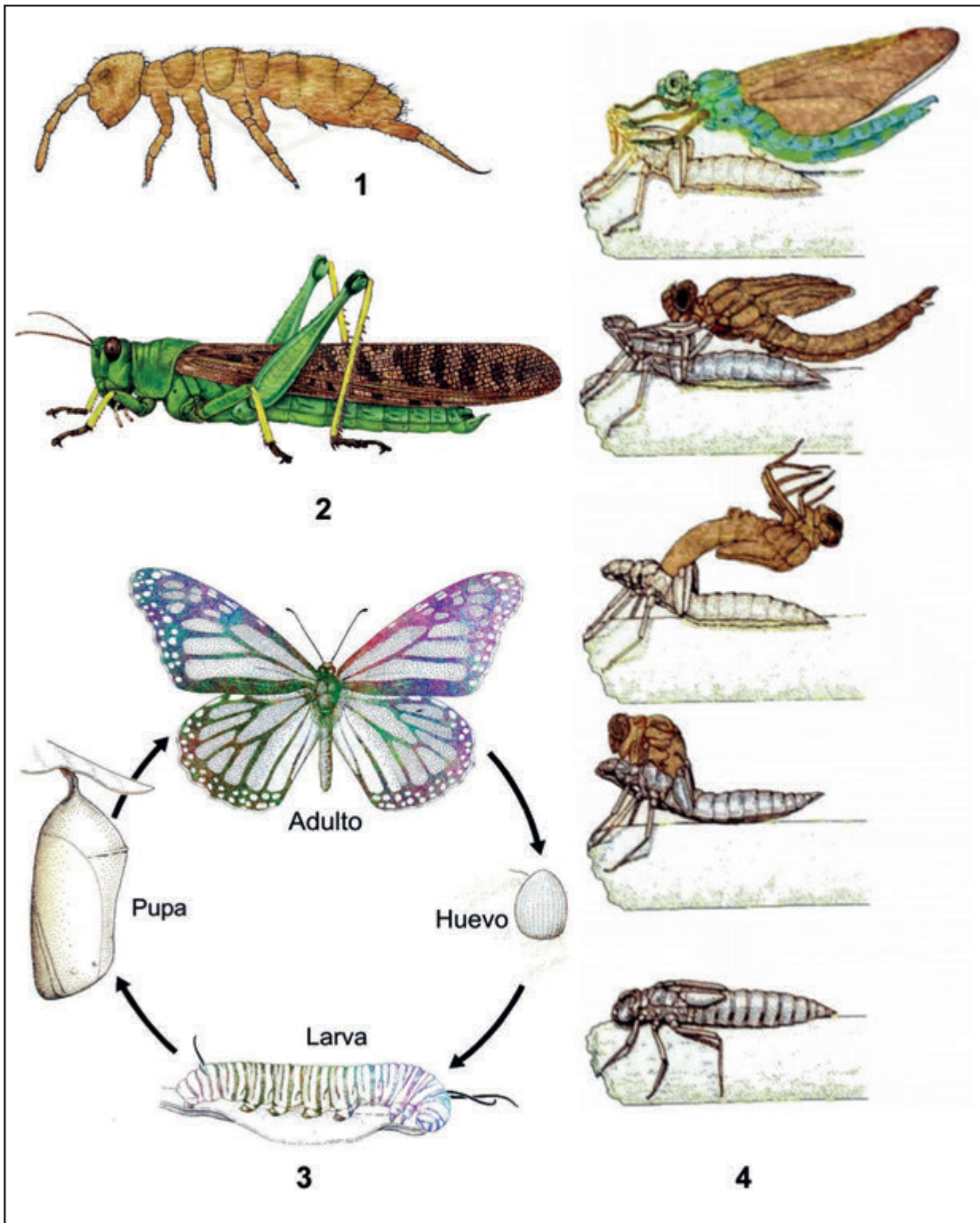
Este curso debe incluir una salida al campo para que se apliquen las técnicas adecuadas de colecta y preservación de hexápodos. Esta actividad está acompañada de un tema teórico llamado

“Técnicas de colecta y preservación”, el cual debe proporcionarse antes de la salida al campo.

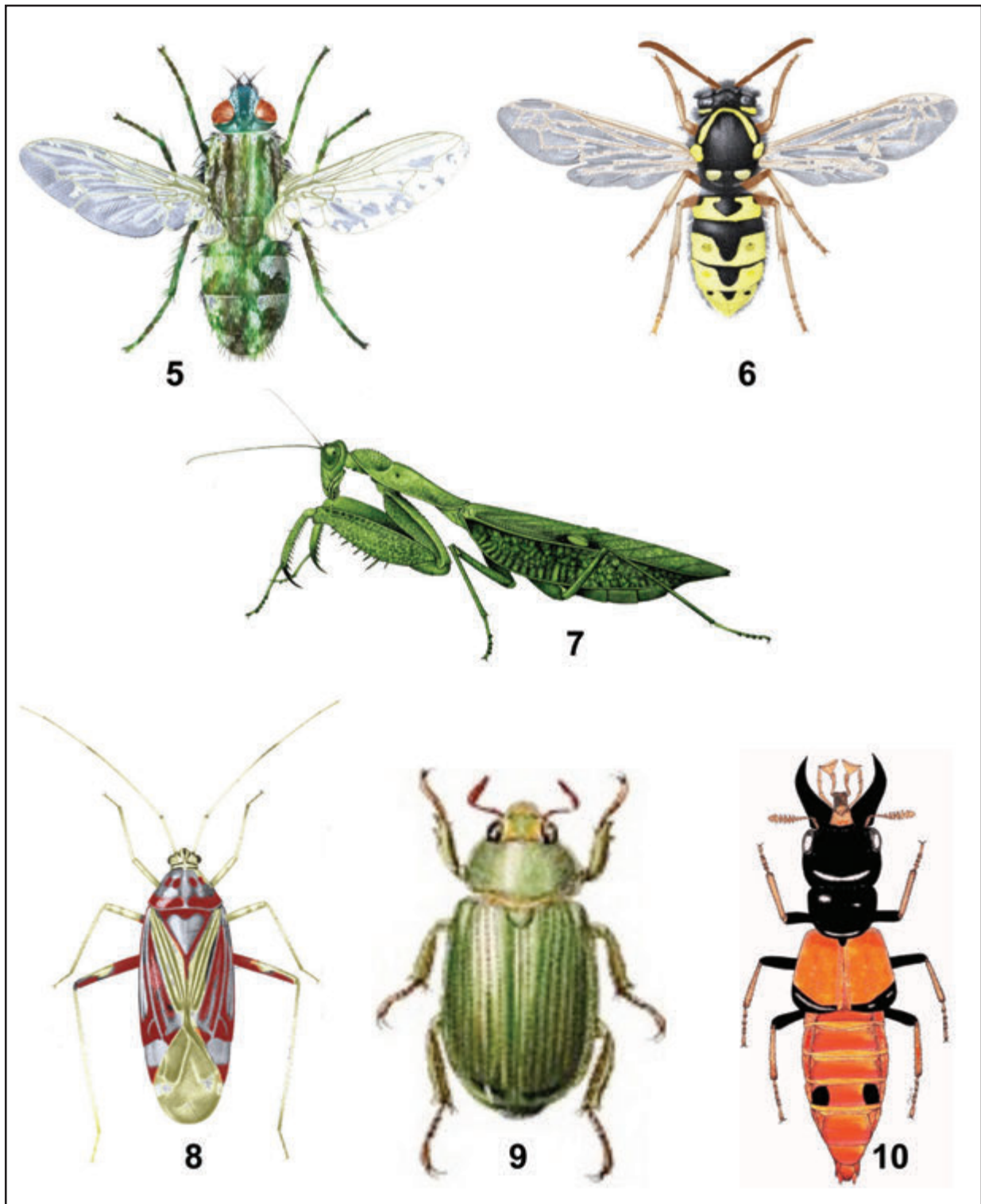
Literatura básica

- Borror, D., J. De Long, y C. A. Triplehorn. 1981. *An introduction to the study of insects*. 5a. ed. Saunders College Publishing. Chicago.
- Chapman, R. F. 1982. *The insects: structure and function*. Harvard University Press. Cambridge.
- Gillot, C. 1980. *Entomology*. Plenum Publishing Corp. New York.
- Gullan, P. J., y P. S. Cranston. 2000. *The insects: an outline of entomology*. Blackwell Science. USA.
- Imes, R. 1992. *The practical entomologist*. Simons & Building. New York.
- Llorente Bousquets, J., A. N. García Aldrete, y E. González Soriano (eds.). 1996. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Volumen I*. CONABIO, UNAM. México, D. F.
- Llorente Bousquets, J., E. González Soriano, y N. Papavero (eds.). 2000. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Volumen II*. CONABIO, UNAM. México, D. F.
- Llorente Bousquets, J., y J. J. Morrone (eds.). 2002. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Volumen III*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Llorente Bousquets, J., J. J. Morrone, O. Yáñez Ordóñez, e I. Vargas Fernández (eds.) 2004. *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. Volumen IV*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- Márquez Luna, J. 2005. *Técnicas de colecta y preservación de insectos*. Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa 37: 385-408.
- McGabin, G. 2002. *Entomología esencial*. Ariel Ciencia. España.
- Melic, A., J. J. De Haro, M. Mendez, e I. Ribera (eds.). 1999. *Evolución y filogenia de Arthropoda*. Volumen Monográfico. Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa 26: 1-806.
- Metcalf C. L., y W. P. Flint. 1988. *Insectos destructivos e insectos útiles, sus costumbres y su control*. Compañía Editorial Continental S. A. de C. V. México, D. F.

- Morón. M. A., y R. Terrón. 1988. *Entomología práctica*. Instituto de Ecología, A. C. México, D. F.
- Triplehorn, C. A., y N. F. Johnson. 2005. *Borrór and DeLong's introduction to the study of insects*. Thomson Brooks/Cole. Belmont.
- Vázquez García, L., y A. Villalobos. 1987. *Zoología del phylum Arthropoda*. 6ª. ed. Nueva Editorial Interamericana. México, D. F.
- Wilson, E. O. 1992. *The diversity of life*. W. W. Norton & Company. New York.
- Wheeler, W. C., M. Whiting, Q. D. Wheeler, y J. M. Carpenter. 2001. *The phylogeny of the extant Hexapod orders*. *Cladistics* 17: 113-169.



Figuras 1-4: hexápodos. 1: apterigoto (Collembola); 2: pterigoto (Orthoptera); 3: metamorfosis de tipo holometábola (Lepidoptera); 4: metamorfosis de tipo hemimetábola (Odonata) (modificadas de Gullan y Cranston, 2000).



Figuras 5-10: vista dorsal de, 5: mosca (Diptera); 6: avispa (Hymenoptera); 7: Mantodea (mantis religiosa); 8: chinche (Hemiptera); 9: escarabajo (Coleoptera); 10: estafilínido (Coleoptera) (figuras 5-9 modificadas de McGavin, 2002).

Herpetología

Nombre de los profesores:	Irene Goyenechea Mayer-Goyenechea Jesús Martín Castillo Cerón
Semestre en el que se imparte:	Octavo y noveno
Número de horas / semana:	Cuatro
Número de créditos:	Seis
Número de horas teóricas:	Dos
Número de horas prácticas:	Dos
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Biología de animales III y Biogeografía
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Temas selectos y Trabajos de investigación
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Temas selectos y Trabajos de investigación
Objetivos del curso:	<ol style="list-style-type: none">1. Introducir a los estudiantes en la disciplina de la herpetología.2. Dar a conocer las características principales de estos grupos.3. Proporcionar al estudiante un panorama del estado del conocimiento de los anfibios y reptiles del mundo.4. Proporcionar los conocimientos modernos de la clasificación de estos grupos.5. Preparar a los alumnos en los conocimientos generales de la diversidad y distribución de estos grupos.



Herpetología

Irene Goyenechea Mayer-Goyenechea y Jesús Martín Castillo Cerón

La herpetología se encarga de estudiar a cuatro grupos zoológicos diferentes: a los anfibios, las tortugas, los lepidosaurios y los arcosaurios. Se estudian juntos, debido a que los métodos de recolección y preparación son similares y tradicionalmente se trabajan en conjunto. Además, comparten algunas características, como el recargar el vientre sobre el piso debido al tipo de articulación y posición de los miembros, ser vertebrados y ser ectotérmicos, aunque tienen características e historias de vida muy diferentes. Los anfibios constituyen un grupo natural, o monofilético, en tanto que las tortugas, los lepidosaurios y los arcosaurios forman un grupo parafilético: los reptiles.

