

PUENTE BIOLÓGICO

Revista Científica de la Universidad Autónoma de Chiriquí en Panamá

PUENTE BIOLÓGICO

VOLUMEN 8 / 2016

VOLUMEN 8 / 2016



580.97287
P962
UNACHI
Puente Biológico: revista científica de la Universidad
Autónoma de Chiriquí en Panamá. – Panamá: Universidad
Autónoma de Chiriquí, 2006 – iii, 91p.: il; 28 cm.

Incluye: anexos, bibliografía e índices
Anual (Vol. 1, Junio 2006 – Vol. 8, **Diciembre 2016**)
ISSN: 1991-2986.

1. Peces de agua dulce - Chiriquí (Panamá) 2. Ecología de agua dulce - Panamá 3. Hormigas - Enfermedades y plagas - Panamá 4. Arroz -Enfermedades y plagas - Panamá 5. Mamíferos pequeños- Panamá 6. Antropología fisiológica 7. Evolución humana 8 Invasiones biológicas 9. Hongos - Chiriquí (Panamá) 10. Ecosistemas acuáticos - Panamá
I. Universidad Autónoma de Chiriquí – Revistas científicas

Universidad Autónoma de Chiriquí
David, Rep. de Panamá
Estafeta Universitaria, 0427
E-mail: puentebiol@unachi.ac.pa

Foto de la portada: *Oropogon* sp., (Meike Piepenbring).
Foto de revés: El líquen *Peltigera* sp., (Meike Piepenbring)

Autoridades Universitarias

M.Sc. Etelvina de Bonagas
Rectora

Dr. Roger Sánchez
Vicerrector de Investigación y Postgrado

M.Sc. Marco Tem
Decano de la Facultad de
Ciencias Naturales y Exactas

M.Sc. José Coronel
Vicerrector Académico

M.Sc. Blanca E. Ríos C.
Secretaria General

Consejo Editorial

Dr. Orlando A. Cáceres M. (Editor principal)
Universidad Autónoma de Chiriquí
Panamá

Dr. Juan A. Bernal
Universidad Autónoma de Chiriquí
Panamá

Dra. Tina Hofmann
Universidad Autónoma de Chiriquí
Panamá

M.Sc. Clotilde Arrocha
Universidad Autónoma de Chiriquí
Panamá

M.Sc. Rogelio Santanach
Universidad Autónoma de Chiriquí
Panamá

Licdo. Tomás A. Ríos
Universidad Autónoma de Chiriquí
Programa de Maestría en Entomología,
Universidad de Panamá

Ph.D. Dario Javier Cruz Sarmiento
Ciencias Naturales, Especialidad en Biología
Docente investigador y curador de fungario
U.T.P.L. de Ecuador

M.Sc. Javier Torres S. (Digitalización y Diagramación)
Universidad Autónoma de Chiriquí
Panamá

Licdo. Bragly N. Serrano (Digitalización)
Universidad Autónoma de Chiriquí
Panamá

INSTRUCCIONES PARA PUBLICAR

Puente Biológico es una revista arbitrada por pares, de frecuencia anual, que publica artículos en el área de las ciencias básicas.

Los trabajos presentados se aceptarán y publicarán de acuerdo con los criterios preestablecidos por el Comité Editorial de la Revista; los originales pasarán a ser propiedad de los archivos.

Todo trabajo debe ser enviado en un CD, en formato Microsoft WORD / Open Office a un espacio y en páginas numeradas. El texto, los gráficos y cuadros deberán trabajarse en archivos separados. Al momento de la publicación, los trabajos no deben exceder las 10 páginas, trabajos extensos solo serán publicados a criterio del Comité Editorial.

Cada trabajo debe ir acompañado de dirección postal, número de teléfono y dirección de correo electrónico.

Con los trabajos se aceptarán fotografías y diagramas, reducidos y presentados por separado con las explicaciones o leyendas correspondientes en formato TIF, JPEG o equivalente.

En el caso de un trabajo de investigación, se establece seguir el siguiente ordenamiento: título, nombre del autor, nombre de la institución donde el trabajo fue realizado, correo electrónico, resumen en español, resumen en inglés, palabras claves en español e inglés, introducción, materiales y métodos, resultados, discusión y referencias bibliográficas citadas.

Si el trabajo es un ensayo o revisión bibliográfica se establece el siguiente ordenamiento: título, nombre del autor y la institución en donde el trabajo fue realizado, correo electrónico, resumen en español, resumen en inglés, palabras claves en español e inglés, introducción, desarrollo del texto, conclusión y referencias bibliográficas citadas.

Las referencias bibliográficas para los artículos del área de las ciencias básicas, deben ir en orden alfabético, no numeradas y se expresarán de la siguiente manera: apellido del autor(s), iniciales del nombre, año, título completo del artículo, nombre de la revista, volumen y páginas. Cuando la referencia es de libros, se establecerá después del título, número de edición, la casa editora, lugar y páginas.

Los trabajos científicos deben ajustarse a las normas de nomenclatura binomial internacional en todos sus efectos. Los trabajos serán publicados de acuerdo con su fecha de llegada.

Toda correspondencia puede ser entregada personalmente a los miembros del Comité Editorial o enviada a la dirección postal:

Revista Puente Biológico

Estafeta Univesitaria 0427
Universidad Autónoma de Chiriquí
David, Provincia de Chiriquí
República de Panamá

Teléfonos: (507) 7305300 ext. 5 ó 6300 ó 6301 ó 6302
email: puentebiol@unachi.ac.pa

Editorial

La revista científica Puente Biológico de la Universidad Autónoma de Chiriquí, tiene como objetivo divulgar los resultados de las investigaciones originales, inéditas y artículos de revisión, realizadas por especialistas de nuestra universidad y de otras instituciones o universidades a nivel local e internacional.

En este número se incluyen los siguientes artículos originales: a) Distribución de los peces de agua dulce del río Estí, provincia de Chiriquí, Panamá, se documentan 45 especies que existen en Chiriquí y adicionalmente, la presencia de *Brachyrhaphis roseni*, *Rhambdia guatemalensis* y *Rivulus hildebrandi* para este río, b) Registros de parasitismo en *Camponotus atriceps* (Hymenoptera: Formicidae) por Mermithidae (Nematoda) en Panamá, c) Parasitismo natural de huevos del complejo de especies de Pentatomidae (Heteroptera), en el agro ecosistema arroz en Panamá, d) First report on the density of the small-eared shrew, *Cryptotis nigrescens* (Eulipotypla: Soricidae) from Western Panamá; y los artículos de revisión: a) *Homo sapiens* (Primates: Hominidae): ¿una especie invasora o aún peor? Un reto para potenciar la ecología y la biología de la conservación, que más que un artículo de revisión, nos sumerge en un debate sobre las implicaciones humanas y su haber con el medio que le rodea y crear ese ambiente de análisis científico que tanto bien hace al desarrollo de la investigación, b) Colaboradores escondidos - La importancia de los hongos en los ecosistemas. Información para Educación Ambiental, que es una revisión de carácter educativa, dirigido a personas con conocimiento básico en biología y con interés en aprender sobre hongos y sus funciones en ecosistemas naturales, cumpliendo así el objetivo de la revista de divulgar y educar. Esperamos que la lectura y análisis de las publicaciones en este número sean de su agrado.

Comité Editorial

COMITÉ EDITORIAL

Editor principal

Dr. Orlando Cáceres
Universidad Autónoma de Chiriquí,
Panamá.

Dr. Juan A. Bernal Vega
Universidad Autónoma de Chiriquí,
Panamá.

Ph.D. Dario Javier Cruz
Sarmiento
U.T.P.L. de Ecuador

M.Sc. Javier Torres S.
Universidad Autónoma de Chiriquí,
Panamá.

M.Sc. Clotilde Arrocha
Universidad Autónoma de Chiriquí,
Panamá.

AUTORIDADES

Rectora

M.Sc. Etelvina de Bonagas

Vicerrector Académico

M.Sc. José Coronel

Vicerrectora Administrativa

M.Sc. Rosa Moreno

Vicerrector de Investigación y
Postgrado

Dr. Roger Sánchez

Decano de la Facultad de
Ciencias Naturales y Exactas
M.Sc. Marco Tem

Secretaria General

M.Sc. Blanca E. Ríos C.

PUENTE BIOLÓGICO

Revista Científica de la Universidad Autónoma de Chiriquí en Panamá

Volumen 8 / 2016

CONTENIDO

	Pág.
Distribución de los peces de agua dulce del río Estí, provincia de Chiriquí, Panamá Humberto A. Garcés B.....	1
Registros de parasitismo en <i>Camponotus atriceps</i> (Hymenoptera: Formicidae) por Mermithidae (Nematoda) en Panamá Alonso Santos M., Roberto A. Cambra & Nivia Ríos.....	13
Parasitismo natural de huevos del complejo de especies de Pentatomidae (Heteroptera), en el agro ecosistema arroz en Panamá Bruno Zachrisson, Pedro Osorio, Pamela Polanco & Ismael Camargo.....	21
First report on the density of the small-eared shrew, <i>Cryptotis nigrescens</i> (Eulipotypla: Soricidae) from Western Panama Jorge Luis Pino.....	31
Homo sapiens (Primates: Hominidae): ¿una especie invasora o aún peor? Un reto para potenciar la Ecología y la Biología de la conservación Edgardo I. Garrido Pérez, David Tella-Ruiz	43
Colaboradores escondidos – La Importancia de los Hongos en los Ecosistemas Información para Educación Ambiental Meike Piepenbring, Fausto López & Orlando Cáceres.....	57

Distribución de los peces de agua dulce del río Estí, provincia de Chiriquí, Panamá

Humberto A. Garcés B.¹

¹ Universidad de Panamá, Departamento de Biología Marina y Limnología, Panamá / Facultad de Ciencias del Mar (UMIP)

{hgarcésb@hotmail.com}

Recibido: 02.09.2016 / Revisado: 20.12.2016 / Aceptado: 27.12.2016.