El curso inicia con la introducción de la herpetología a los estudiantes, así como a la historia de esta disciplina, el tipo de trabajos que se han derivado de investigaciones en herpetología y ofrece un panorama de las instituciones y los investigadores que se dedican a esta área de la biología, para que desde el principio se interrelacionen con ellos.

Se proporciona un enfoque evolutivo de los grupos en el que se muestran las diferentes teorías que existen para explicar el origen tanto de anfibios como de reptiles, además de que se entra en detalle en cuanto a las adaptaciones que los anfibios debieron tener para poder invadir el medio terrestre. Además, se mencionan los principales grupos fósiles de anfibios y reptiles, así como las clasificaciones actuales de ambos grupos, lo que permite reconocer que los anfibios forman un grupo natural, porque comparten características como la de poseer dos tipos de glándulas en la piel, presentar tres tipos de respiración y un tegumento muy vascularizado, entre otras. Los reptiles por su parte, constituyen un grupo parafilético si se dejan fuera a las aves, y sus principales características son poseer una epidermis cubierta por escamas o plumas, poseer huevos protegidos por membranas (huevo amniota), fertilización interna y respiración pulmonar, entre otras. Se estudian los diferentes aparatos y sistemas que constituyen la anatomía de los anfibios y de los reptiles, y se hace énfasis en el tipo de huevos que presentan, debido a que los anfibios no poseen un huevo amniota, mientras que el huevo de los reptiles es amniota.

Otros temas que se abordan en la primera parte del curso están relacionados con la diversidad y la distribución de los anfibios, los cuales se conforman de tres órdenes: Gymnophiona o Apoda (las cecilias), Caudata o Urodela (las salamandras) y Anura o Salientia (las ranas y los sapos).

Según los trabajos más recientes, el orden Gymnophiona (figura 1a) está conformado por seis familias, aunque las relaciones filogenéticas entre éstas no han sido esclarecidas del todo, puesto que las tres familias más apomórficas se han recobrado como un grupo polifilético. Dentro de este grupo no resuelto se encuentra la única familia del orden que se distribuye en México.

El orden Caudata (figura 1b) está compuesto por dos superfamilias, Salamandroidea y Cryptobranchoidea. La primera está conformada por ocho familias, de las cuales cuatro se distribuyen en México, pero una de ellas, la familia Plethodontidae, con tres géneros en México, es muy importante debido a que estos organismos sólo respiran a través de la piel, e investigaciones moleculares recientes, adicionan nuevas especies. La segunda superfamilia, Cryptobranchoidea, comprende dos familias de salamandras que están consideradas como las más apomórficas del grupo.

Las ranas y los sapos constituyen al orden Anura (figura 1c), un grupo monofilético, el cual posee una distribución cosmopolita. Dentro de este orden se reconocen dos grupos, los anuros primitivos, con nueve familias, tres con distribución en México; y los Neobatrachia, conformados a su vez por dos superfamilias, Bufonoidea y Ranoidea, que comprenden once y siete familias, respectivamente. De éstas, cuatro familias de bufonoideos y dos de Ranoidea tienen representantes en México.

Además de la diversidad y distribución de los anfibios, se tocan temas como la importancia económica de este grupo en la alimentación, en investigaciones médicas, así como las posibles causas de la declinación mundial de los anfibios.

La segunda parte del curso se dedica a los reptiles, y se enfatiza en temas como la diversidad y la distribución de los mismos. Se inicia con la explicación de las relaciones filogenéticas entre los Amniota, para dejar claro cuál es el lugar que

ocupan las aves dentro de este grupo. Además, se abordan diferentes clasificaciones dentro de los reptiles, pero se sigue una de las más actualizadas, que indica que están conformados por tres órdenes: Chelonia o Testudines (las tortugas), Lepidosauria (las lagartijas, las serpientes, los anfisbénidos y las tuátaras) y Crocodylia (los cocodrilos y los caimanes).

El orden Chelonia (figura 1d) es el más basal dentro de un cladograma del grupo de los reptiles y se caracteriza por presentar un cráneo anápsido; es decir, sin ningún tipo de orificio en él. Se divide en dos subórdenes: Pleurodira y Cryptodira. Las tortugas pleurodiras se caracterizan porque retraen la cabeza doblando el cuello lateralmente bajo el borde del caparazón, mientras que las tortugas criptodiras retraen su cabeza dentro del caparazón al doblar el cuello en forma de “S” vertical. El suborden Pleurodira se distribuye en la parte sur del planeta, y se conforma de tres familias cuyas relaciones filogenéticas están bien establecidas: las familias Pelomedusidae y Podocnemidae, que son grupos hermanos; y la familia Chelidae que es el grupo hermano de ambas.

Las relaciones filogenéticas del suborden Cryptodira no están resueltas, puesto que existe una politomía entre las familias que lo conforman, pero se ha dividido en tres superfamilias: Testudinoidea, que incluye a las familias Testudinidae, Bataguridae y Emydidae; Tryonichoidea, dentro de la que se forman dos grupos, uno con las familias Tryonichidae y Charetchelidae, y el otro conformado por las familias Dermatemydidae y Kinosternidae. La tercer superfamilia, Chelonioidea, se compone de dos familias, Cheloniidae y Dermochelidae. Además existe la familia Chelydridae, que no forma parte de ninguna superfamilia. Es interesante notar que las familias de tortugas marinas no conforman un grupo monofilético, puesto que se encuentran en dos superfamilias.

El orden Lepidosauria está compuesto de dos subórdenes. El suborden Rhynchocephalia solo contiene a la familia Sphenodontidae (figura 2a), que incluye un género y dos especies recientes que se distribuyen en Nueva Zelanda. Se les conoce como tuátaras y son organismos pancrónicos, es decir, que existen hace millones de años y sobreviven hasta nuestros días sin grandes cambios morfológicos. El suborden Squamata se divide, a su vez, en dos: Sauria y Ophidia. El grupo Sauria incluye a todas las lagartijas, y en el grupo Ophidia se encuentran todas las serpientes.

Los saurios (figura 2b) se dividen también en dos grandes grupos: Iguania y Scleroglossa. El grupo Iguania comprende diez familias cuyas relaciones filogenéticas no se conocen con precisión, sólo se conoce que existen dos grupos, uno conformado por las familias Agamidae y Chamaleonidae, las cuales son lagartijas del viejo mundo, y el otro conformado por la familia Iguanidae, que se divide a su vez en las subfamilias Corytophaninae, Crotaphytinae, Hoplocercinae, Iguaninae, Oplurinae, Phrynosomatinae, Polychrotinae y Tropidurinae, aunque existen controversias en la aceptación de estas subfamilias, sobre todo en lo que tiene que ver con las jerarquías que se manejan en los nombres. De estas lagartijas, sobresalen Phrynosomatinae, Polychrotinae, Iguaninae, Corytophaninae y Crotaphytinae, quienes se distribuyen en México.

Las relaciones de los Scleroglossa tampoco están bien conocidas, sobre todo a nivel basal. Se sabe que el grupo está conformado por 19 familias ubicadas en cuatro grupos. Uno de estos grupos incluye a los Amphisbaenia, que son cinco familias que han perdido las extremidades de forma secundaria. Otro grupo está conformado por la familia Gekkonidae, cuya diversidad mundial es muy amplia. El tercer grupo está constituido por siete familias, cuyas relaciones filogenéticas están bien establecidas, y el cuarto grupo se compone de seis familias en dos grupos monofiléticos.

Para clasificar a los ofidios (figura 2c) existen también diversas propuestas, una de las cuales propone que todas las serpientes están incluidas dentro de dos grupos, los Scolecophidia, o serpientes primitivas representadas por tres familias, y los Aletynophidia o serpientes avanzadas, los cuales se dividen a su vez en Macrostromata, Caenophidia y Colubroidea, siendo este último el clado más derivado; sin embargo, las relaciones al interior de algunos de estos grupos no se han esclarecido del todo.

El orden Crocodylia (figura 2d), que es el grupo hermano de las aves, está conformado por tres familias, de las cuales dos se distribuyen en México. Las relaciones de las tres familias están bien establecidas, Alligatoridae es la familia más basal y Crocodylidae y Gavialidae son grupos hermanos. La familia Gavialidae no se encuentra distribuida en México y está constituida por dos géneros, *Gavialis* y *Tomistoma*. Estos cocodrilos se caracterizan por poseer un hocico estrecho.

La familia Crocodylidae está formada por los géneros *Crocodylus*, con doce especies, y

Osteolaemus, con una especie. Se distribuyen en gran parte del mundo y se caracterizan porque el cuarto diente se observa fuera del hocico.

La familia Alligatoridae está conformada por tres géneros y ocho especies, cuya distribución se encuentra en general restringida a América Central y América del Sur. Una especie, *Alligator mississippiensis*, se distribuye en el sureste de Estados Unidos, y *Alligator sinensis* en el este de China.

Al finalizar este tema, el cual constituye la mayor parte del programa, se aborda la importancia económica que tienen los reptiles, en la alimentación, en la medicina debido a sus venenos, así como los aspectos culturales que tienen que ver con estos organismos.

En la parte final del curso se preparan seminarios relacionados con algunos temas selectos de la biología de los anfibios y los reptiles, entre los que destacan estrategias reproductivas, adaptaciones alimenticias, adaptaciones fisiológicas, conducta, ecología y conservación.

Se considera una salida al campo en la cual se reconocen los grupos estudiados en clase y se ponen en práctica las técnicas de colecta y preservación que se explican previamente.

Literatura básica

- Benton, M. J. 1991. Amniote phylogeny. En: Schultze, H. P. y L. Trueb (eds.). *Origins of the higher groups of tetrapods*. Comstock Publication Association. New York. p: 317-330.
- Brochu, C. A. 1999. *Phylogenetics, taxonomy, and historical biogeography of Alligatoroidea*. Journal of Vertebrate Paleontology 19(2): 9-100.
- Campbell, J. A., y W. W. Lamar. 1989. *The venomous reptiles of Latin America*. Cornell Univ. Press. New York.
- Casas, A. G., y C. J. McCoy. 1979. *Anfibios y reptiles de México, claves ilustradas para su identificación*. Limusa. México, D. F.
- Duellman, W. E., y L. Trueb. 1986. *Biology of amphibians*. MacGraw Hill. New York.
- Flores-Villela, O., F. Mendoza-Quijano, y G. García-Porter (comps.). 1995. *Recopilación de claves para la determinación de anfibios y reptiles de México*. Publicaciones Especiales del Museo de Zoología, UNAM. México D. F.
- Flores-Villela, O. 1993. *Herpetofauna of Mexico: Distribution and endemism*. En: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). Biological diversity of Mexico: Origins and distributions. Oxford University Press. New York. p: 253-280.
- Flores-Villela, O., y L. Canseco-Márquez. 2004. *Nuevas especies y cambios taxonómicos para la herpetofauna de México*. Acta Zoológica Mexicana (n.s.) 20(2): 115-144.
- Flores-Villela, O., e I. Goyenechea. 2003. *Patrones de distribución de anfibios y reptiles en México*. En: Morrone, J. y J. Llorente (eds.). Una perspectiva Latinoamericana de la biogeografía. Las prensas de Ciencias, Facultad Ciencias, UNAM. México, D. F. p: 289-296.
- Goyenechea, I., y J. M. Castillo-Cerón. 2002. *Historia geológica de las serpientes*. Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana 10(2): 35-42.
- Heyer, W. R., M. A. Donnelly, R. W. McDiarmid, L. A. C. Hayek, y M. S. Foster. 1994. *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for amphibians*. Smithsonian Institution Press. Washington.
- Pough, F. H., R. M. Andrews, J. E. Cadle, M. L. Crump, A. H. Savitzky, y K. D. Wells. 2001. *Herpetology*. 2a. ed. Prentice Hall. New Jersey.
- Zug, G. R. 1993. *Herpetology. An introductory biology of amphibians and reptiles*. Academic Press Inc. California.



Figura 1: los tres grupos de anfibios recientes y el grupo de las tortugas: a) el grupo de los cecilidos o Gymnophiona, representado por *Typhlonectes natans*; b) el grupo de las salamandras o Caudata, representado por *Pseudoeurycea belli*; c) el grupo de los anuros o Anura, representado por *Lithobates spectabilis*; d) el grupo de las tortugas o Testudines, representado por *Kinosternon hirtipes* (tomadas de: a, internet; b, c y d, © L. Fernández-Badillo).

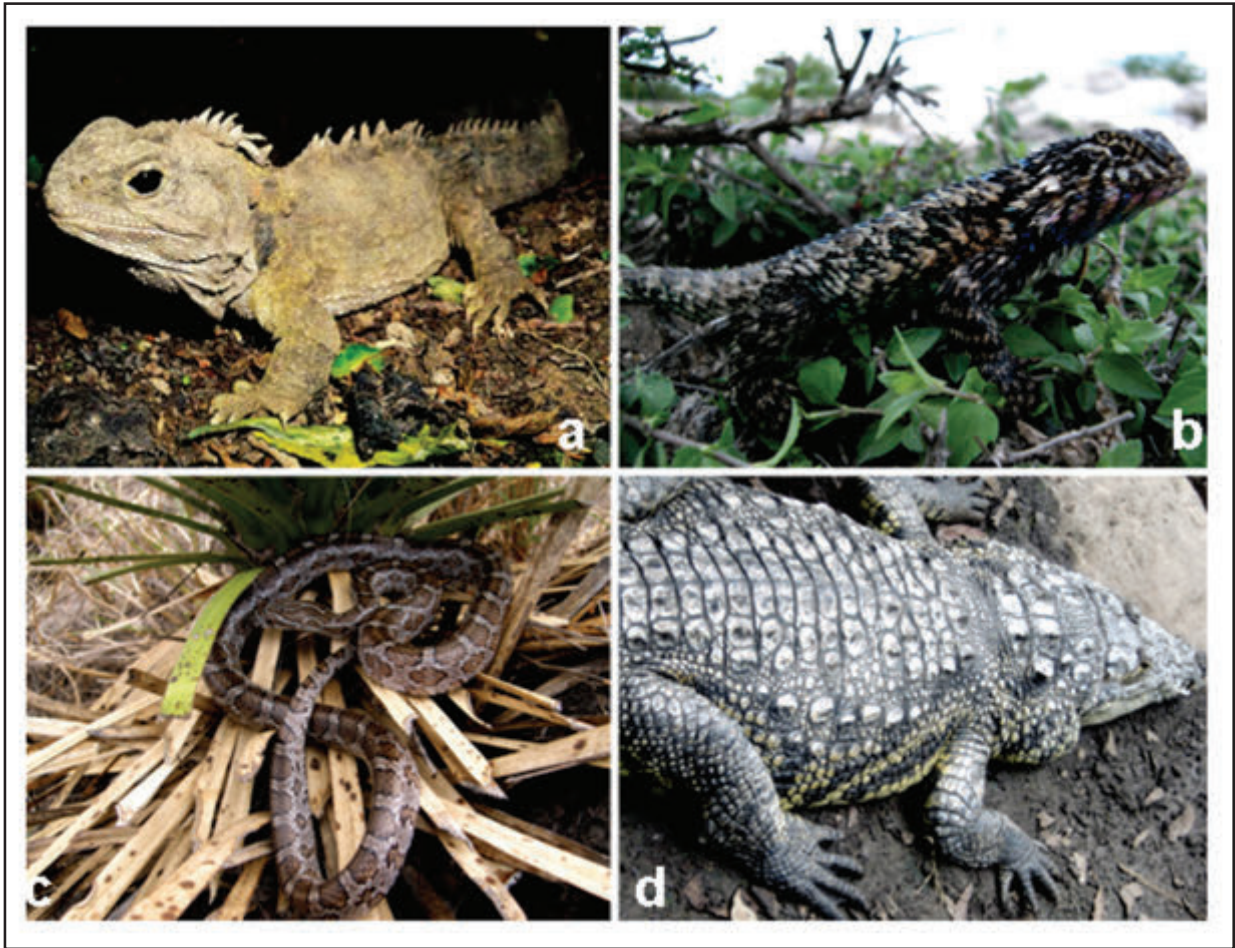


Figura 2: los diferentes grupos de reptiles: a) el grupo de las tuátaras o Rhynchocephalia, representado por *Sphenodon punctatus*; b) el grupo de las lagartijas o Sauria, representado por *Sceloporus spinosus*; c) el grupo de las serpientes u Ophidia, representado por *Pantherophis guttatus*; d) el grupo de los cocodrilos o Crocodylia, representado por *Crocodylus acutus* (tomadas de: a, © P. Aryan; b y c, © L. Fernández-Badillo; d, © J. Castillo-Cerón).

Técnicas de muestreo en anfibios y reptiles

Nombre del profesor:	Irene Goyenechea Mayer-Goyenechea
Semestre en el que se imparte:	Séptimo a noveno
Número de horas / semana:	Cuatro
Número de créditos:	Seis
Número de horas teóricas:	Dos
Número de horas prácticas:	Dos
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Biología de animales III y Biogeografía
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Temas selectos y Trabajos de investigación
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Herpetología y Trabajos de investigación
Objetivos del curso:	



1. Que el alumno reconozca los lugares susceptibles para encontrar anfibios y reptiles, así como a aprender la correcta toma de datos en campo.
2. Que el alumno aprenda la manera adecuada para preparar y curar a los ejemplares.
3. Que el alumno conozca y entienda las diferentes técnicas utilizadas para el estudio de anfibios y reptiles.
4. Que el alumno conozca y aplique correctamente las técnicas alternativas para el estudio de anfibios y reptiles.
5. Que el alumno valore las colecciones herpetológicas como centros de información.

Técnicas de muestreo en anfibios y reptiles

Irene Goyenechea Mayer-Goyenechea

Este es un curso teórico práctico en el que se pretende introducir a los estudiantes en las técnicas usuales de muestreo de los anfibios y los reptiles, para que, entre otras cosas, puedan diseñar el trabajo de campo en sus investigaciones.

El curso se inicia con una unidad en donde se les recuerda que los animales estudiados incluyen a cuatro grupos zoológicos diferentes, a los anfibios, las tortugas, los lepidosaurios y los arcosaurios, pero que, debido a que sus métodos de recolecta y preparación son semejantes, tradicionalmente se estudian juntos. Estos grupos zoológicos comparten algunas características, como ser vertebrados, depender de una fuente de calor externa para regular su temperatura corporal y recargar el vientre sobre el piso debido al tipo de articulación y posición de los miembros, aunque difieren en muchos otros aspectos. Los anfibios constituyen un grupo natural, o monofilético, en tanto que las tortugas, los lepidosaurios y los arcosaurios, forman un grupo parafilético: los reptiles.

En seguida se explica cuáles son los lugares susceptibles para recolectar anfibios y reptiles, el material que se requiere para la correcta recolección, así como los datos de campo que deben tomarse una vez que el ejemplar ha sido capturado, cómo debe registrarse cada organismo recolectado y cómo deben transportarse al laboratorio.

La siguiente parte del curso se dedica a la correcta preparación del material recolectado en campo (figura 1); en ésta se indica la forma adecuada de sacrificar a los organismos de la manera más humanitaria posible, la cual incluye el uso de anestésicos locales y la congelación, entre otros. Se les instruye en las técnicas para la extracción de tejidos corporales (músculo, intestino e hígado), y la forma en la que deben almacenarse permanentemente. Dichos tejidos son de mucha utilidad para estudios posteriores, tanto bioquímicos como moleculares. Se aborda, además, la correcta forma de fijar, poniendo atención en las regiones del cuerpo que deben inyectarse con formol y la manera en que se debe almacenar a los organismos una vez sacrificados, su almacenamiento permanente, así como las normas para la curación de los anfibios y los reptiles. Se termina esta parte

con una explicación del uso de las claves para la identificación de organismos, por lo que se requiere de actividades teóricas y prácticas.

La parte medular del curso involucra el conocimiento de las técnicas tradicionales y alternativas para el muestreo de anfibios y reptiles, por lo que en esta parte del curso se exploran a profundidad. Se inicia con la explicación de que los inventarios de herpetozoos son muy importantes, debido a la diversidad de estos organismos y que pueden constituir la proporción más grande de vertebrados en ciertos ecosistemas, por ejemplo los reptiles dominan en tierras áridas. Además, sobrepasan en número a las aves y a los mamíferos, tanto en diversidad como en número de individuos, y son importantes como depredadores y presas en los ecosistemas, por lo que constituyen un recurso natural de importancia, que permite hacer consideraciones en evaluaciones de biodiversidad.

Se explican los diferentes tipos de inventarios que pueden realizarse con herpetozoos y el tipo de datos y análisis que pueden obtenerse de los mismos, para después explorar las técnicas tradicionales (figura 2), que incluyen el método de búsqueda directa, el cuál permite conocer de forma rápida cuáles especies y con qué abundancias relativas se representan en cierto lugar; sin embargo, se indica que este método no es suficientemente riguroso como para cuantificar de manera adecuada otros indicadores más finos (como la densidad), pero se da a conocer la forma más común para determinar si los inventarios son completos, a través de curvas de acumulación de especies. Además, si se conoce el esfuerzo de muestreo y éste es semejante en diversos sitios, se pueden obtener datos para establecer algunas comparaciones.

En seguida se expone el muestreo en transectos, los cuales son recorridos a lo largo de una línea predeterminada, efectuados a una velocidad uniforme, en los que se intenta detectar la presencia de individuos (o grupos) de anfibios o reptiles, aunque su aplicación requiere establecer con claridad a qué tipo de anfibios o reptiles se aplicará, para evitar sesgos. Los transectos pueden colocarse dentro de una unidad de muestreo homogénea, de manera que atraviesen porciones representativas de la

heterogeneidad ambiental, o pueden colocarse un número razonablemente alto de transectos para incluir la mayor cantidad posible de hábitats, aunque si se quiere obtener información más detallada sobre la distribución de las especies, es mejor establecer transectos en cada uno de los distintos estratos del mismo.

Se aborda también la técnica del transecto de ancho variable, que consiste en realizar recorridos en los que cada registro se asocia con la distancia perpendicular a la cual se halló, con respecto a la línea de recorrido y se aplica en organismos que pueden detectarse visual o auditivamente con certeza, y no a aquellos a los cuales debe buscarse activamente. Los datos obtenidos con este método pueden analizarse para calcular la densidad aparente de la especie o especies que se estudien.

La siguiente técnica que se explica, es el muestreo de parcelas, la cual se usa para obtener datos más precisos de la densidad de las especies y de la ubicación de los individuos. En esta técnica se registran todos los animales que se encuentren, tomando nota del tipo de microhábitat y los datos que se obtienen son más realistas en cuanto a la densidad y la abundancia relativa de las especies. También se obtiene información de la distribución espacial de las especies, el reparto de los distintos microhábitats y algunos rasgos importantes de las historias de vida de cada especie.

El muestreo en puntos de concentración se usa en especies de anfibios o reptiles que son selectivos en el microhábitat que utilizan, y tienden a concentrarse en puntos donde las condiciones son especialmente favorables. Esta técnica se utiliza para obtener un indicador de la condición de las poblaciones en los puntos de concentración, y los datos que se obtienen son la estimación del número de organismos en cada punto, así como datos sobre la condición momentánea y las tendencias de la población que interesa analizar.

Las técnicas alternativas (figura 3) que se abordan son el trampeo, el radiorastreo y el marcaje, las cuales se usan debido a que algunos métodos de muestreo directo y de transecto pueden fallar si los anfibios y reptiles a estudiar tienen hábitos nocturnos o un comportamiento sumamente discreto, entre otros. Dentro de las trampas que se usan para el muestreo de anfibios y reptiles, están las cercas de conducción con o sin trampas asociadas. Consiste en una tira de lámina colocada verticalmente y parcialmente hundida en el suelo, la cual no permite el paso de anfibios y reptiles

terrestres. Además, se colocan varias cercas en el sitio de muestreo para conducir a los animales a las trampas, que son los dispositivos que retienen a los organismos y pueden ser de dos tipos: de caída o de puerta unidireccional.