© 2016 EDUNACHI: Editorial de la Universidad Autónoma de Chiriquí.

RESUMEN

Las especies colectadas en este estudio se encuentran dentro de las 45 reportadas en Chiriquí y se adiciona la ocurrencia de *Brachyrhaphis roseni*, *Rhambdia guatemalensis* y *Rivulus hildebrandi* para el río Estí. Se reportan 12 especies de peces de agua dulce en el área de Estí, durante julio-agosto de 1994. Las especies que tuvieron una amplia distribución fueron *Astyanax fasciatus*, *Brycon behreae*, *Cichlasoma sieboldii*, y *Poeciliopsis retropinna*. Las especies más abundantes fueron *A. fasciatus*, *B. roseni*, *Brachyrhaphis terrabensis*, *Gephyrocharax intermedius* y *P. retropinna*. El chumpipe *P. retropinna* es la única especie planctívora ya que incluyó diatomeas en su dieta, las demás son insectívoras, omnívoras, o detritívoras. Las especies identificadas como potencialmente explotables fueron el sábalo *B. behreae*, la mojarra *C. sieboldii*, el barbudo *R. guatemalensis*, el Cyprinodontidae *R. hildebrandi*, y el parívivo *B. roseni*. En general, se espera que las pesquerías declinen debido a cambios en el régimen, caudal, y calidad del agua o bien debido a cambios en la comunidad bentónica. En el área estudiada se espera que aumenten las poblaciones de aquellas especies detritívoras como el chumpipe y el chupapiedras, y omnívoras como el sábalo y las sardinas. El sábalo declinará en aquellas secciones en donde se reducirá el caudal promedio actual.

ABSTRACT

Fish species collected during this study are among the 45 reported in Chiriquí and the occurrence of *Brachyrhaphis roseni*, *Rhambdia guatemalensis* and *Rivulus hildebrandi* are added for Estí river. Twelve freshwater fish species in the Estí area are reported during July-August 1994. Widely distributed species were *Astyanax fasciatus*, *Brycon behreae*, *Cichlasoma sieboldii*, and *Poeciliopsis retropinna*. The most abundant species were *A. fasciatus*, *B. roseni*, *Brachyrhaphis terrabensis*, *Gephyrocharax intermedius* *P. retropinna*. The topminnow *P. retropinna* was the only planktivorous fish species since it includes diatoms in its diet, the others species were insectivorous, omnivorous, or detritivorous. The species identified as potentially exploitable were tetra *B. behreae*, cichlid *C. sieboldii*, South American catfish *R. guatemalensis*, killfish *R. hildebrandi*, and gambusia *B. roseni*. In general, fisheries are expected to decline due to changes in the regime, flow, and water quality or due to changes in the benthic community. In the study area it is expected that the populations of detritivorous species such as topminnow and loricariates increase as well as, and omnivores like tetras and sardines. Tetras should decline at all river sections which exhibit flow reduction.

PALABRAS CLAVES; KEY WORDS

Ecología, alimentación, peces primarios; Ecology, feeding, primary fishes.

INTRODUCCIÓN

Se conocen cerca de 500 especies de peces de aguas dulces o casi dulces reportadas para todo el istmo Centroamericano. De éstas unas 354 especies son realmente especies que no dependen del medio marino para sobrevivir. Dichas especies de peces se agrupan en 112 peces primarios, originarios de agua dulce, 185 peces secundarios, que toleran el agua salada, y 57 peces periferales, originarios del mar pero adaptados al agua dulce (Miller 1982). A diferencia de América del Norte, la ictiofauna de América Central la dominan los peces secundarios, principalmente las familias Poeciliidae y Cichlidae. Las principales familias de peces primarios de Centroamérica la constituyen Characidae, Pimelodidae, y Loricariidae, totalizando 79 especies (Myers 1964). La mayoría de los peces primarios del istmo Centroamericano se ubican entre Costa Rica y Panamá totalizando 77 especies en 13 familias, mientras que hacia el norte (Guatemala y México) solamente se encuentran 27 especies en cinco familias (Briggs 1984).

En Panamá se han reportado un total de 146 especies "válidas" de peces primarios y secundarios de agua dulce comprendiendo 13 familias (Meek & Hildebrand 1912, 1913 y 1916, Breder 1925 y 1927, Myers 1927, Behre 1928, Hildebrand 1928 y 1938, Loftin 1965, Fink & Weitzman 1974, Bussing 1988). De éstas solamente 41 especies (28 % del total) se reporta que ocurren exclusivamente en ríos de la vertiente del Pacífico de Panamá. La gran mayoría ocurren, o están dentro del rango reportado, en ríos de la vertiente del Pacífico occidental, totalizando 29 especies (70 % del total del Pacífico). Para la provincia de Chiriquí se reportan 41 especies de peces de agua dulce (11 periferales) en 43 estaciones (Loftin 1965). Los peces de la cuenca del río Chiriquí han sido estudiados en algún grado con respecto a la abundancia, la diversidad, la zoogeografía, y la ecología (Behre 1928, Hildebrand 1928, Loftin 1965, Goodyear *et al.* 1977, Briceño y Martínez 1986). Según Goodyear *et al.* (1977), los peces de ésta cuenca consisten en 34 especies pertenecientes a 16 familias, esto es en 29 estaciones. Adicionalmente, se informan de un total de 59 especies pertenecientes a nueve familias, en un total de 18 estaciones (Briceño & Martínez 1986).

El propósito de este estudio es el de determinar la distribución de los peces de agua dulce del área de Estí para que sirvan de comparación para estudios futuros.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio corresponde a la zona de influencia directa del proyecto hidroeléctrico de Estí (El Barrero, Barrigón, y Canjilones) de la propuesta inicial de AES Panamá. Se recolectaron peces en siete cuerpos de agua (cuatro quebradas y tres ríos) o estaciones con un total de 18 sitios de colecta del área de influencia del proyecto Estí ubicadas en tres áreas (No. sitios de colecta): 1. El Barrero: Río los Valles (2), quebrada Mariposa (2), y Río Chiriquí (2); 2. Barrigón: Quebrada Buenos Aires (1), quebrada Barrigón (1), y quebrada "Luisa" (4); y 3. Canjilones: Río Estí a nivel de Cerro Sabana (4), Las Guasquitas (1), y balneario Canjilones (1). Las recolectas se hicieron de forma intensiva durante dos períodos, en julio y agosto de 1994. Las recolectas se hicieron con diversos artes de pesca, un chinchorro de 4 x 20' con 1/4" de malla, así como con red de mano acuática de malla fina de 1/16". Las especies se identificaron con la ayuda de Meek & Hildebrand (1916), Hildebrand (1928 y 1938), y Bussing (1987 y 1988). Una colección de

referencia se encuentra en el Museo de Biología Marina de la Universidad de Panamá. Todos los peces se midieron individualmente, longitud estándar (LE) en mm, y se pesaron, peso húmedo en g. Se analizó el contenido estomacal de por lo menos el 10 % del total de individuos de cada especie recolectada en cada sitio de colecta (para $n > 5$ individuos). El contenido estomacal se clasificó en categorías generales (detritus, material vegetal, algas filamentosas e insectos) y se estimó la abundancia relativa denotándose de más abundantes (++) a menos (+).

RESULTADOS

Se recolectaron un total de 423 especímenes pertenecientes a 12 especies de peces y distribuidas en seis familias durante este estudio. En general, la ictiofauna del área de Estí estuvo comprendida por poecílidos (tres parivivos), y carácidos (cuatro sardinas y un sábalo). Las familias Cyprinodontidae, Cichlidae, Pimelodidae, y Gobiidae estuvieron representadas por una sola especie cada una en el área de estudio (Cuadro 1). Los peces que ocurrieron en las tres áreas del estudio (El Barrero, Barrigón, y Canjilones) fueron (número total de individuos y LE mínimo-máximo en mm): la sardina *Astyanax fasciatus* (41, 25-78), el sábalo *Brycon behreae* (4, 36-41), la chobeca *Cichlasoma sieboldii* (9, 40-85) y el chumpipe *Poeciliopsis retropinna* (151, 15-71). Las especies recolectadas que sólo ocurrieron en dos áreas fueron los parivivos *Brachyrhaphis terrabensis* (18, 16-40) y *B. roseni* (50, 15-43), la sardina *Gephyrocharax intermedius* (106, 36-50), el cyprinodontidae *Rivulus hildebrandi* (16, 15-42), y la sardina *Roeboides occidentalis* (11, 42-62). Las demás especies capturadas que presentaron una distribución restringida a una sola área del estudio fueron el chupapiedra *Awaous transandeanus* (1, 150) en El Barrero, la sardina *Astyanax ruberrimus* (4, 36-48) en Barrigón, y el barbudo *Rhamdia guatemalensis* (1, 155) en Canjilones (Cuadro 2).

Las cinco especies más abundantes que constituyeron el 89 % del total de peces capturados fueron *A. fasciatus* (12 %), *B. roseni* (12 %), *B. terrabensis* (4 %), *G. intermedius* (25 %), y *P. retropinna* (36 %). En el área del Barrero las especies más abundantes fueron *P. retropinna* y *A. fasciatus*. En el área de Barrigón las especies más abundantes fueron *G. intermedius*, *P. retropinna*, *B. roseni*, *A. fasciatus*, *B. terrabensis*, y *R. hildebrandi*. Mientras que en el área de Canjilones las especies más abundantes fueron *A. fasciatus*, *B. roseni*, y *P. retropinna*, (Cuadro 2).