Las trampas de caída se colocan en los extremos y en medio de la cerca a intervalos regulares y se entierran al nivel del suelo. Pueden usarse cubetas de 20 litros de capacidad, con pequeñas perforaciones y se les puede colocar un embudo de plástico. Las trampas de puerta unidireccional son accesorios adicionales para las cercas de conducción, las cuales tienen una puerta ligera a cada lado, articulada, que sólo se abre en una dirección. Las trampas se usan para estudios de mediano y largo plazo para conocer la riqueza de especies, su abundancia relativa, así como la diversidad ecológica, y los desplazamientos de los individuos, entre otros.

El radiorastreo es una técnica de telemetría que consiste en el rastreo basado en la determinación de una serie de ubicaciones de emisiones de radio; se sigue la señal emitida por un radiotransmisor colocado en un animal, la cual se sigue a través de un receptor equipado con antena direccional.

Las técnicas de marcaje tradicional consisten en tatuajes, aretes plásticos, pintura temporal, muescas en escamas y otras, las cuales permiten identificar a los organismos para realizar estudios como la reconstrucción del área de actividad, así como para determinar preferencias de hábitat y algunos patrones de movimiento.

Finalmente, se aborda el tema de las colecciones herpetológicas, las cuales pueden definirse como depositarias del acervo histórico de la vida sobre la Tierra y cuyo objetivo es conservar a los ejemplares para la investigación, difusión del conocimiento y como referencia futura. Se analiza su importancia como parte medular de los centros de investigación sobre biodiversidad, especialmente en sistemática, y por albergar información indispensable para proponer y contrastar hipótesis en biología comparada. Se habla de la forma de mantener una colección herpetológica y los estándares internacionales que se deben seguir para ello. Además, se indica la importancia que tiene la información bibliográfica asociada a la colección y el uso que los interesados pueden hacer de las colecciones herpetológicas en el país y en el mundo, por medio de la revisión de ejemplares o de información publicada de las mismas.

Se contempla que los alumnos lean artículos a

lo largo del curso, así como actividades prácticas en las colecciones húmedas, las cuales consisten en la identificación y curación del material estudiado. Se presenta un trabajo final que consiste en la escritura de un proyecto en el que incluyan una o más de las técnicas estudiadas. Es deseable que el tema esté relacionado con el trabajo de tesis de los alumnos.

Literatura básica

- Cato, P. S. 1994. *Guidelines for the care of natural history collections*. Collection forum 10(1): 32-40.
- Donnelly, M. A., C. Guyer, J. E. Juterbock, y R. A. Alford. 1994. *Techniques for marking amphibians*. En: Heyer, R. W., M. A. Donnelly, R. W. McDiarmid, L. C. Hayek, y M. Foster (eds.). *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for amphibians*. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C. p: 277-284.
- Ferner, J. W. 1979. *A review of marking techniques for amphibians and reptiles*. Society for the study of amphibians and reptiles. Herpetological Circular 9: 1-41.
- Greenberg, C. H., D. G. Neary, y L. D. Harris. 1994. *A comparison of herpetofaunal sampling effectiveness of pitfall, single-ended, and double-ended funnel traps used with drift fences*. Journal of Herpetology 28(3): 319-324.
- Heyer, R. W., M. A. Donnelly, R. W. McDiarmid, L. C. Hayek, y M. Foster (eds.). 1994. *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for amphibians*. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C.
- Jacobs, J. F. y W. R. Heder. 1994. *Collecting tissue for biochemical analysis*. En: Heyer, R. W., M. A. Donnelly, R. W. McDiarmid, L. C. Hayek, y M. Foster (eds.). *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for amphibians*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C. p: 299-301.
- Manzanilla, J., y J. E. Péfaur. 2000. *Consideraciones sobre métodos y técnicas de campo para el estudio de anfibios y reptiles*. Revista Ecología Latin América 7(1): 17-30.
- McDiarmid, R. W. 1994. *Preparing amphibians as scientific specimens*. En: Heyer, R. W., M. A. Donnelly, R. W. McDiarmid, L. C. Hayek y M. Foster (eds.). *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for amphibians*. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C. p: 289-297.
- Pisani, G. R. 1973. *A guide to preservation techniques for amphibians and reptiles*. Society for the Study of Amphibians and Reptiles. Herpetological Circular 1: 1-22.
- Sánchez, O. 2006. *Conservación y manejo de anfibios y reptiles: Métodos y técnicas*. Publicado por el autor. México, D. F.
- SEMARNAT. 2002. *Investigación y colecta científica en materia de vida silvestre*. Secretaría de Ecología Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F.
- Simmons, J. E. 1999. *Colecciones de historia natural: Almacenamiento de colecciones y datos a largo plazo*. Apoyo 9(2): 3-6.

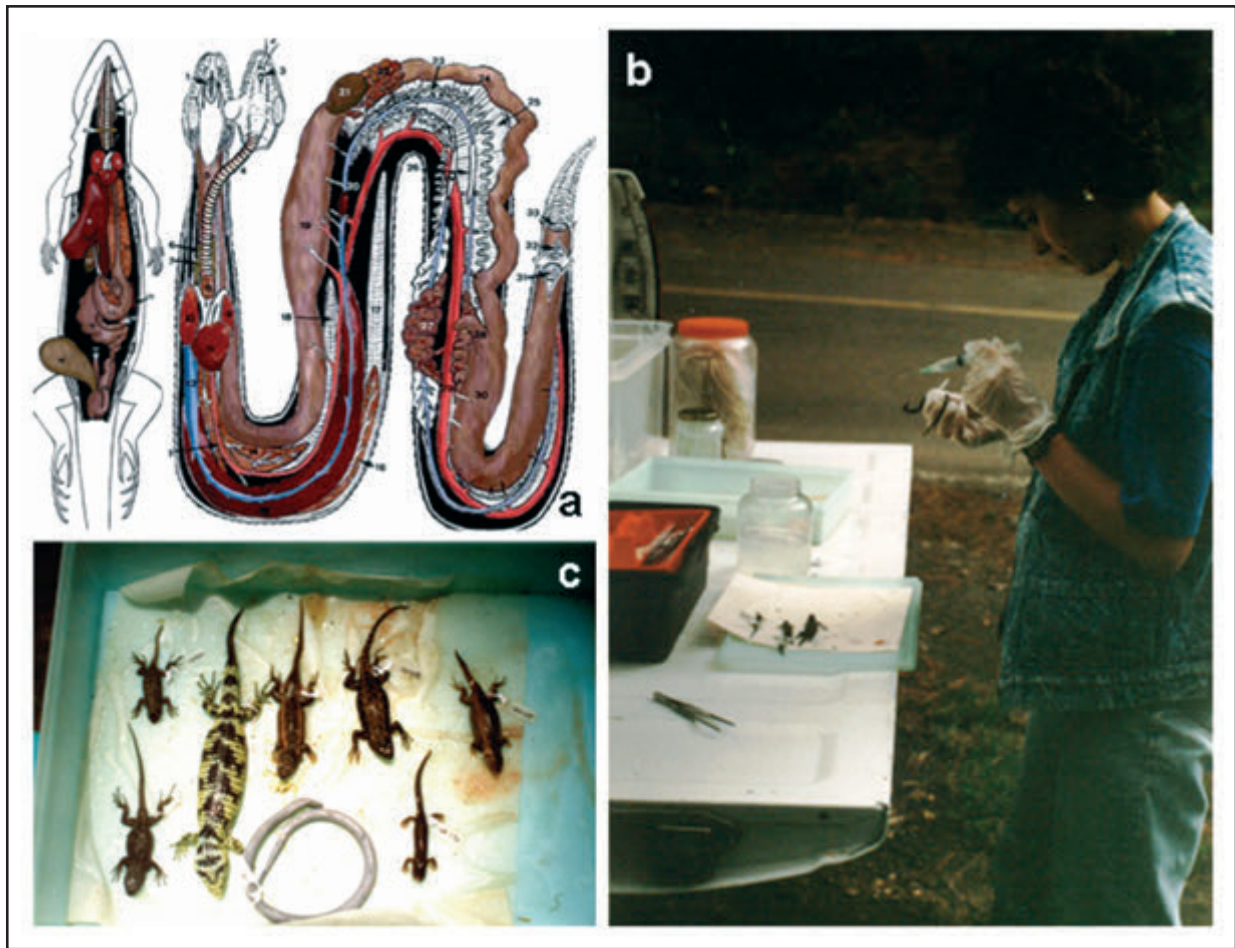


Figura 1: preparación del material: a) disección de una lagartija (izquierda) y serpiente (derecha) en la que se observan los tejidos corporales que se deben extraer; b) una vez extraídos los tejidos, se les inyecta con formol para su conservación; c) herpetozoos fijados con formol y acomodados en posición anatómica natural previo a su resguardo en la colección (tomadas de: a, internet; b y c, por J. M. Castillo).



Figura 2: técnicas tradicionales para la captura de anfibios y reptiles: a) recorrido diurno en busca de herpetozoos; b) búsqueda directa de anfibios; c) revisión de un transecto de ancho variable; d) trazado de un transecto en parcelas (tomadas de: a, b y d, internet; c, por J. M. Castillo).



Figura 3: técnicas alternativas para la captura de herpetozoos: a) trampa de caída; b) cercas de conducción; c) ectomización de falanges; d) marcaje dorsal con pintura (tomadas de internet).

Ictiología

Nombre del profesor: Katia Adriana González Rodríguez

Semestre en el que se imparte: Octavo y noveno

Número de horas / semana: Cuatro

Número de créditos: Seis

Número de horas teóricas: Dos

Número de horas prácticas: Dos

Relación con asignaturas de semestres anteriores: Biología de animales III

Relación con asignaturas de semestres posteriores: Fisiología animal comparada

Relación con asignaturas del mismo semestre: Acuicultura y sanidad acuícola

Objetivos del curso:

1. Que los alumnos conozcan el origen y evolución de los peces, las características particulares de cada clase; así como, los cambios evolutivos y radiaciones adaptativas que han surgido en cada grupo.

2. Que los alumnos conozcan la diversidad y distribución actual de los grupos de peces, con énfasis en la fauna de México.

3. Que los alumnos comprendan la importancia de la conservación y explotación de los recursos piscícolas en México.



Ictiología

Katia Adriana González Rodríguez

Esta asignatura optativa complementa el conocimiento del grupo de los peces, estudiado en el curso de Biología de animales III. Aquí se profundiza sobre la anatomía, sistemática, evolución y distribución de los peces, que son el grupo más antiguo y numeroso dentro de los vertebrados. En la actualidad se conocen alrededor de 27 mil especies vivientes, pertenecientes a 515 familias (Nelson, 2006) y aún existen muchas más por descubrir; además del amplio registro fósil que se halla alrededor del mundo, el cual data de hace más de 450 millones de años (Maisey, 1996). Los peces son animales vertebrados que han colonizado todos los hábitats acuáticos y ocupan un sinnúmero de nichos.

A lo largo de la evolución del grupo han ocurrido modificaciones en su plan estructural y varias radiaciones, que se ven reflejadas en su amplia diversidad. La forma típica fusiforme del cuerpo, los apéndices natatorios (aletas), la capacidad de obtener el oxígeno del agua a través de las branquias y muchas otras características anatómicas y fisiológicas, han permitido su diversificación y permanencia. En el curso se conocerán los diferentes taxones, que incluyen desde los peces sin mandíbulas (agnatos y mixinos), hasta los peces cartilaginosos (tiburones, rayas y quimeras) y peces óseos (la mayoría de los que se conocen en la actualidad). Se estudiará la anatomía de cada taxón y las relaciones filogenéticas con otros grupos de cordados (figura 1). Se analizarán las adaptaciones morfológicas y fisiológicas en cada clase y se hablará sobre su distribución, importancia económica y conservación, haciendo énfasis en las especies mexicanas.

El curso comienza con el reconocimiento del plan corporal de los primeros vertebrados y el origen de los mismos. Se revisará la anatomía general de los cordados, para comprender más adelante, las modificaciones que se presentan en cada grupo de peces. Con base en diferentes hipótesis de relaciones filogenéticas, se estudiará cada taxón. Se comenzará con la revisión de las características generales de los peces, para analizar las modificaciones en cada grupo taxonómico. En términos generales se revisará los siguientes grupos:

Agnatha: agnato es un término que se ha utilizado para incluir a todos los peces sin mandíbulas; sin embargo, éstos no constituyen un grupo monofilético. Los agnatos, además de carecer de mandíbulas, carecen de aletas pélvicas, vértebras y esqueleto branquial, características que están presentes en otros taxones de peces. En este grupo se incluye a los ciclóstomos o peces con boca circular (lampreas [figura 2] y mixínidos [figura 3]) que asimismo, carecen de escamas, y a los ostracodermos (figura 4), peces extintos que presentaban grandes armaduras óseas. En el curso se revisará las características de cada uno, y las hipótesis de relación basadas en datos morfológicos y moleculares, los cuales indican que esta agrupación de peces no es natural.