Se encontró que el contenido estomacal en 10 de las 12 especies de peces ($n=50$) incluyó detritus como parte importante de su dieta. Adicionalmente, siete especies de peces presentaron insectos como elemento importante o presente en su dieta. Vale destacar que de los individuos examinados, el chumpipe *P. retropinna* ($n=15$) y la sardina *R. occidentalis* ($n=2$) presentaron un estómago alargado, no muscular, y con abundante detritus finos tipo arcilla (Cuadro 3). Tres especies, *A. fasciatus*, *B. roseni*, y *C. sieboldii*, presentaron algas filamentosas como parte importante de su dieta. Otras tres especies, *A. fasciatus*, *G. intermedius*, y *R. hildebrandi*, presentaron larvas de insectos en su dieta (Cuadro No. 3). Las dos especies faltantes fueron las menos abundantes ($n=1$) encontradas en este estudio y fueron: *A. transandeanus* y *R. guatemalensis*.

DISCUSIÓN

Se reconocen un total de 45 especies válidas que ocurren o están dentro del rango reportado para el área de estudio y en la provincia de Chiriquí. Cabe destacar que la ictiofauna reportada está comprendida mayoritariamente por carácidos y poecílidos. Todas las especies reportadas para las quebradas Buenos Aires (cinco especies) y Luisa (nueve especies) son nuevos registros de estación. Para el río Estí se adicionan tres especies: *B. roseni*, *R. guatemalensis*, y *R. hildebrandi*, a las 13 especies previamente reportadas (Loftin 1965, Goodyear *et al.* 1977, Briceño & Martínez 1986).

La arcilla, proveniente de la erosión de suelos aledaños, fue especialmente abundante en la quebrada Buenos Aires y vertiente oeste de quebrada. "Luisa" en donde cubría gran parte del fondo. Esto se corrobora con el hallazgo en dos especímenes observados (quebradas Luisa y Buenos Aires) se encontró que el detritus era el elemento más importante en su dieta. Se espera que aumenten las poblaciones de aquellas especies detritívoras como el chumpipe y el chupapiedras en el área de estudio (MOPU, 1989).

De las determinaciones del contenido estomacal se pueden constatar los siguientes registros de hembras grávidas con huevos en estado avanzado de desarrollo: cuatro *B. roseni* (34-39 mm) obtenidas en quebrada Buenos Aires (7/08/94) y quebrada Luisa vertiente oeste (9/08/94) con 5-6 huevos, y una *P. retropinna* (65 mm) obtenida en Guasquitas (8/08/94) con cinco huevos. Según Bussing (1987), la reproducción de *A. fasciatus* es anual y *C. sieboldii* se reproduce en la época seca. Vale destacar que en este estudio, seis especímenes mostraron una igual importancia relativa de insectos, detritus, y algas filamentosas en su dieta.

Las especies identificadas como potencialmente de gran interés económico fue el sábalo *B. behreae* (pesca deportiva y acuicultura). Según Serrano (1994), es un pez abundante del río Majagua, afluente al río Chiriquí, y de gran importancia comercial en la región. Otras especies de peces de importancia serían la chobeca *C. sieboldii*, y el barbudo *R. guatemalensis* (acuicultura), y el Cyprinodontidae *R. hildebrandi*, y los parívidos *B. terrabensis* y *B. roseni* (acuario).

AGRADECIMIENTOS

A Rafael Rivera (DBML) Q.E.P.D. y Heidi Banford (STRI) por la ayuda en la verificación de especies, a Rigoberto González (CCML) y Jeff Birmingham (STRI) por la literatura suministrada, a Ramón Alvarado (CEPSA) por el apoyo logístico y al Programa UNIPAN-BID por el apoyo financiero brindado.

REFERENCIAS

- Behre, E.H. 1928. A list of fresh water fishes of western Panama between Long. 81° 45' and 83° 15' W. Ann. Carnegie Mus. 18: 305-328.
- Breder Jr., C.M. 1925. New loricariate, characin and poeciliid fishes from the rio Chucunaque, Panama. Amer. Mus. Nov. 180: 1-9.
- Breder Jr., C.M. 1927. The fishes of the rio Chucunaque drainage, eastern Panama. Bull. Amer. Mus. Nat. Hist. 57: 91-176.
- Briceño, J. & J.A. Martínez. 1986. Ictiofauna del río Chiriquí, p. 41-56. In D. Hernández & L. D'Croz. Evaluación ecológica del río Chiriquí en relación a la construcción de la represa hidroeléctrica Edwin Fábrega. Informe Técnico, IRHE-Universidad de Panamá, Panamá, Panamá.
- Briggs, J.C. 1984. Freshwater fishes and biogeography of Central America and the Antilles. Syst. Zool. 33: 428-435.
- Bussing, W.A. 1987. Peces de las aguas continentales de Costa Rica. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Bussing, W.A. 1988. A new fish, *Brachyrhaphis roseni* (Poeciliidae) from Costa Rica and Panama. Rev. Biol. Trop. 36: 81-87.
- Fink, W.L. & S.H. Weitzman. 1974. The so-called cheirodontin fishes of Central America with descriptions of two new species (Pisces: Characidae). Smithsonian Contrib. Zool. 172: 1-46.
- Goodyear, R., V. Martínez & J.B. Del Rosario. 1977. Apéndice No. 4. Fauna acuática, p. 265-334. In A. Adames (ed.). Evaluación ambiental y efectos del proyecto hidroeléctrico Fortuna. Revista Lotería 254/256: 1-538.
- Hildebrand, S.F. 1928. On a small collection of fishes from Chiriquí, Panama. Copeia 168: 81-84.
- Hildebrand, S.F. 1938. A new catalogue of the freshwater fishes of Panama. Publ. Field Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. 22: 217-359.
- Loftin, H.G. 1965. The geographic distribution of the freshwater fishes of Panama. Tesis de Doctorado, Florida State University, Tallahassee, U.S.A.
- Meek, S.E. & S.F. Hildebrand. 1912. Descriptions of new fishes from Panama. Publ. Field Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. 10: 67-68.
- Meek, S.E. & S.F. Hildebrand. 1913. New species of fishes from Panama. Publ. Field Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. 10: 77-91.
- Meek, S.E. & S.F. Hildebrand. 1916. The fishes of the fresh waters of Panama. Publ. Field Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. 10: 217-374.

- Miller, R.R. 1982. Pisces, p. 486-501. *In* S.H. Hurlbert & A. Villalobos-Figueroa (eds.). Aquatic biota of Mexico, Central America and the West Indies. San Diego State University, San Diego, U.S.A.
- MOPU. 1989. Guías metodológicas para la elaboración de estudios de impacto ambiental: 2. Grandes presas. Monografías de la Dirección General de Medio Ambiente, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, España.
- Myers, G.S. 1927. An analysis of the genera of neotropical killifishes allied to *Rivulus*. *Ann. Mag. Nat. Hist.* 9: 115-129.
- Myers, G.S. 1964. Derivation of the freshwater fish fauna of Central America. *Copeia* 4: 766-772.
- Serrano M., A. 1994. Crecimiento, estructura poblacional y reproducción del sábalo, *Brycon striatulus* (Kner & Steindachner, 1869) en Chiriquí, República de Panamá. Tesis de Licenciatura, CRUCHI-Universidad de Panamá, David, Panamá.

Cuadro 1. Listado taxonómico de peces de aguas dulces (primarios y secundarios) colectados (*) o informados para el área de Estí y la provincia de Chiriquí.

FAMILIA: Especies	Referencias
CHARACIDAE:	
<i>Astyanax kompi</i> Hildebrand	Hildebrand (1938)
<i>Astyanax ruberrimus</i> (Eigenmann)	Hildebrand (1928), Briceño & Martínez (1986)
<i>Astyanax fasciatus</i> (Cuvier)	*, Meek & Hildebrand (1916), Behre (1928), Loftin (1965), Goodyear <i>et al.</i> (1977)
<i>Brycon behreae</i> Hildebrand	*, Hildebrand (1938)
<i>Brycon striatulus</i> (Kner)	Behre (1928), Loftin (1965), Goodyear <i>et al.</i> (1977), Briceño & Martínez (1986)
<i>Cheirodon dialepturus</i> Fink y Weitzman	Fink & Weitzman (1974), Goodyear <i>et al.</i> (1977), Briceño & Martínez (1986)
<i>Cheirodon gorgonae</i> (Everman y Goldsborough)	*, Hildebrand (1938), Loftin (1965)
<i>Curimata magdalenae</i> Steindachner	Loftin (1965), Goodyear <i>et al.</i> (1977)
<i>Gephyrocharax intermedius</i> Meek e Hildebrand	*, Loftin (1965), Goodyear <i>et al.</i> (1977), Briceño & Martínez (1986)
<i>Roebooides occidentalis</i> Meek e Hildebrand	*, Hildebrand (1938)
<i>Roebooides salvadoris</i> Hildebrand	Behre (1928), Goodyear <i>et al.</i> (1977), Briceño & Martínez (1986)
CICHLIDAE:	
<i>Aequidens coeruleopunctatus</i> (Kner/Steindachner)	Loftin (1965), Goodyear <i>et al.</i> (1977)
<i>Cichlasoma (Anphilophus) altifrons</i> (Kner y Steindachner)	*, Loftin (1965), Goodyear <i>et al.</i> (1977)
<i>Cichlasoma lyonsi</i> Gosse	Goodyear <i>et al.</i> (1977), Briceño & Martínez (1986)
<i>Cichlasoma (Paraneetroplus) sieboldii</i> (Kner y Steindachner)	*, Behre (1928), Loftin (1965), Goodyear <i>et al.</i> (1977), Goodyear <i>et al.</i> (1977), Briceño & Martínez (1986)
CYPRINODONTIDAE:	
<i>Oxyzygonectes dovii</i> (Günther)	Loftin (1965), Goodyear <i>et al.</i> (1977), Briceño & Martínez (1986)
<i>Rivulus hildebrandi</i> Meyers	*, Myers (1927), Hildebrand (1928), Goodyear <i>et al.</i> (1977)
<i>Rivulus isthmensis</i> Garman	Hildebrand (1928)
<i>Rivulus volcanus</i> Hildebrand	5, Loftin (1965)