Gnathostomata: los gnatostomados incluyen a todos los peces con mandíbulas. Se revisará los grupos fósiles y recientes, y se estudiará el origen y evolución de las mandíbulas. Los peces mandibulados más antiguos que se conocen, son los placodermos (figura 5), los cuales presentaban, al igual que los ostracodermos, fuertes exoesqueletos que hacían sus cuerpos pesados y torpes. Ambos grupos coexistieron hace más de 400 millones de años, junto con otros peces mandibulados como los condriictios (tiburones y rayas) y peces óseos.

Chondrichthyes: los condriictios incluyen a los tiburones, rayas y quimeras. Como su nombre lo indica, presentan un esqueleto cartilaginoso, además de escamas placoides, dientes que no están fusionados a las mandíbulas, mandíbula superior (palatocuadrado) no fusionada al cráneo, de cinco a siete arcos branquiales, radios de las aletas blandos, aleta caudal heterocerca, presencia de un intestino con válvula espiral, ausencia de vejiga natatoria y fertilización interna, entre otras características. La historia de los condriictios se remonta a más de 400 millones de años en el Devónico, y desde entonces han ocurrido grandes radiaciones y extinciones que han conducido a la presencia de 14 órdenes, 54 familias, 184 géneros y alrededor de 970 especies vivientes (Nelson, 2006). Los condriictios constituyen un grupo monofilético, y se reconocen dos subclases: *Holocephali* y *Elasmobranchii*.

Holocephali: en esta subclase se incluye a

las quimeras (figura 6) que se caracterizan por presentar una sola abertura branquial a cada lado de la cabeza, aunque internamente contienen cinco arcos branquiales, palatocadrado (mandíbula superior) fusionado al cráneo, dientes trituradores, piel desnuda, ausencia de estómago y costillas, ausencia de espiráculos y presencia de un órgano cefálico en los machos para sostener a la hembra durante la cópula. Las quimeras más antiguas datan de hace 340 millones de años (Long, 1995) y actualmente habitan aguas profundas alrededor del mundo, incluyendo México.

Elasmobranchii: incluye a los tiburones (figura 7) y rayas (figura 8) que presentan de cinco a siete aberturas branquiales a cada lado de la cabeza, aletas dorsales rígidas con o sin espinas, escamas placoides, palatocadrado no fusionado al cráneo, dientes numerosos y generalmente triangulares, que se reemplazan durante toda la vida, espiráculo presente o ausente, órganos de los sentidos altamente desarrollados y, en algunos casos, presencia de órganos eléctricos. Los elasmobranchios son típicamente depredadores; la forma del cuerpo, posición de las aletas y las escamas placoides, les permiten ser grandes nadadores. En el curso se revisarán las características generales de tiburones y rayas, la diversidad de cada grupo y las familias de importancia económica para México. Además se hablará sobre el papel de los elasmobranchios en el ecosistema marino y la importancia de su conservación.

Osteichthyes: los osteíctios o Teleostomi, de acuerdo a Nelson (2006), son peces que presentan un esqueleto óseo e incluyen a tres clases: Acanthodii, Actinopterygii y Sarcopterygii.

Acanthodii: los acantodios (figura 9) son peces extintos que presentan un esqueleto interno cartilaginoso, placas dermales óseas, aleta caudal heterocerca, palatocadrado no fusionado al cráneo, espiráculo presente, cinco aberturas branquiales, fuertes espinas adelante de las aletas dorsales y anales, ojos grandes y boca terminal. Antes se les relacionaba con los tiburones y placodermos por las características que comparten; sin embargo, nuevos análisis cladistas los colocan como grupo hermano de los actinopterygios y sarcopterygios.

Actinopterygii: en esta clase se incluye a todos los peces que presentan aletas con radios, escamas cicloides, ctenoides o ganoides, cuatro arcos branquiales, opérculo que cubre las branquias, interopérculo presente, complejo escapulo-coracoideo que sostiene a las aletas pectorales y nostrilos

en posición dorsal en la cabeza, entre otras características (figura 10), y se dividen en tres subclases (Cladistia, Chondrostei y Neopterygii). Hasta ahora se ha descrito 26 mil 891 especies de actinopterygios y alrededor del 44% corresponden a peces de agua dulce (Nelson, 2006). Los actinopterygios constituyen un grupo monofilético, cuyos registros más antiguos datan del Silúrico tardío, hace aproximadamente 420 millones de años.

La subclase Cladistia comprende al orden Polypteriformes que está constituido por dos géneros y 16 especies. Estos peces conocidos como bichires (figura 11), habitan ríos y lagos de África y se caracterizan por presentar una serie de pequeñas aletas dorsales a lo largo de un cuerpo anguiforme; además de tener la capacidad de respirar fuera del agua por medio de pulmones rudimentarios.

La subclase Chondrostei comprende 11 órdenes de peces, de los cuales sólo el orden Acipenseriformes cuenta con representantes actuales. Este orden incluye a los esturiones (figura 12) y a los peces espátula (figura 13). Los esturiones habitan en el hemisferio norte, en agua dulce o salada, generalmente pasan su vida en el mar y se reproducen en ríos y lagos. Se distinguen por presentar cinco hileras de escudos óseos a lo largo del cuerpo, cuatro barbas sensoriales en la boca y esqueleto no osificado totalmente. Llegan a alcanzar grandes tallas y son los principales productores del caviar. Los peces espátula viven en aguas dulces y a veces salobres de China y Estados Unidos. Su nombre deriva de la gran proyección en forma de espátula que presentan en el rostro, y también de ellos se obtiene el caviar.

La subclase Neopterygii constituye un grupo monofilético, cuyo registro fósil se extiende hasta el Pérmico (240 m.a.) y comprende a la mayoría de los peces que habitan las aguas del planeta en la actualidad. En esta subclase se encuentran incluidos varios grupos de peces que anteriormente se conocían como “holósteos” (peces con características primitivas) y los teleósteos (peces avanzados). En el curso se hablará sobre las características generales de los “holósteos” y se hará énfasis en los grupos con representantes actuales, como los Lepisosteiformes, que incluyen a los pejelagartos (figura 14) y Amiiformes (*Amia calva*) que se muestra en la figura 15. Se revisarán las características generales y clasificación de los teleósteos, con énfasis en ciertos grupos con importancia económica, como los clupeomorfos

(sardinias [figura 16] y arenques), elopomorfos (sábalos y tarpones [figura 17]), cipriniformes (carpas, peces gato), etcétera.

Sarcopterygii: esta clase (peces con aletas carnosas) comprende varios grupos recientes y fósiles, como los coelacantos (Crossopterygii) y peces pulmonados (Dipnoi), lo mismo que a los tetrápodos. Estudios recientes indican que los sarcopterigios están más relacionados a los mamíferos, que a los peces. Una característica particular de los sarcopterigios, es que tienen las cinturas pectoral y pélvica bien osificadas y en algunos grupos se presenta un húmero bien desarrollado, que se articula con una ulna y radio como sucede en los tetrápodos.

Los registros de crossopterigios se remontan al Devónico (410 m.a.), donde se encuentran numerosas especies que ahora están extintas. Solamente dos especies del género *Latimeria* (figura 18) viven en la actualidad, una en los mares del sur de África y la otra en Indonesia. Los coelacantos son peces de gran talla, con escamas cosmoides y aleta caudal díficera, que viven en aguas profundas por lo que se conoce poco acerca de su fisiología. Hasta antes del año 1938 se creía que estaban extintos.

Los peces pulmonados o dipnoos también fueron numerosos en los mares del Devónico, pero en la actualidad sólo tres géneros viven en aguas dulces de África, Australia y Sudamérica: *Ceratodus* (figura 19), *Protopterus* (figura 20) y *Lepidosiren*. Como su nombre lo indica, estos peces tienen la capacidad de respirar el oxígeno del aire aunque no presentan verdaderos pulmones. La vejiga natatoria modificada y las aletas ventrales carnosas, sostenidas por fuertes huesos, les permiten desplazarse fuera del agua y obtener el aire para su respiración, a pesar de que en al menos una etapa de su vida presentan branquias funcionales. En el curso se analizarán las modificaciones que presenta este grupo de peces.

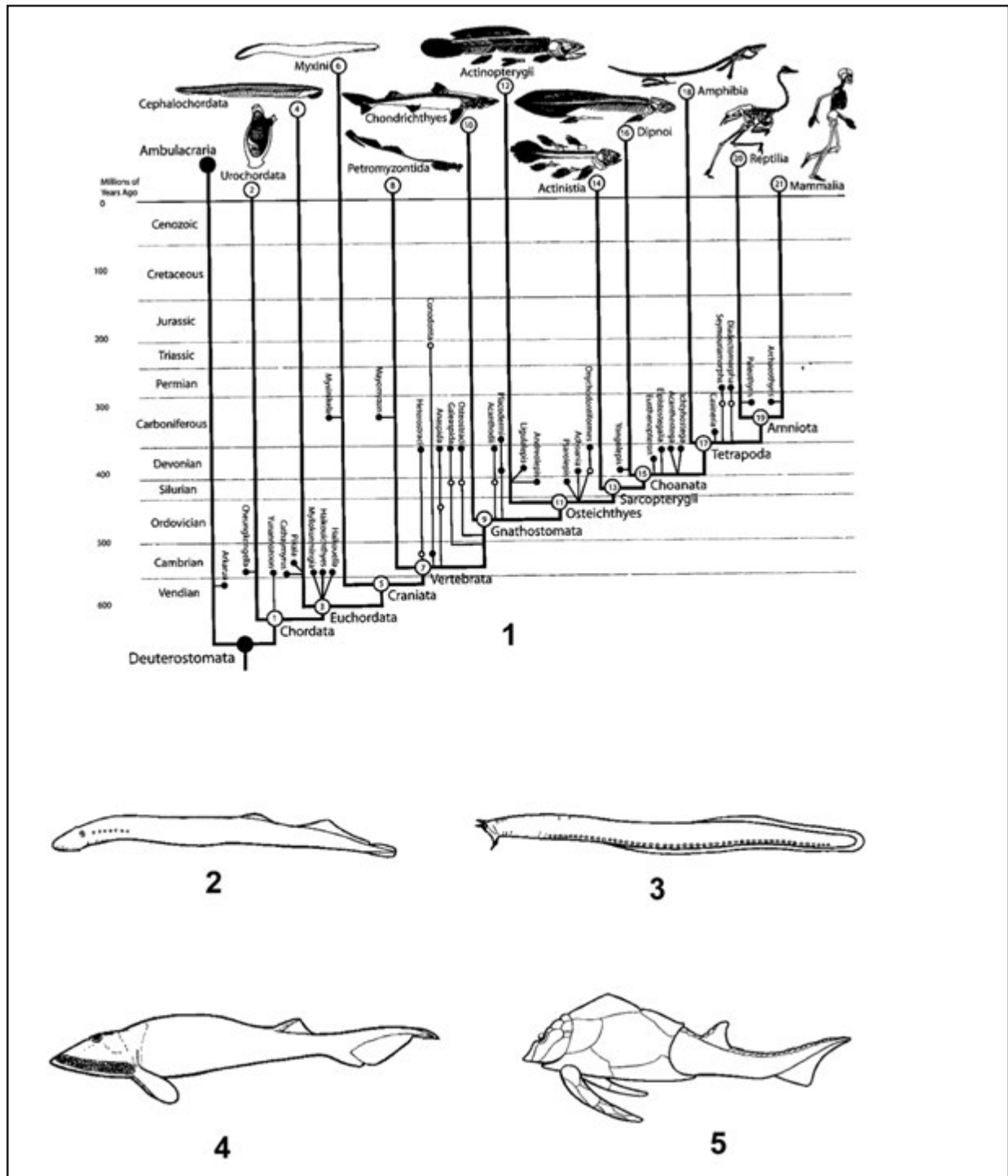
Aquí también se hablará de los grupos de peces considerados ancestros de los tetrápodos, como *Tiktaalik roseae* (figura 21) de reciente descubrimiento, que tiene una antigüedad de 375

millones de años, y se considera hasta ahora el eslabón entre ambos grupos.