Cuadro 1. continuación	
FAMILIA: Especies	Referencias
ELEOTRIDAE:	
<i>Dormitator latifrons</i> (Richardson)	Meek & Hildebrand (1916), Briceño & Martínez (1986)
<i>Eleotris picta</i> Kner y Steindachner	Meek & Hildebrand (1916), Goodyear <i>et al.</i> (1977)
<i>Gobiomorus maculatus</i> (Günther)	Meek & Hildebrand (1916), Goodyear <i>et al.</i> (1977), Briceño & Martínez (1986)
<i>Hemieleotris latisfasciatus</i> (Meek e Hildebrand)	Meek & Hildebrand (1916), Goodyear <i>et al.</i> (1977), Briceño & Martínez (1986)
ERYTHRINIDAE:	
<i>Hoplías microlepis</i> (Günther)	Loftin (1965), Goodyear <i>et al.</i> (1977)
GOBIIDAE:	
<i>Awaous transandeanus</i> (Günther)	*, Meek & Hildebrand (1916), Goodyear <i>et al.</i> (1977), Briceño & Martínez (1986)
<i>Bathygobius soporator</i> (Cuvier y Valenciennes)	Loftin (1965)
<i>Gobionellus microdon</i> Meek e Hildebrand	Loftin (1965)
<i>Sicydium pittieri</i> Regan	Behre (1928), Goodyear <i>et al.</i> (1977)
<i>Sicydium salvini</i> Grant	Loftin (1965)
GYMNOTIDAE:	
<i>Gymnotus carapo</i> L.	Meek & Hildebrand (1916)
LORICARIIDAE:	
<i>Loricaria uracantha</i> Kner y Steindachner	Loftin (1965), Briceño & Martínez (1986)
<i>Hypostomus plecostomus</i> (L.)	Loftin (1965), Goodyear <i>et al.</i> (1977), Briceño & Martínez (1986)
MUGILIDAE:	
<i>Agonostomus monticola</i> (Bracraft)	Meek & Hildebrand (1916), Goodyear <i>et al.</i> (1977), Briceño & Martínez (1986)

Cuadro 1. continuación	
FAMILIA: Especies	Referencias
PIMELODIDAE:	
<i>Pimelodella chagresi</i> (Steindachner)	Behre (1928), Loftin (1965), Goodyear <i>et al.</i> (1977), Briceño & Martínez (1986)
<i>Rhamdia rogersi</i> (Regan)	Hildebrand (1928)
<i>Rhamdia guatemalensis</i> (Günther)	*, Meek & Hildebrand (1916), Loftin (1965), Goodyear <i>et al.</i> (1977), Briceño & Martínez (1986)
POECILIIDAE:	
<i>Brachyrhaphis roseni</i> Bussing	*, Loftin (1965), Goodyear <i>et al.</i> (1977), Bussing (1988).
<i>Brachyrhaphis terrabensis</i> (Regan)	*, Behre (1928), Hildebrand (1928), Goodyear <i>et al.</i> (1977), Briceño & Martínez (1986)
<i>Gambusia nicaraguensis</i> Günther	Meek & Hildebrand (1916)
<i>Poecilia sphenops</i> (Cuvier y Valenciennes)	Meek & Hildebrand (1916)
<i>Poeciliopsis elongata</i> (Günther)	Loftin (1965), Briceño & Martínez (1986)
<i>Poeciliopsis retropinna</i> (Regan)	*, Behre (1928), Loftin (1965), Goodyear <i>et al.</i> (1977), Briceño & Martínez (1986)
<i>Poeciliopsis turrubarensis</i> (Meek)	Loftin (1965), Goodyear <i>et al.</i> (1977)
PYGIDIIDAE:	
<i>Pygidium septentrionale</i> Behre	Behre (1928)
<i>Pygidium striatum</i> Meek e Hildebrand	Behre (1928)
SYNBRANCHIDAE:	
<i>Synbranchus marmoratus</i> Bloch	Loftin (1965), Goodyear <i>et al.</i> (1977)

Cuadro 2. Composición de especies de peces de agua dulce colectados u observados en cada estación del área de Estí durante julio-agosto de 1994. EST: LVA. Los Valles, MAR. Mariposa, CHI. Chiriquí, BAI. Buenos Aires, BAR. Barrigón, LUI. "Luisa" y EST. Estí. N. Total individuos, PESO. Peso húmedo promedio, LE. Longitud estándar, DE. 1 Desviación estándar (LE), RANGO. Tamaño mínimo-máximo, - = No hay data y NA= No aplica.

EST	ESPECIES	N	PESO (g)	LE (mm)	DE (1 DE)	RANGO (mm)
LVA	<i>Brachyrhaphis terrabensis</i>	3	0.4	24.7	8.1	16-32
	<i>Poeciliopsis retropinna</i>	4	2.2	43.3	8.8	34-55
MAR	<i>Astyanax fasciatus</i>	7	2.4	54.0	7.1	45-67
	<i>Brachyrhaphis terrabensis</i>	1	-	-	-	-
	<i>Cichlasoma sieboldii</i>	5	3.7	46.8	7.3	40-57
	<i>Poeciliopsis retropinna</i>	31	3.0	47.0	11.5	25-69
CHI	<i>Astyanax fasciatus</i>	11	3.8	66.3	7.2	59-73
	<i>Astyanax ruberrimus</i>	1	2.2	48.0	NA	NA
	<i>Awaous transandeanus</i>	1	51.5	150	NA	NA
	<i>Brachyrhaphis terrabensis</i>	1	1.1	36.0	NA	NA
	<i>Brycon behreae</i>	*	NA	NA	NA	NA
	<i>Cichlasoma sieboldii</i>	1	2.8	45.0	NA	NA
	<i>Poeciliopsis retropinna</i>	14	1.9	35.2	19.7	15-71
BAI	<i>Astyanax fasciatus</i>	7	6.5	62.3	15.0	38-78
	<i>Brachyrhaphis roseni</i>	9	2.1	28.2	5.1	20-31
	<i>Gephyrocharax intermedius</i>	6	1.2	40.8	1.2	39-42
	<i>Poeciliopsis retropinna</i>	5	2.1	44.2	6.8	39-56
	<i>Rivulus hildebrandi</i>	3	0.4	27.0	13.0	19-42
BAR	<i>Astyanax fasciatus</i>	4	5.6	60.8	5.3	53-65
	<i>Astyanax ruberrimus</i>	3	1.1	36.0	0.0	NA
	<i>Brachyrhaphis roseni</i>	4	0.5	28.5	1.9	26-30
	<i>Brycon behreae</i>	*	NA	NA	NA	NA
	<i>Gephyrocharax intermedius</i>	70	1.2	41.2	2.5	36-48
	<i>Poeciliopsis retropinna</i>	4	2.8	48.5	5.7	45-57

Cuadro 2. Continuación						
EST	ESPECIES	N	PESO (g)	LE (mm)	DE (1 DE)	RANGO (mm)
LUI	<i>Astyanax fasciatus</i>	6	2.5	42.3	15.0	30-66
	<i>Brachyrhaphis roseni</i>	18	0.9	32.9	6.0	16-39
	<i>Brachyrhaphis terrabensis</i>	13	0.6	28.5	6.0	19-40
	<i>Cichlasoma sieboldii</i>	1	24.8	85.0	NA	NA
	<i>Gephyrocharax intermedius</i>	21	1.7	44.7	3.1	40-50
	<i>Poeciliopsis retropinna</i>	21	2.5	47.5	4.7	37-56
	<i>Rhamdia guatemalensis</i>	*	NA	NA	NA	NA
	<i>Rivulus hildebrandi</i>	8	0.5	30.0	4.4	26-38
	<i>Roeboides occidentalis</i>	3	2.9	55.3	6.1	50-62
EST	<i>Astyanax fasciatus</i>	17	0.9	35.7	10.9	25-56
	<i>Brachyrhaphis roseni</i>	19	0.5	26.4	8.3	15-43
	<i>Brycon behreae</i>	4	0.8	37.8	2.4	36-41
	<i>Cichlasoma sieboldii</i>	2	3.2	43.0	4.2	40-46
	<i>Gephyrocharax intermedius</i>	9	1.3	42.2	1.6	40-44
	<i>Poeciliopsis retropinna</i>	72	2.5	46.4	8.5	30-71
	<i>Rhamdia guatemalensis</i>	1	39.9	155	NA	NA
	<i>Rivulus hildebrandi</i>	5	0.3	21.6	9.8	15-39
	<i>Roeboides occidentalis</i>	8	1.9	47.8	5.7	42-55

Cuadro 3. Hábitos alimenticios determinados en los peces de agua dulce del área de Estí durante julio-agosto de 1994. EST: LVA. Los Valles, MAR. Mariposa, CHI. Chiriquí, BAI. Buenos Aires, BAR. Barrigón, LUI. Luisa y EST. Estí. N. Número individuos, RANGO. Tamaño mínimo-máximo. Alimentación poderada (++) > (+): DG. Detritus en general, DF. Detritus finos, MV. Material vegetal, AF. Algas filamentosas, IN. Insectos y LI. Larvas de insectos.