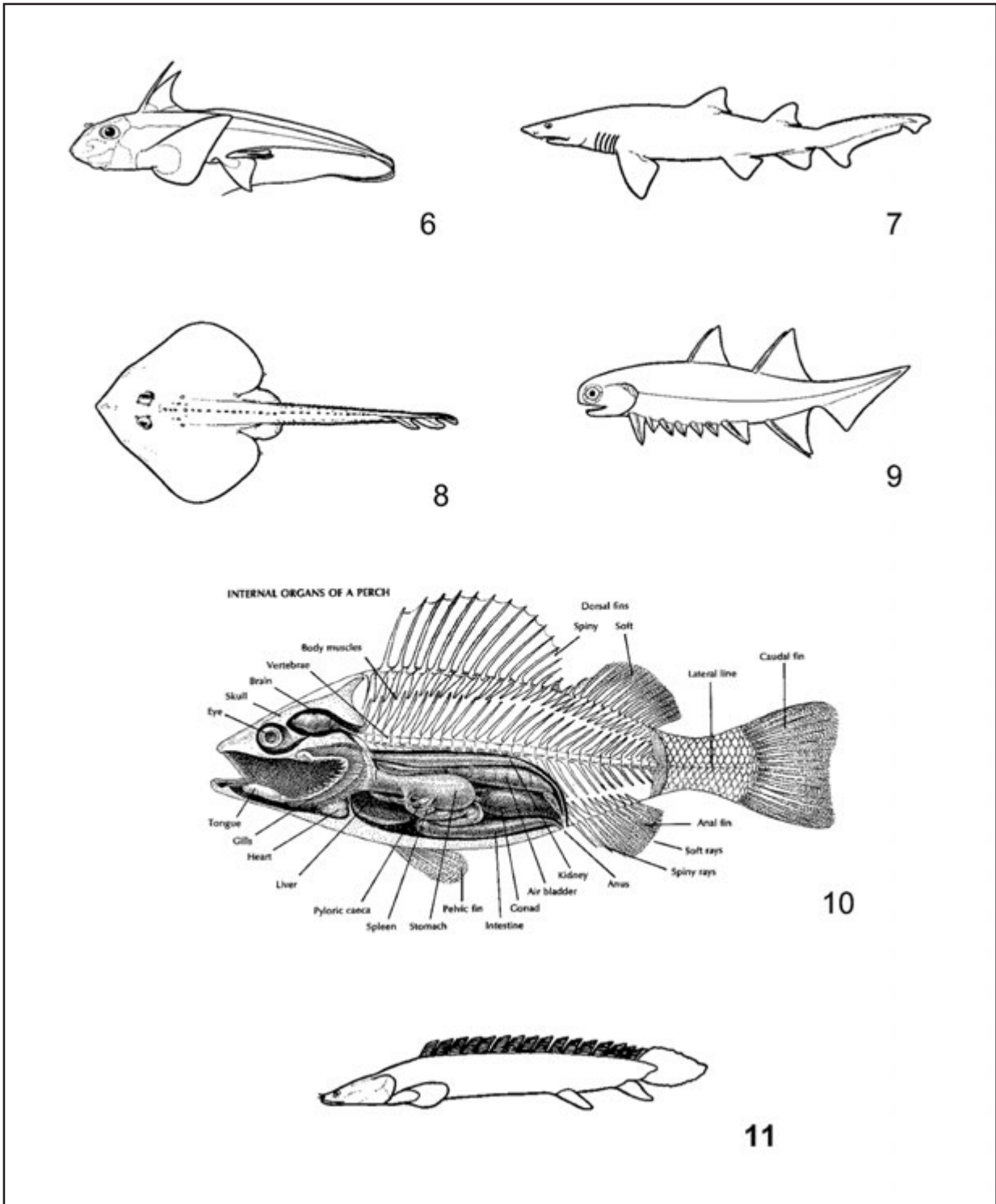
Por último, se revisará la distribución geográfica de las principales familias de peces, la explotación de los recursos piscícolas y las estrategias de protección y conservación de los mismos en nuestro país.

Bibliografía básica

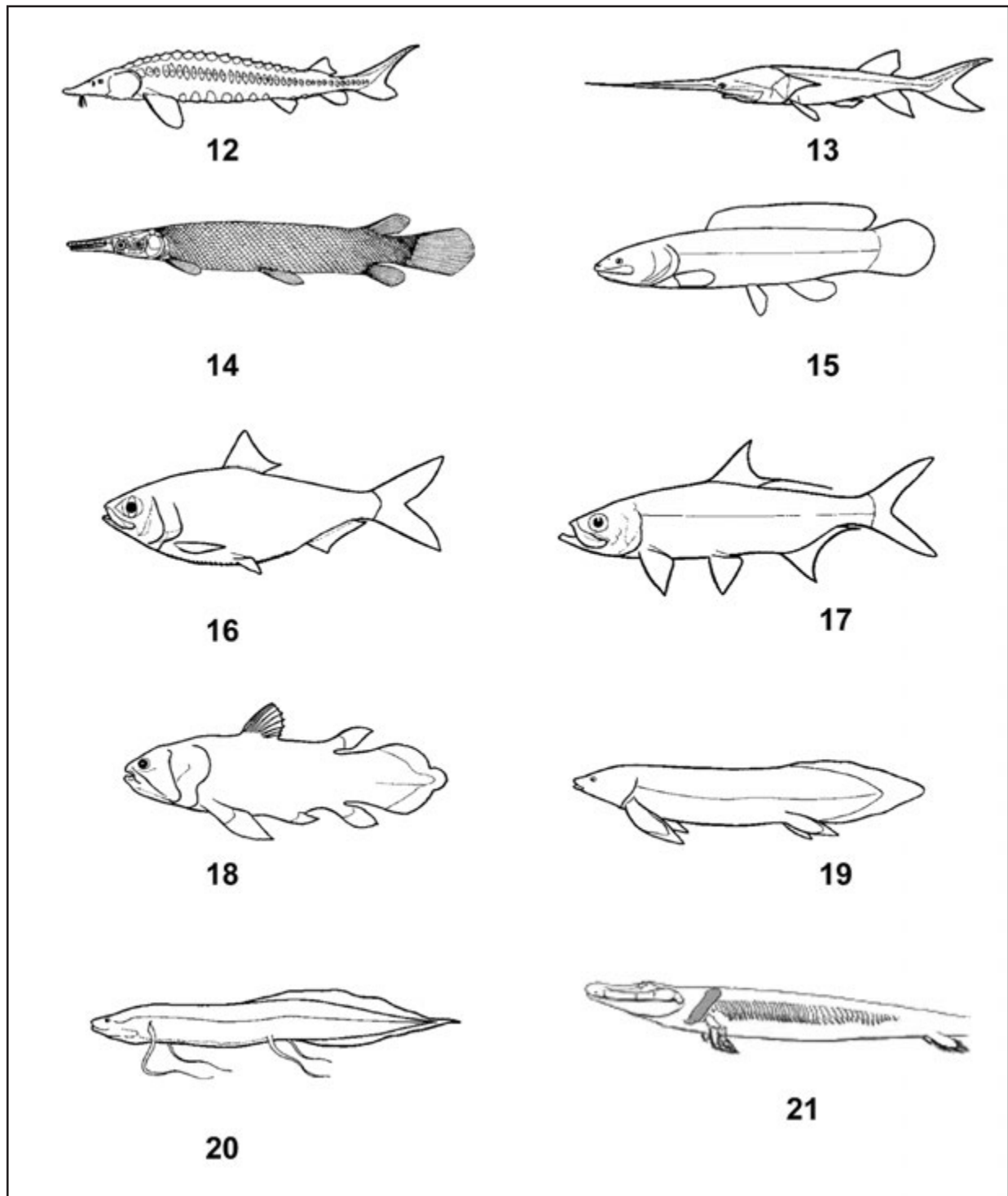
- Bond, C. E. 1979. *Biology of fishes*. W. B. Saunders Company. Philadelphia.
- Cailliet, G., M. Love, y A. Ebeling. 1996. *Fishes a field and laboratory manual on their structure, identification, and natural history*. Waveland Press INC. USA.
- Castro-Aguirre, J. L., H. Espinosa-Pérez, y J. Schmitter-Soto. 1999. *Ictiofauna estuarino-lagunar y vicaria de México*. Serie Biotecnologías. Limusa. México, D. F.
- Colbert, E., M. Morales, y E. Minkoff. 2001. *Colbert's Evolution of the Vertebrates*. Wiley-Liss, Inc. USA.
- Lagler, K. F., J. E. Bardach, R. R. Miller, y D. R. May Passino. 1984. *Ictiología*. 1ª. ed. en Español. AGT Editor S. A. México, D. F.
- Long, J. A. 1995. *The rise of fishes, 500 million years of evolution*. The Johns Hopkins University Press. Londres.
- Maisey, J. G. 1996. *Discovering fossil fishes*. Westview Press. New York.
- McFarland, W. N., F. H. Pough, T. J. Cade, y J. B. Heiser. 1979. *Vertebrate life*. 2a. ed. Mcmillan Publishing Company. USA.
- Nelson, J. S. 2006. *Fishes of the world*. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Romer, A. S. 1987. *Anatomía comparada (vertebrados)*. Interamericana. México, D. F.
- Rowe, T. 2004. *Chordate phylogeny and development*. En: Cracraft, J. y M. Donoghue (eds.). *Assembling the tree of life*. Oxford University Press, Inc. USA. p: 384-409.
- Secretaría de Industria y Comercio, *Subsecretaría de Pesca*. 1976. Catálogo de peces marinos mexicanos. México D. F.



Figuras 1-5. 1: relaciones filogenéticas de los cordados; 2: lamprea; 3: pez bruja; 4: ostracodermo; 5: placodermo (tomadas de Rowe, 2004; Nelson, 2006).



Figuras 6-11. 6: quimera; 7: tiburón tigre; 8: raya (Rajidae); 9: acantodio; 10: anatomía de pez actinoptergio; 11: bichir de África (tomadas de Nelson, 2006).



Figuras 12-21. 12: esturión; 13: pez espátula; 14: pejelagarto; 15: *Amia calva*; 16: sardina; 17: tarpón; 18: coelacanto; 19: *Ceratodus*; 20: *Protopterus*; 21: *Tiktaalik roseae* (tomadas de Nelson, 2006).

Mastozoología

Nombre del profesor:	Jesús Martín Castillo Cerón
Semestre en el que se imparte:	Octavo y noveno
Número de horas / semana:	Cuatro
Número de créditos:	Seis
Número de horas teóricas:	Dos
Número de horas prácticas:	Dos
Relación con asignaturas de semestres anteriores:	Biología de animales III y Biogeografía
Relación con asignaturas de semestres posteriores:	Temas selectos y Trabajos de investigación
Relación con asignaturas del mismo semestre:	Temas selectos y Trabajos de investigación
Objetivos del curso:	<ol style="list-style-type: none">1. Dar a conocer las características principales detalladas y actualizadas de este grupo.2. Proporcionar al estudiante un panorama del estado del conocimiento de los mamíferos.3. Proporcionar los conocimientos modernos de la clasificación de este grupo.4. Preparar a los alumnos en los conocimientos generales de la diversidad y distribución de este grupo.



Mastozoología

Jesús Martín Castillo Cerón

La mastozoología se encarga del estudio de los mamíferos; éstos se dividen en prototherios, metatherios y eutherios. Los mamíferos están caracterizados por tres sinapomorfias: a) pelo, estructura de queratina que nace de un folículo ubicado en la epidermis junto a una glándula sebácea e innervado; todos los organismos, en mayor o menor cantidad, lo tienen en algún momento de su desarrollo (figura 1a-b); b) poseen glándulas mamarias, las cuales son modificaciones de las sebáceas, que segregan leche (líquido nutritivo formado, en diferentes proporciones según la especie, de agua, proteínas, lactosa y grasa), ésta es el alimento principal de las crías en los primeros días después del nacimiento y la única comida antes de ingerir otro tipo de alimento (figura 1c-d); c) el oído medio, el cual se encuentra en la cavidad timpánica, está constituido por tres huesecillos: martillo, yunque y estribo (figura 1e).