EST	ESPECIE	N	RANGO (mm)	ALIMENTACIÓN					
				DG	DF	MV	AF	IN	LI
LVA	<i>P. retropinna</i>	1	44		++				
MAR	<i>A. fasciatus</i>	2	49-54	++			+	++	+
	<i>C. sieboldii</i>	2	42-43	++			++	+	
	<i>P. retropinna</i>	2	50-61		++				
erCHI	<i>A. fasciatus</i>	2	53-70	++			+	++	+
	<i>P. retropinna</i>	1	57		++				
BAI	<i>A. fasciatus</i>	2	52-75	++			+	++	
	<i>B. roseni</i>	2	34-35	+			++	++	
	<i>G. intermedius</i>	1	39	++				+	
	<i>P. retropinna</i>	1	56		++				
	<i>R. hildebrandi</i>	1	20	++					+
BAR	<i>A. fasciatus</i>	1	62	+		+	++	++	+
	<i>A. ruberrimus</i>	1	36	++					
	<i>B. roseni</i>	1	30	++			+	++	
	<i>G. intermedius</i>	10	38-48	++				++	+
	<i>P. retropinna</i>	1	47		++				
LUI	<i>A. fasciatus</i>	1	46	++				+	
	<i>B. roseni</i>	2	36-39	++				++	+
	<i>B. terrabensis</i>	1	35		++			+	
	<i>G. intermedius</i>	2	42-50	++				+	
	<i>P. retropinna</i>	2	40-50		++				
	<i>R. hildebrandi</i>	1	34	++				+	
	<i>R. occidentalis</i>	1	50	+					
EST	<i>B. roseni</i>	1	28				+		
	<i>B. behrae</i>	1	41	++				+	
	<i>G. intermedius</i>	1	44	++				++	+
	<i>P. retropinna</i>	6	39-67		++				
	<i>R. occidentalis</i>	1	47		++				

Registros de parasitismo en *Camponotus atriceps* (Hymenoptera: Formicidae) por Mermithidae (Nematoda) en Panamá

Alonso Santos M.^{1,2},
Roberto A. Cambra²,
Nivia Ríos³.

¹ Universidad de Panamá; Vicerrectoría de Investigación y Postgrado, Programa de Doctorado en Ciencias Naturales con Énfasis en Entomología (candidato a Doctor).

² Museo de Invertebrados G. B. Fairchild, Universidad de Panamá, Panamá.

³ Departamento de Microbiología y Parasitología, Universidad de Panamá

{alonso.santos@up.ac.pa; cambramiup60@gmail.com; toxogondii@gmail.com}

Recibido: 10.03.2016 / Revisado: 18.11.2016 / Aceptado: 29.11.2016.

© 2016 EDUNACHI: Editorial de la Universidad Autónoma de Chiriquí.

RESUMEN

Con el objetivo de reportar la parasitosis de nematodos intestinales en hormigas; se encontraron dos hormigas obreras de *Camponotus atriceps* con nematodos muertos de la familia Mermithidae. Los nematodos intentaron abandonar la hormiga a través de la abertura apical del gáster. Son los primeros registros en Panamá de nematodos Mermithidae parasitando hormigas *Camponotus* y de cualquier otra especie de hormiga en Panamá. Según la literatura, los hallazgos de Mermithidae parasitando *Camponotus* son raros para la región Neotropical, existiendo solo dos informes: uno para Argentina, y otro para México. Es muy probable que los pocos informes de parasitismo de Mermithidae a hormigas *Camponotus* sean el resultado de las pocas investigaciones que se realizan sobre el tema, tomando en cuenta que este género incluye cerca de 930 especies descritas. Registros de nematodos parasitando *Camponotus* son presentados en este trabajo.

ABSTRACT

With the objective to report intestinal nematode parasites in ants; we found two worker ants of *Camponotus atriceps* with dead nematodes of the family Mermithidae, who tried to leave the ant through the apical opening gaster. It is the first record for nematodes Mermithidae parasitizing *Camponotus* ants or any other ant species in Panama. According to the literature, finding of *Camponotus* ants infested with Mermithidae is rare for the Neotropical region, with only two records in Argentina, and Mexico. It is very likely that the few reports of parasitism in Mermithidae to *Camponotus* ants are the result of the few researches carried out on the subject, taking into account that this genus includes about 930 described species. Nematode infesting *Camponotus* are recorded in this paper.

PALABRAS CLAVES; KEY WORDS

Hormigas, parásitos intestinales, invertebrados, insectos; Ants, intestinal parasites, invertebrates, insects.

INTRODUCCIÓN

Camponotus atriceps (F. Smith, 1858) es una hormiga de distribución Néartica y Neotropical, encontrándose en una amplia diversidad de hábitats desde el norte de México (Alatorre-Bracamontes & Vásquez 2010) hasta Paraguay (Wild 2007). Wheeler (1933) informa para México el único caso de parasitismo por mermítidos en *C. atriceps*. La familia Mermithidae (Nematoda) incluye parásitos de invertebrados, especialmente insectos (Poinar 2012). Según Ipateva *et al.* (1990) la literatura sobre mermítidos parasitando hormigas es más bien extensa sin embargo, la composición de especies de mermítidos en hormigas es casi desconocida. Poinar (2012) presenta una compilación de todas las especies descritas de Mermithidae asociadas a hormigas, indicando registros para doce especies de mermítidos agrupados en siete géneros de los cuales, un género y dos especies son fósiles. La mayoría de las especies de mermítidos, incluyendo aquellos que atacan hormigas, parasitan solo un hospedero específico, género, o familia mientras que otros pueden infectar representantes de varios órdenes de insectos (Poinar 2012). Los mermítidos pueden causarles la muerte a sus hospederos por lo tanto, algunos han sido estudiados como potenciales controladores biológicos de Simuliidae (Torres *et al.* 1991), y otros utilizados en el control biológico del mosquito *Anopheles* (Rivera *et al.* 2014).

El presente trabajo tiene el objetivo de informar el primer caso en Panamá de hormigas del género *Camponotus* parasitadas por nematodos Mermithidae, y presentar los registros previos de nematodos parasitando hormigas de este género.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las hormigas fueron identificadas a nivel genérico utilizando Bolton (1994) y a nivel específico con la comparación minuciosa de los especímenes estudiados con muestras identificadas por el especialista William Mackay. Una vez identificadas las hormigas, se procedió a la disección del gáster (metasoma) para la extracción completa de los nematodos utilizando equipo de disección y realizando las observaciones con un estereoscopio (MOTICSMZ-143). Los nematodos fueron medidos e identificados utilizando la clave de nematodos de Costa Rica y otros apoyos bibliográficos (Esquivel 2011, Zajac & Conboy 2012, Hendrix & Robinson 2012). Los especímenes de *Camponotus atriceps* y Mermithidae se encuentran depositados en la colección del Museo de Invertebrados G. B. Fairchild, Universidad de Panamá (MIUP).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Camponotus atriceps (F. Smith, 1858)

Especímenes examinados: PANAMÁ, Darién, Parque Nacional Darién, Pirre, Estación Rancho Frío, 15 noviembre 2000 – 17 enero 2001, trampa Malaise, col. R. Cambra, A. Santos; 1 obrera menor, 1 obrera mayor (MIUP).

Estos son los primeros registros de nematodos Mermithidae parasitando hormigas *Camponotus* y de cualquier otra especie de hormiga en Panamá.

Se encontró en cada obrera de *C. atriceps* un Mermithidae muerto, los cuales intentaron abandonar la hormiga a través de la abertura apical del gáster (Figs. 1-2). Mediante la disección del metasoma de las hormigas parasitadas expusieron a los nematodos que se encontraban enrollados en forma de un espiral bien comprimido. El Mermithidae presente en la obrera mayor, al ser extendido, midió 12.0 cm de longitud y 0.1 cm de ancho.

La región cefálica de los dos Mermithidae presenta una cutícula translúcida, permitiendo la observación de pequeñas papilas en esta región cefálica. Sin embargo, al examinar los especímenes en su totalidad, no presentan primordio genital ni otra estructura que permitan determinar sus sexos. Por lo tanto, ambos son juveniles y en ese estadio de desarrollo no puede determinarse su sexo ni la especie, tal como ha sido descrito por otros autores (Poinar 2012, Crawley & Baylis 1921).

Según Pérez-Lachaud & Lachaud (2014) los hallazgos de Mermithidae parasitando *Camponotus* son raros para la región Neotropical, existiendo solo dos informes: uno para Argentina (Wheeler 1929), y otro para México (Wheeler 1933). Es muy probable que los pocos informes de parasitismo de Mermithidae a hormigas *Camponotus* sean el resultado de las pocas investigaciones que se realizan sobre el tema; tomando en cuenta que este género incluye cerca de 930 especies descritas (Hanson & Longino 2006). Registros de nematodos parasitando *Camponotus* son presentados en el cuadro 1.