La espectacular diversificación y triunfo biológico de este grupo, se debe, en gran parte, a sus características adaptativas, tales como el aumento en su inteligencia; la capacidad sensorial; la eficacia en el tipo de reproducción; la forma de procurarse el alimento; el perfeccionamiento de la endotermia, la cual les permitió seguir activos en una gran variedad de condiciones ambientales y horas del día; el gran desarrollo de los sentidos de la vista, el olfato y en particular del oído; la especialización en la dentición (heterodonta) y del aparato digestivo, debido a la recolección y uso de la enorme variedad de alimento (figura 2); la especialización de la anatomía poscraneana, así como de las extremidades; y el cuidado parental, destacando los prolongados periodos de atención de los padres con las crías, sobre todo la alimentación materna, el desarrollo de patrones complejos de recolección de alimentos y conductas sociales. Todo esto hace de los mamíferos uno de los grupos más derivados de los vertebrados.

El curso inicia con la definición y campos de estudio de la mastozoología, así como la relación de ésta con otras ciencias. Continúa con la historia de la mastozoología en México, la cual inicia en la época prehispánica, y continúa con las cartas de relación, el código florentino, la historia general de las cosas

de la Nueva España, la historia antigua de México, así como su estudio y desarrollo en los siglos XVI a XX. También se comentan las publicaciones que contienen resultados derivados de este grupo en revistas nacionales e internacionales, áreas y estudios actuales; así como sociedades científicas que se ocupan de ella.

Se aborda el origen y evolución de los mamíferos, el cual empieza a finales del Paleozoico, así como la larga evolución durante el Mesozoico y su posterior diversificación en el Cenozoico. El plan básico del cuerpo de los mamíferos fue heredado de un grupo de mamíferos reptilianos: los Therapsida, que junto con los pelicosaurios (reptiles mamiferoides) y mamíferos, forman el clado de los sinápsidos, los cuales se caracterizan por tener una fenestra en el cráneo y una articulación mandibular escamoso-dentario. Se ven los principales grupos fósiles, la aparición antes de los dinosaurios, la coexistencia y su gran diversificación después de la extinción de este grupo de arcosaurios. Se concluye con las diferentes clasificaciones basadas en genes, distribución, así como las propuestas filogenéticas actuales, que crean controversias entre las mismas.

Se ven las características que definen al grupo, como pelo (estructura, función, modificaciones); dientes (anatomía y clasificación); diferentes tipos de glándulas; esqueleto; órganos de los sentidos; aparatos cardiovascular, respiratorio, digestivo, reproductor y urinario; así como modificaciones en el huevo amniota. Se finaliza con una mirada en cuestiones etológicas.

Se continúa con las relaciones filogenéticas de los mamíferos, primero con los prototherios (figura 3a-c) o también conocidos como monotremas, que es el único grupo que pone huevo y del cual se cree que su origen podría ser independiente del resto de los mamíferos, derivados directamente de los therapsidos del Triásico. Sin embargo, la pertenencia al grupo de los mamíferos queda demostrada tanto por la forma del cráneo como por la presencia de pelo y glándulas mamarias. Estas últimas carecen de pezones, por lo que la leche es lamada por la cría, a partir de un mechón de pelos. Tienen cloaca, huesos epipúbicos y glándulas de veneno en el espolón de las extremidades traseras

(los machos). Los representantes de este orden son el ornitorrinco y el equidna.

Los metatherios (figura 3d-f) y/o marsupiales tienen como característica esencial su forma de reproducción y desarrollo, y tienen una gestación muy corta en comparación con otros mamíferos no marsupiales. El breve período de gestación hace que los recién nacidos estén muy poco desarrollados, con piel desnuda, ojos y oídos embrionarios, pero con el olfato, la boca y el sistema digestivo y respiratorio aptos para poder sobrevivir. En cuanto se produce el nacimiento, las crías se mueven y se arrastran a través del vientre materno en busca de las mamas. Trepan hasta el borde de una bolsa marsupial que posee la madre; allí se dejan caer y se introducen a ella, fijándose a una de las mamas, de la que se alimentan. La cría empieza a soltarse de la madre a los cuatro meses, pero a la primera señal de peligro salta dentro de la bolsa marsupial, que deja definitivamente más o menos a los nueve meses de edad, aunque continúa amamantándose hasta antes de los 12 meses. Finalmente, veremos que no todas las especies de este grupo saltan y tienen una bolsa marsupial.

Los eutherios (figura 3 g-l) o mejor conocidos como verdaderos placentados, son quizá el grupo mejor conocido y estudiado, no sólo de mamíferos, sino de todos los vertebrados. Dentro de este grupo tenemos a los xenarthros (oso hormiguero, armadillo y perezoso, entre otros), afroserícos (tenrecs y topos dorados), macrosélidos (musarañas elefantes), Tubulidentata (cerdo hormiguero), Hyracoidea (hyrax, damanes), Sirenia (dudongs y manatíes), Proboscidea (elefantes), Pholidota (pangolines), Carnivora (osos, felinos, cánidos, mustélidos, mapaches y hienas, entre otros), Perissodactyla (caballos, rinocerontes y tapires), Artiodactyla (camellos, venados, jirafas, cabras y alces, entre otros), Cetáceos (ballenas y delfines), quirópteros (murciélagos), Primates (lemúridos, társidos, cébidos, cercopitécidos y homínidos), dermópteros (colugos), Eulipotyphla (musarañas, topos y erizos), Scandentia (musarañas arborícolas), lagomorfos (conejos, liebres y pikas) y Rodentia (tuzas y diversos roedores).

En cada uno de los tres grupos se ve el origen y evolución, estructura y función, filogenia y clasificación, alimentación y reproducción, así como biogeografía y biodiversidad. Se aborda la diversidad y distribución en tiempo y espacio de las familias de mamíferos en el mundo, y de manera particular en México. Se discute y analiza

la distribución actual, así como mecanismos de distribución y factores limitantes.

Existe un capítulo sobre la importancia económica de los mamíferos que se aborda desde diferentes vértices: como alimento, como animales de experimentación y otros usos. Se discute la situación de las poblaciones actuales de mamíferos y el impacto de los humanos sobre dichas poblaciones.

Se desarrollan, a manera de seminarios y mesas redondas, algunos temas selectos de la biología de algún grupo, la diversidad de mamíferos mexicanos, estrategias reproductivas, adaptaciones alimenticias y fisiológicas, conducta, ecología y conservación.

Finalmente, se conocen y examinan diversas técnicas mastozoológicas. Se ve la importancia y el uso de las colecciones mastozoológicas, se valora la importancia de las mismas y se reconocen las principales, tanto en México como en el mundo. Se ve la utilidad de conocer las diferentes bases electrónicas que tienen los museos más importantes, así como la trascendencia en el conocimiento acerca del uso de las mismas desde un punto remoto.

Literatura básica

- Aranda, M. 1981. *Rastros de los mamíferos silvestres de México*. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Xalapa.
- Arita, H. T. 1993. *Riqueza de especies de la mastofauna de México*. En: Medellín, R. A. y G. Ceballos (eds.). Avances en el estudio de los mamíferos de México. Asociación Mexicana de Mastozología, A. C. México, D. F. p: 109-128.
- Arita, H. T., y G. Ceballos. 1997. *Los mamíferos de México: distribución y estado de conservación*. Revista Mexicana de Mastozología 2: 33-71.
- Ceballos, G., y C. Galindo. 1989. *Mamíferos silvestres de la Cuenca de México*. Limusa. México, D. F.
- Cervantes, F. A. 1993. *La colección Mastozoológica del Instituto de Biología*. En: Brailovsky, H. y B. Gómez Varela (comp.). Colecciones Zoológicas. Colecciones Biológicas Nacionales. Instituto de Biología, UNAM. México, D. F. p: 169-196.
- Cervantes, F. A. 1995. *Investigación zoológica en el Instituto de Biología, UNAM*. Ciencia Ergo Sum (Universidad Autónoma del Estado de

- México) 2(2): 259-262.
- Cervantes, F. A., C. Lorenzo, y B. Villa-Ramirez. 1995. *Permisos de investigación y colector científico de flora y fauna silvestres*. Ciencia (Academia de la Investigación Científica) 46: 1-6.
- Cervantes, F. A., A. Castro-Campillo, y J. Ramírez-Pulido. 1994. *Mamíferos terrestres nativos de México*. Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Zoología 65: 177-190.
- Fa, J. E., y L. M. Morales. 1991. *Mammals and protected areas in the Trans-Mexican Neovolcanic Belt*. En: Mares, M. A. y D. J. Schmidly (eds.). Topics in Latin American Mammalogy: History, biodiversity, and education. University of Oklahoma Press, Norman, Oklahoma. p: 199-226.
- Hall, E. R. 1981. *The mammals of North America, vols. I y II*. John Wiley and Sons. New York.
- Jones, J. K. Jr., y R. W. Manning. 1992. *Illustrated key to skulls of genera of North American land mammals*. Texas Tech University Press. USA.
- Leopold, A. S. 1987. *Fauna silvestre de México*. Ediciones del Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México, D. F.
- León Paniagua, L. 1989. *Algunos aspectos de la taxonomía mastozoológica en México: historia, problemática y alternativas*. Ciencias 3: 8-17.
- McKenna, M., y S. K. Bell (eds.). 1997. *Classification of mammals. Above the species level*. Columbia University Press. New York.
- Medellín, R. A., y G. Ceballos (eds.). 1993. *Avances en el estudio de los mamíferos de México*. Asociación Mexicana de Mastozología, A. C. México, D. F.
- Medellín, R. A., H. T. Arita, y O. Sánchez. 1997. *Identificación de los murciélagos de México*. Publicación Especial No. 2. Asociación Mexicana de Mastozología, A.C. México, D. F.
- Pérez-Gil Salcido, R., F. J. Monroy, A. M. Muñoz Salcedo, y M. G. Torres Gómez. 1996. *Importancia económica de los vertebrados silvestres de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F.
- Ramírez Pulido, J., y C. Mudespacher. 1987. *Estado actual y perspectivas del conocimiento de los mamíferos de México*. Ciencia 38: 49-67.
- Ramírez Pulido, J., M. C. Britton, A. Perdomo, y A. Castro. 1986. *Guía de los mamíferos de México*. Referencias hasta 1983. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México, D. F.
- Ramírez Pulido, J., y A. Castro Campillo. 1990. *Bibliografía reciente de los mamíferos de México 1983/1988*. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa. México, D. F.
- Ramírez Pulido, J., y A. Castro Campillo. 1994. *Bibliografía reciente de los mamíferos de México 1989/1993*. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa. México, D. F.
- Ramírez Pulido, J., A. Castro Campillo, J. Arroyo-Cabrales, y F. A. Cervantes. 1996. *A taxonomic list of the terrestrial mammals of Mexico*. Occasional Papers, The Museum, Texas Tech University 158: 1-62.
- Urbano Vidales, G., y O. Sánchez-Herrera. 1983. *Type specimens of mammals in the collection of the Institute of Biology, National University of Mexico*. Occasional Papers, The Museum, Texas Tech University 87: 1-7.
- Vaughan, T. 1990. *Mammalogy*. 3a. ed. Saunders College Publishing. Philadelphia.
- Walker, E. P., F. Warnick, S. E. Hamlet, K. L. Lange, M. A. Davis, H. E. Uible, y P. F. Wright. 1975. *Mammals of the world*. 3a. ed. Vols. 1 y 2. Johns Hopkins University Press. Baltimore.
- Wilson, D. E., y D. A. M. Reeder (eds.). 1993. *Mammal species of the world. A taxonomic and geographic reference*. 2a. ed. Smithsonian Institution & American Society of Mammalogists. Washington.
- Wilson, D. E., F. R. Cole, J. D. Nichols, R. Rudran, y M. S. Foster (eds.). 1996. *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for mammals*. Smithsonian Institution Press. Washington.