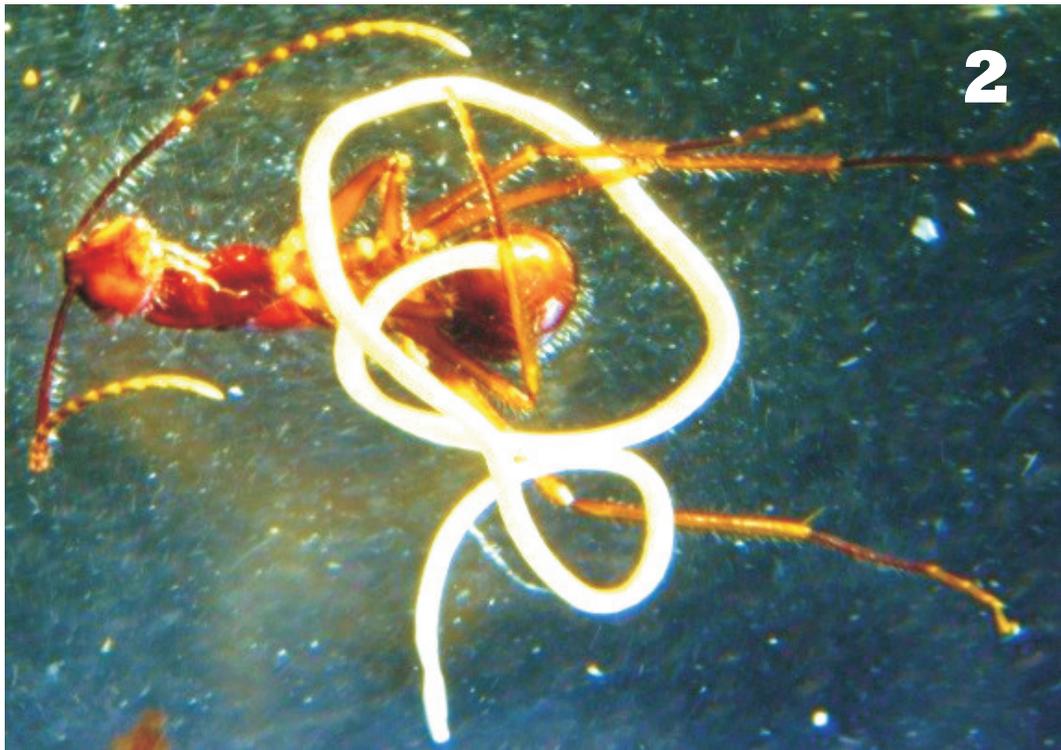
Cuadro 1. Familias y especies descritas de nematodos asociadas a hormigas *Camponotus* a nivel mundial, e incluyendo sólo los registros de especies sin identificar para la región Neotropical.

Familias (Nematoda)	Especies (Nematoda)	Hospederos (Formicidae)	Referencias
Allantonematidae	<i>Formicitylenchus oregonensis</i>	<i>Camponotus vicinus</i>	Poinar 2003
Mermithidae	Sin identificar	<i>C. punctulatus</i> <i>minutior</i>	Wheeler 1929
Mermithidae	Sin identificar	<i>C. atriceps</i>	Wheeler 1933
Mermithidae	<i>Comanimermis clujensis</i>	<i>C. aethiops</i>	Coman 1953
Mermithidae	<i>Camponotimermis bifidus</i>	<i>C. aethiops</i>	Ipateva et al. 1990
Mermithidae	Sin identificar	<i>C. sp. aff. textor</i>	Pérez-Lachaud & Lachaud 2014
Rhabditidae	<i>Oscheius dolichurus</i>	<i>C. herculeanus</i>	Nickle & Ayre 1966
Seuratidae	<i>Rabbium paradoxus</i>	<i>C. castaneus</i>	Poinar et al. 1989

REFERENCIAS

- Alatorre-Bracamontes, C. E. & Vásquez-Bolaños, M. 2010. Lista comentada de las hormigas (Hymenoptera: Formicidae) del norte de México. *Dugesiana* 17(1): 9-36.
- Bolton, B. 1994. *Identification guide to the ant genera of the world*. Harvard University Press. England. 222 pgs.
- Coman, D. 1953. Mermithide freatiche in fauna Republich Populare Romane. *Academia Republicii Populare Romîne. Studii și Cercetări știint* 2: 123-152.
- Crawley, W. C. & Baylis, H. A. 1921. *Mermis* parasitic on ants of the genus *Lasius*. *Journal of the Microscopical Society* 257: 353-372.
- Esquivel, A. 2011. Morfología de los Nematodos: Curso de identificación, Universidad Nacional de Costa Rica. Heredia, Costa Rica. 42 pgs.
- Hanson, P. E. & Longino, J. T. 2006. Capítulo 16. Hormigas (Formicidae). Pp. 644-694. En: Hymenoptera de la Región Neotropical. Hanson, P. E. & Gauld, I. D. (eds). *Memoirs of the American Entomological Institute* 77: 1-994.
- Hendrix, C. & Robinson, E. 2012. *Diagnostic Parasitology for Veterinary Technicians*. 4th edition, Elsevier Inc. 392 pgs.
- Ipatava, G. V., I. N. Pimenova & Mukhamedzyanova, F. V. 1990. A new nematode genus and species, *Camponotimermis bifidus* gen. and sp. n. from ants. Pp. 80-87. En: *Helminthes of Insects*. Sonin, M. D. (ed.), Leiden, The Netherlands. 227 pgs.
- Nickle, W. R. & Ayre, G. L. 1966. *Caenorhabditis dolichura* (A. Schneider, 1866) Dougherty (Rhabditidae, Nematoda) in the head glands of the ants *Camponotus herculeanus* (L.) and *Acanthomyops claviger* (Roger) in Ontario. *Proceedings of the Entomological Society of Ontario* 96: 96-98.
- Pérez-Lachaud, G. & Lachaud, J. P. 2014. Arboreal ant colonies as “Hot-Points” of cryptic Diversity for myrmecophiles: The weaver ant *Camponotus* sp. aff. *textor* and its interaction network with its associates. *Plos one* 9(6): 1-8.
- Poinar Jr., G. 2003. *Formicitylenchus oregonensis* n. g., n. sp. (Allantonematidae: Nematoda), the first tylenchid parasite of ants, with a review of nematodes described from ants. *Systematic Parasitology* 56(1): 69-76.
- Poinar Jr., G. 2012. Nematode parasites and associates of ants: Past and present. *Psyche* 2012: 1-13.
- Poinar Jr., G., Chabaud, A. G. & Bain, O. 1989. *Rabbium paradoxus* sp. n. (Seuratidae: Skrjabinelaziinae) maturing in *Camponotus castaneus* (Hymenoptera: Formicidae). *Proceedings of the Helminthological Society of Washington* 56: 120-124

- Rivera, P., Blanco, J., Solís Quant, S., Eliseo Atin, G., García Ávila, I., García, I., Menéndez Díaz, Z. 2014. *Romanomermis culicivora* (Nematoda: Mermithidae): una alternativa para el control de vectores de malaria en Nicaragua. *Revista Cubana de Medicina Tropical* 66(1): 101-111.
- Torres, O., Muñoz de Hoyos, P., Romero de Pérez, G. 1991. Parasitismo en larvas de simúlidos (Diptera: Simuliidae) del río Teusaca: microsporidios, mermítidos y hongos. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 18(69): 253-264.
- Wheeler, W. M. 1929. A *Camponotus* mermithergate from Argentina. *Psyche* 36: 102-106.
- Wheeler, W. M. 1933. *Mermis* parasitism in some Australian and Mexican ants. *Psyche* 40: 20-31.
- Wild, A. L., 2007. A catalogue of the ants of Paraguay (Hymenoptera: Formicidae). *Zootaxa* 1622: 1-55.
- Zajac, A. & Conboy, G. 2012. *Veterinary Clinical Parasitology*. 8th Edition, John Wiley Sons. Inc. 354 pgs.



Figuras 1-2. Fig. 1. Nematodo saliendo por la apertura apical del gáster de la obrera mayor de *C. atriceps* **Fig. 2.** Nematodo saliendo por la apertura apical del gáster de la obrera menor de *C. atriceps*

Parasitismo natural de huevos del complejo de especies de Pentatomidae (Heteroptera), en el agro ecosistema arroz en Panamá

Bruno Zachrisson^{1*},
Pedro Osorio¹,
Pamela Polanco²,
Ismael Camargo³.

¹ Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Laboratorio de Entomología, El Naranjal, Chepo, Panamá.

² Universidad de Panamá, Programa de Maestría en Entomología, Panamá, Panamá.

³ Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), Centro de Investigación Agropecuaria de los Recursos Genéticos (CIARG), Río Hato, Coclé, Panamá.

{bazsalam@gmail.com}

Recibido: 12.11.2016 / Revisado: 22.11.2016 / Aceptado: 12.12.2016.

© 2016 EDUNACHI: Editorial de la Universidad Autónoma de Chiriquí.

RESUMEN

Se determinó la tasa de parasitismo de huevos del complejo de especies de la familia Pentatomidae, en áreas extensivas de arroz sembradas con la variedad IDIAP-38, en las localidades de Juan Hombrón, Coclé y Chichebre, Panamá. Los muestreos fueron realizados periódicamente entre la fase de floración y de grano lechoso, entre 2012 y 2016. La tasa de parasitismo natural de huevos de Pentatomidae, varió entre 8.0 y 85.0%. Sin embargo, el parasitismo más elevado se registró en *Oebalus insularis* (Stal.) (Heteroptera: Pentatomidae), considerado como el principal insecto chupador del complejo de Pentatomidae, en este cultivo. Las especies de parasitoides de huevos de este complejo de insectos, reportados en las principales áreas productoras de arroz en Panamá, fueron: *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Platygasteridae), *Trissolcus basalis* (Wollaston) y *Trissolcus urichi* (Crawford) (Hymenoptera: Scelionidae). La predominancia de *T. podisi* presentó un elevado parasitismo en los huevos de las especies recolectadas, durante el período de evaluación. Los resultados presentados indican que el manejo racional de los insectos-plagas, promueve el parasitismo natural de las especies de Pentatomidae en las áreas de producción de arroz.