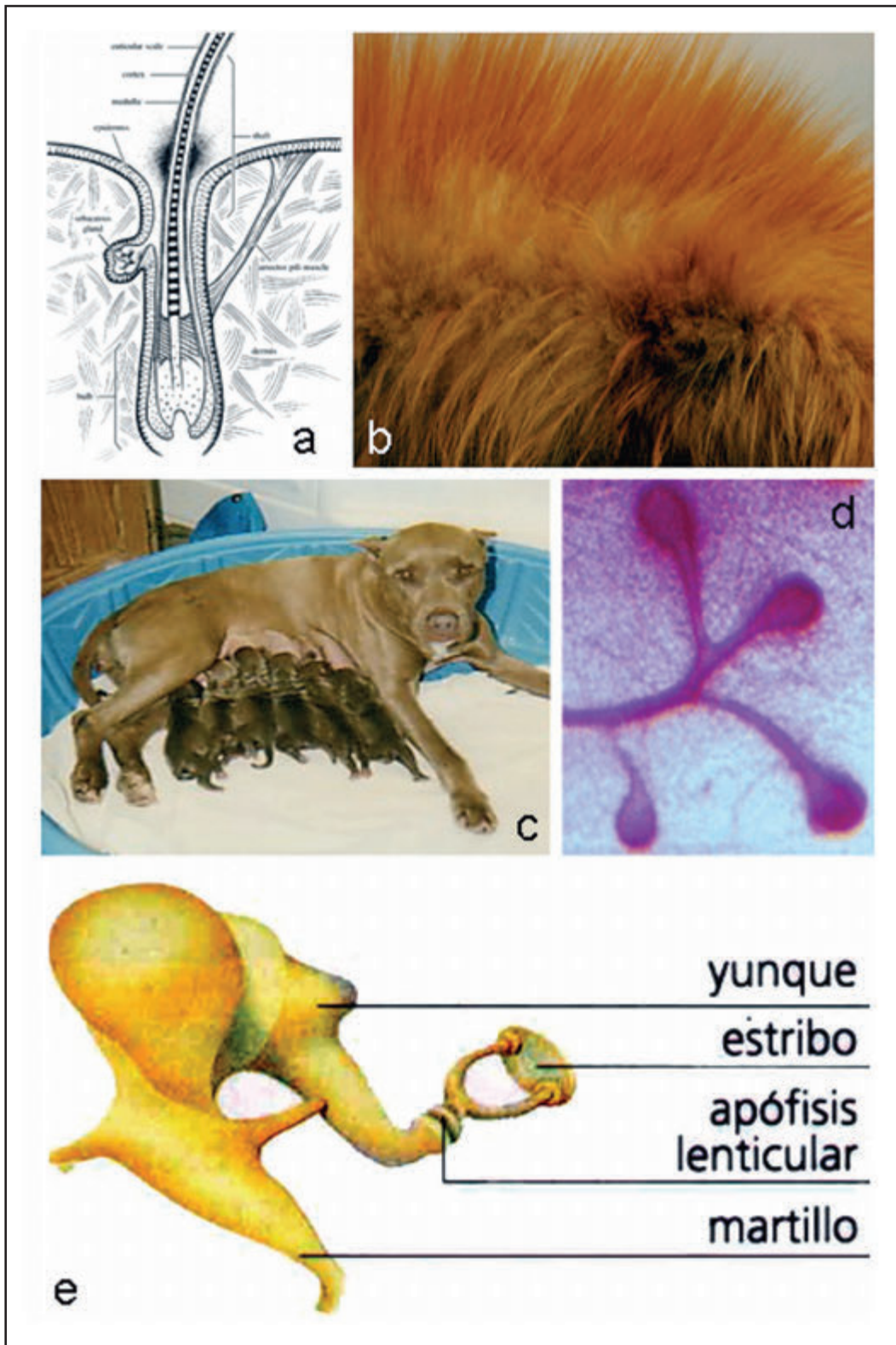


Figura 1: características diagnósticas de los mamíferos: a-b) pelo; c-d) glándulas mamarias; e) huesecillos del oído medio (tomadas de Internet).

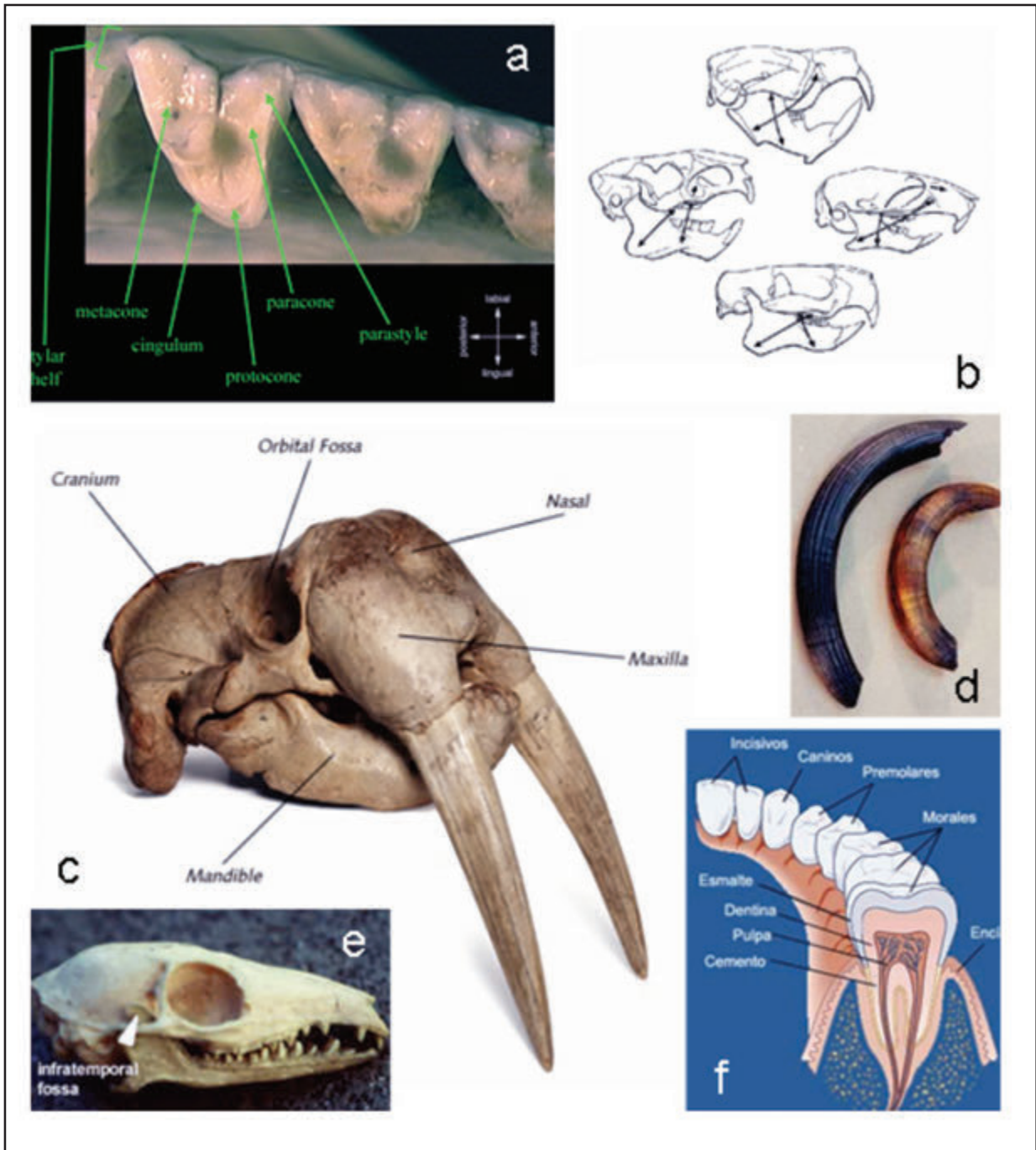


Figura 2: osteología de mamíferos: a) molariformes tribosfénicos; b) diferentes formas de inserción de los músculos maseteros en los roedores; c) huesos del cráneo; d) incisivos de roedores; e) cráneo de marsupial; f) dentición heterodonta en mamíferos (tomadas de Internet).

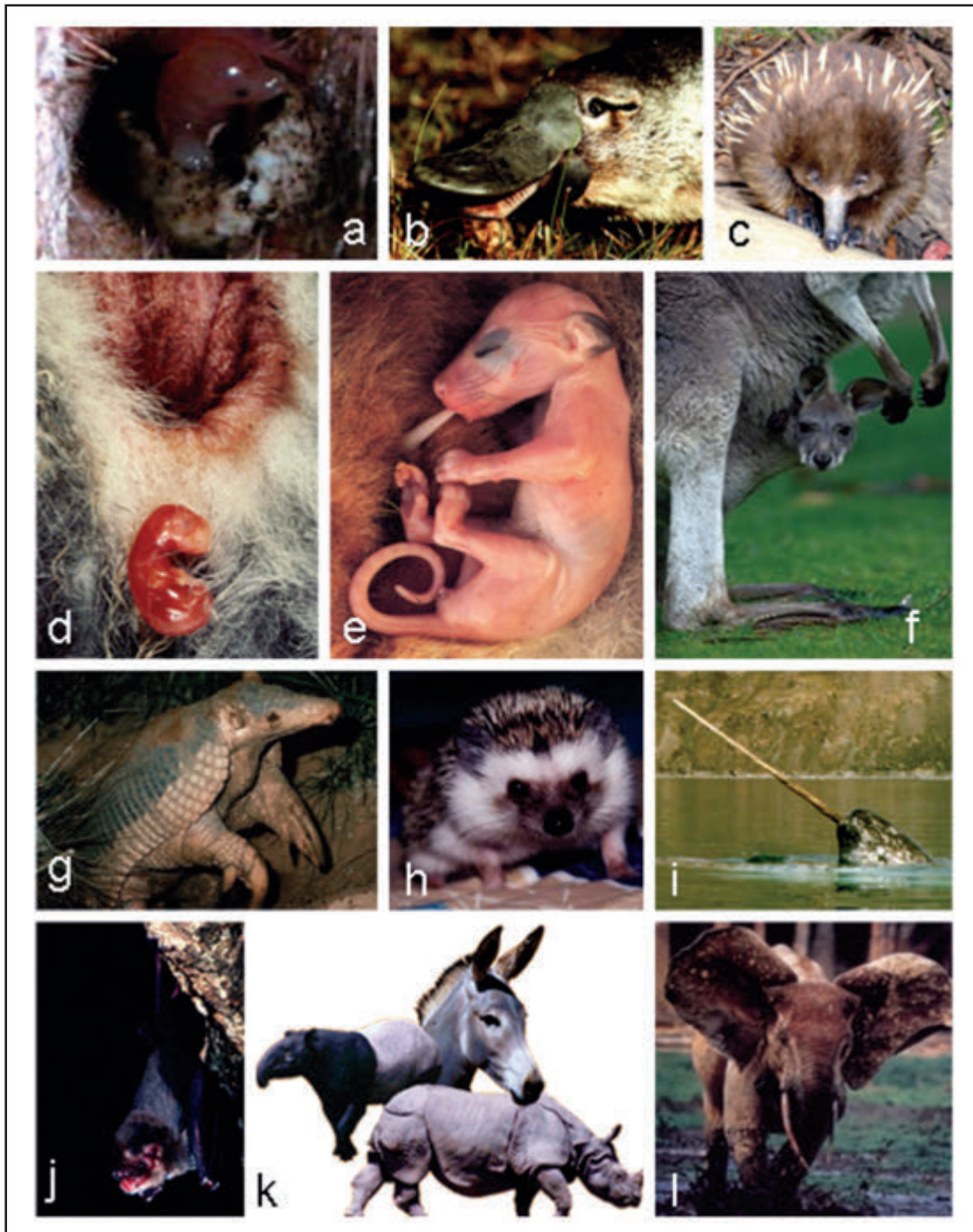


Figura 3: tipos de mamíferos, a-c prototherios, d-f metatherios, g-l eutherios: a) equidna saliendo del huevo; b) ornitorrinco; c) equidna adulto; d) embrión de canguro escalando al marsupio; e) canguro alimentándose dentro del marsupio; f) canguro dentro de marsupio; g) armadillo; h) erizo; i) nirval; j) murciélago; k) perisodáctilos: tapir, asno y rinoceronte; l) elefante africano (tomadas de Internet).

**Introducción a la
Biología de organismos**

se diseñó en formato electrónico en la Dirección de Ediciones y Publicaciones con el apoyo de la Imprenta Universitaria y la Dirección de Tecnologías Web y Webometría de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, en el mes de enero de 2023.