ABSTRACT

The rate of parasitism of eggs of the complex of species of the family Pentatomidae was determined in extensive areas of rice, sown with the variety IDIAP-38, in the locations of Juan Hombrón, Coclé and Chichebre, Panama. The samplings were carried out between the flowering phase and milky grain, between 2012 and 2016. The rate of natural parasitism of eggs of Pentatomidae ranged between 8.0 and 85.0%. However, the most abundant parasitism occurred in *Oebalus insularis* (Stal) (Heteroptera: Pentatomidae), considered as the main sucking insect of the complex of Pentatomidae in this crop. The species of parasitoids of eggs of this complex of insects, reported in the main areas of growers of rice in Panama, were: *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Platygasteridae), *Trissolcus basalis* (Wollaston) and *Trissolcus urichi* (Crawford) (Hymenoptera: Scelionidae). The predominance of *T. podisi* presented a high parasitism in the eggs of the species collected, during the period of evaluation. These results indicate that the rational management of the insect-pests promotes the natural parasitism of the Pentatomidae species in areas of rice production.

PALABRAS CLAVES; KEY WORDS

Pentatomidae, control natural, *Telenomus podisi*, *Telenomus urichi*, *Trissolcus basalis*, cultivo de arroz; Pentatomidae, natural control, *Telenomus podisi*, *Telenomus urichi*, *Trissolcus basalis*, rice crop.

INTRODUCCIÓN

El 12% de la reducción del rendimiento en el cultivo del arroz se atribuye a la incidencia de insectos (Vivas & Notz 2011). Por ello, el control natural del complejo de especies de la familia Pentatomidae, por medio de parasitoides de huevos, es una prioridad. El papel de estos insectos benéficos, radica en la reducción de la población de la plaga, en la fase de huevo, previo al daño que puedan causar las fases inmaduras. Esto se debe a la inoculación de toxinas y fitopatógenos, que ocurre en la fase de grano lechoso, a través de la inserción del estilete de las ninfas y adultos de *Oebalus* spp., al alimentarse (Zachrisson & Martínez 2011). El síntoma provocado se conoce como el “manchado de grano” y tiene relación directa con las infestaciones de insectos chupadores de la familia Pentatomidae, que afectan cualitativa y cuantitativamente, el rendimiento del cultivo (Rodríguez *et al.* 2006, Vivas & Notz 2010, 2011).

La dinámica poblacional de los parasitoides de huevos reportados en el agro ecosistema arroz, se relaciona con la incidencia de la fase de desarrollo biológico del insecto “objeto de control” y con los factores abióticos. Por lo que, la información recopilada es relevante, para el manejo del complejo de especies de insectos chupadores, frente al calentamiento global. En este sentido, el incremento de la temperatura afecta la relación “planta-insecto-parasitoide”, reduce el período de duración del ciclo biológico del insecto y por ende, aumenta el número de generaciones de éstos por año (Kiritani 2006). Por ello, la incidencia de los parasitoides de huevos, también podrá variar, influyendo en la tasa de parasitismo de huevos de las especies de Pentatomidae del agro ecosistema arroz (Kiritani 2006).

Actualmente, no existen registros de resistencia varietal para *Oebalus insularis* Stal, que es una de las especies de Pentatomidae más estudiadas, en el cultivo del arroz en Panamá (Zachrisson *et al.* 2011). Este aspecto dificulta su manejo, por medio del mejoramiento genético, lo que sustenta viabilidad del control natural en la fase de huevo del complejo de estos insectos chupadores. Aunado a esto, la adaptación nutricional de estos pentatomídeos a diversas especies malezas, como fuente alternativa de alimento, dificulta el manejo de los insectos-plagas en este rubro agrícola (Zachrisson *et al.* 2014a). En América Latina, *Echinochloa colona* (L.) Link es el principal huésped alternativo de *O. insularis*, a la cual se le atribuye la elevada población del complejo de insectos-chupadores, en las áreas productoras de arroz (Gutierrez *et al.* 1991, Vivas & Notz 2011). Además, otras especies de malezas como *Echinochloa crus-galli* (Linnaeus), *Paspalum conjugatum* (P.J. Bergius) y *Paspalum virgatum* (Linnaeus), también están asociadas con la alimentación y reproducción de otras especies del género *Oebalus* Stal (Naresh & Smith 1983, Rashid *et al.* 2005). Por lo que, el presente estudio determinó la tasa de parasitismo natural de huevos de Pentatomidae, que inciden en la fase fenológica de grano lechoso, en el cultivo del arroz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los muestreos fueron realizados entre 2012 y 2016, en áreas extensivas de producción de arroz sembrados con la variedad IDIAP-38, entre la fase de floración y de grano lechoso, en las localidades de Juan Hombrón, provincia de Coclé (08°23'83"N; 08°13'90"O) y de Chichebre (09°07'67"N; 79°13'78"O), provincia de Panamá, Panamá. El promedio de la temperatura y de la

humedad relativa, durante el quinquenio (2010-2015), en las áreas de producción de arroz fue de 32.8°C y 82.0%, respectivamente. El número total de muestras realizadas aleatoriamente fue de 30, en parcelas de 8 hectáreas, libre de la aplicación de insecticidas. La recolección de huevos de Pentatomidae se realizó por medio del método visual, considerando 30 puntos por parcela, aleatoriamente. Las masas de huevos recolectadas, fueron individualizadas en platos Petri de vidrio de (9.0 x 1.5 cm), manteniendo la humedad interna por medio de papel filtro humedecido con agua destilada, colocado en la base de este. Posteriormente, las masas de huevos fueron transferidas a cámaras climatizadas reguladas a 28±1°C de temperatura, 85.0±3.0% de humedad relativa y fotofase de 12 horas, con la finalidad de esperar la emergencia de los parasitoides y proceder a la identificación de especies, por medio de claves especializadas y consultas con especialistas de este grupo taxonómico (Valmir Costa, Instituto Biológico de Campinas, Brasil; Jocelía Grazia, Universidad Federal de Río Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil). Las ninfas de las especies de Pentatomidae, que eclosionaron de los huevos no parasitados, se mantuvieron en condiciones abióticas controladas, hasta alcanzar la fase adulta, lo que permitió la identificación taxonómica de las especies correspondientes a las masas de huevos recolectadas. El protocolo para la obtención de adultos, provenientes de las masas de huevos de las parcelas de arroz, siguió la metodología descrita por Zachrisson *et al.* (2014b) (Fig. 1). La tasa de parasitismo de huevos se determinó por medio de la fórmula $P = \left[\frac{\text{número de huevos parasitados}}{\text{número total de huevos recolectados}} \times 100 \right]$. La tasa de parasitismo de huevo total y por especie, también fue calculada en función de las localidades evaluadas.

RESULTADOS

Las especies pertenecientes al género *Oebalus*, presentaron mayor número de huevos en las parcelas muestreadas, durante el período de evaluación, con excepción de *Oebalus poecilus* (Dallas), lo cual indica la dominancia de este complejo de insectos chupadores en el agro ecosistema arroz (Cuadro 1). El elevado número de huevos de *O. insularis*, confirma la adaptación de esta especie en las áreas de producción arroceras de Panamá (Cuadro 1). No obstante, la elevada tasa de parasitismo superior al 85.0% del parasitoide *Telenomus podisi* Ashmead, confirma la regulación de la población de *O. insularis*, en los diversos agroecosistemas destinados al cultivo del arroz (Cuadro 1).

Otras especies de Pentatomidae, reportados en el cultivo del arroz para Panamá, entre estas, *Euschistus nicaraguensis* Rolston, *Mormidea pictiventris* Stal, *Mormidea ypsilon* (Fabricius), *Nezara viridula* Linnaeus, y *Proxys punctulatus* (Palisot) presentaron tasas de parasitismo entre 43.3 y 8.7% de parasitismo (Cuadro 1), destacándose la predominancia de *Te. podisi* (Cuadro 2). Independientemente, del elevado parasitismo de huevos por *Te. podisi*, otras especies fueron reportadas, entre estas se mencionan a *Trissolcus basalis* (Wollaston) y *Trissolcus urichi* (Crawford) (Cuadro 2).

La confirmación de nuevas asociaciones insecto-parasitoide, relacionan a *E. nicaraguensis*, *M. pictiventris* y *M. ypsilon* con *Te. podisi* (Cuadro 2). Además, otras especies como *N. viridula*, y *P. punctulatus* están asociadas a *Tr. Basalis* y *Tr. Urichi*, respectivamente (Cuadro 2). A partir de los resultados presentados, se confirma la regulación de la población del complejo de especies de Pentatomidae, en las zonas productoras de arroz en Panamá, mediante *Te. podisi*, *Tr. basalis* y *Tr. urichi* (Cuadro 1, 2).

DISCUSIÓN

El complejo de especies pertenecientes al género *Oebalus*, presentaron mayor número de huevos recolectados en las parcelas muestreadas, durante el período de evaluación, con excepción de *Oebalus poecilus* (Dallas), lo cual indica el elevado grado de adaptación al cultivo del arroz. La dominancia de este complejo de insectos chupadores. La elevada cantidad de masas de huevos *O. insularis*, recolectados en las parcelas de arroz y específicamente en la variedad IDIAP-38, confirman la relevancia en el manejo de este insecto-plaga (Zachrisson & Martínez 2011; Zachrisson *et al.* 2014c). La resiliencia del género *Oebalus* y específicamente *O. insularis*, al incremento de la temperatura en las áreas productoras de arroz muestreadas, dejan en evidencia la capacidad biológica y reproductiva de esta especie, fenómeno confirmado por Kiritani (2006). El reducido número de posturas de huevos de *E. nicaraguensis*, *M. pictiventris*, *M. ypsilon*, *N. viridula*, *Oebalus ornatus* Sailer, *Oebalus pugnax* (Fabricius), *O. poecilus* y *P. punctulatus* porcentualmente inferior a *O. insularis*, podría atribuirse a la adaptación de esta especie a las condiciones abióticas registradas en las parcelas de producción muestreadas. A pesar de posible influencia de la variabilidad climática, en el desarrollo biológico y reproductivo, de estas especies de Heteroptera, no se descarta el efecto de los compuestos volátiles de la variedad IDIAP-38, en la interacción trófica insecto-planta. La versatilidad del proceso de adaptación de *N. viridula* al cultivo del arroz, se destaca principalmente en función de la condición nutricional de esta especie, que se restringe a especies de leguminosas, entre estas el cultivo de soya (*Glycine max* Linnaeus), lo que sugiere una interacción trófica relevante que merece analizarse. El reporte reciente, de poblaciones emergentes de *E. nicaraguensis*, en la localidad de Juan Hombrón, provincia de Coclé, deja en evidencia la plasticidad en la adaptación de otras especies de Pentatomidae, en importantes polos de desarrollo de la actividad arrocería (Com. Pers., B. Zachrisson, 2016). Sin embargo, la reducción de la población de *E. nicaraguensis* por medio de elevadas tasas de parasitismo de *Te. podisi* (Com. Pers., B. Zachrisson 2016), se considera un modelo eficiente de la interacción trófica, condición fundamental para el éxito del manejo integrado de plagas, en este cultivo.

El impacto del parasitismo de huevos del complejo de insectos chupadores, específicamente en la familia Pentatomidae, repercute en la reducción de la población de la fase ninfal y consecuentemente en la cantidad de adultos, en el agro ecosistema arroz (Zachrisson *et al.* 2014a). Sin embargo, la influencia de las variables abióticas y bióticas, influyen en las interacciones tróficas entre el complejo de especies de Pentatomidae y los parasitoides *Te. podisi*, *Tr. basalis* y *Tr. urichi* (Kiritani 2006). La competencia por el mismo nicho ecológico, observado por los parasitoides *Te. podisi* y *Tr. basalis*, puede explicar la reducida tasa de parasitismo, en la mayoría de las especies de este complejo de insectos-chupadores, con excepción de *O. insularis*. Además, la adaptación de *Te. podisi* y *Tr. basalis* a la variabilidad climática y específicamente, al incremento acentuado de la temperatura diaria acumulada, expresada en grados días (GD), influye de manera directa al parasitismo de huevos de *O. insularis*. Por lo que, la adaptación de los diferentes biotipos de *Te. podisi* en las localidades estudiadas, explica la elevada tasa de parasitismo reportada en *O. insularis*. Estas interacciones tróficas, son procesos dinámicos que favorecen el control natural de especies de Pentatomidae, en donde el potencial biológico y reproductivo del insecto-chupador y del parasitoide, garantiza la sostenibilidad ambiental y la rentabilidad económica del cultivo del arroz.

La relación biótica reportada entre *P. punctulatus* y *Tr. urichi*, indica la renovación del agro ecosistema arroz, lo cual incrementa el número de interacciones biológicas y promueve el control biológico natural. Los mecanismos co-evolutivos, juegan un papel preponderante, en las interacciones presentadas en este estudio, en donde la capacidad adaptativa tanto del insecto-chupador, como el del parasitoide, garantizan la sostenibilidad de este rubro agrícola.

La colonización y adaptación de las especies de Pentatomidae, al complejo de malezas colindantes a las áreas de producción, es un punto relevante a considerarse, entre los períodos de siembra del cultivo, el cual podría considerarse reservorio de enemigos naturales y específicamente de *Te. podisi*. Por lo que, se destaca la incorporación de prácticas de manejo que promuevan la conservación de *Te. podisi*, con elevado potencial de control para el complejo de insectos-chupadores de pentatómidos. De esta manera, se fortalece el enfoque holístico, que debe implementarse en los programas de manejo integrado de plagas en el agro ecosistema arroz.

Cuadro 1. Número total de huevos y tasa de parasitismo de especies de Pentatomidae (Heteroptera), recolectadas en el agro ecosistema arroz (*Oryza sativa*) en las localidades de Juan Hombrón, Coclé y Chichebre, Panamá (2012-2016)

Especie / Pentatomidae	Número total de masas (posturas) de huevos	Número total de huevos recolectados (%)	Número de huevos parasitados	Tasa de Parasitismo (%)
<i>Euschistus nicaraguensis</i>	19	228 (6.5%)	26	11.4
<i>Mormidea pictiventris</i>	35	420 (12.0%)	67	15.9
<i>Mormidea ypsilon</i>	12	120 (3.4%)	24	20.0
<i>Nezara viridula</i>	5	90 (2.6%)	39	43.3
<i>Oebalus insularis</i>	84	1,512 (43.2%) ¹	1,298	85.8
<i>Oebalus ornatus</i>	32	480 (13.7%)	192	40.0
<i>Oebalus pugnax</i>	25	425 (12.4%)	94	22.1
<i>Oebalus poecilus</i>	7	98 (2.8%)	18	18.4
<i>Proxis punctulatus</i>	9	126 (3.6%)	11	8.7

¹Porcentaje de huevos recolectados durante la fase experimental.

Cuadro 2. Tasa de parasitismo y distribución geográfica de parasitoides emergidos de huevos de Pentatomidae (Heteroptera), en el agro ecosistema arroz (*Oryza sativa*), en Panamá (2012-2016).

Especie / Pentatomidae	Especie	Distribución (Localidad)	Tasa de Parasitismo (%)
<i>Euschistus nicaraguensis</i>	<i>Te. podisi</i>	1, 2	100.0
<i>Mormidea pictiventris</i>	<i>Te. podisi</i>	1	100.0
<i>Mormidea ypsilon</i>	<i>Te. podisi</i>	1	100.0
<i>Nezara viridula</i>	<i>Te. podisi</i>	1, 2	54.3
	<i>Tr. basalis</i>	1	45.7
<i>Oebalus insularis</i>	<i>Te. podisi</i> ³	1, 2	91.2
	<i>Tr. basalis</i> ⁴	1, 2	8.8
<i>Oebalus ornatus</i>	<i>Te. podisi</i>	1, 2	76.1
	<i>Tr. basalis</i>	1	23.9
<i>Oebalus pugnax</i>	<i>Te. podisi</i>	1	100.0
<i>Oebalus poecilus</i>	<i>Te. podisi</i>	1	100.0
<i>Proxis punctulatus</i>	<i>Te. podisi</i>	1, 2	87.2
	<i>Tr. urichi</i> ⁵	1	12.8

¹Juan Hombrón, Coclé, Panamá; ²Chichebre, Panamá, Panamá; ³*Telenomus podisi* (Hymenoptera: Platygasteridae);

⁴*Trissolcus basalis* (Hymenoptera: Scelionidae); ⁵*Telenomus urichi* (Hymenoptera: Scelionidae).

CONCLUSIONES

El manejo sostenible y racional del complejo de especies de la familia Pentatomidae, se demostró por medio de la elevada tasa de parasitismo natural de *Te. podisi*, para el complejo de especies de la familia Pentatomidae, principalmente para *O. insularis*. La interacción del “parasitoide-huésped-planta” es un proceso dinámico relevante, en dependencia de las variables bióticas y abióticas, que garantiza el éxito del control natural, dirigido al manejo del complejo de insectos chupadores de la familia Pentatomidae en el cultivo del arroz.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), por el apoyo económico ofrecido mediante el Sistema Nacional de Investigación (SNI), de Panamá.

REFERENCIAS

- Gutiérrez, A., R. Meneses, A. Arias, M. Hernández & M. Amador; 1991. La chinche del arroz en Cuba. *Arroz en las Américas* 12(2): 2-4.
- Kiritani, K. 2006. Predicting impacts of global warming on population dynamics and distribution of arthropods in Japan. *Population Ecology* 48: 5-12.
- Naresh, J.S. & C.M. Smith. 1983. Development and survival of rice stink bugs (Hemiptera: Pentatomidae) reared on different hosts plants at four temperaturas. *Environmental Entomology* 12:1496-1499.
- Rashid, T., D.T. Johnson & J.L. Bernhardt. 2005. Feeding preference, fecundity and egg hatch of rice stink bug on artificial diet, rice and alternative host grasses. *Southwestern Entomology* 30(4):257-262.
- Rodriguez, P.G., D. Navas, E. Medianero & R. Chang. 2006. Cuantificación del daño ocasionado por *Oebalus insularis* (Heteroptera: Pentatomidae) en el cultivo del arroz (Oryzica-1) en Panamá. *Revista Colombiana de Entomología* 32:131-135.
- Vivas, L.E. & A. Notz. 2010. Determinación del umbral y nivel de daño económico del chinche vaneador del arroz, sobre la variedad cimarrónen Calabozo estado de Guárico, Venezuela. *Agronomía Tropical* 60: 271-281.
- Vivas, L.E. & A. Notz. 2011. Distribución espacial en poblaciones de *Oebalus insularis* Stal. (Hemiptera: Pentatomidae) en el cultivo de arroz, estado Guárico, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola* 11:109-125.
- Zachrisson, B.A. & O. Martínez. 2011. Bioecología de *Telenomus podisi* (Ashmead) y *Trissolcus basalus* (Wollaston) (Hymenoptera: Scelionidae), parasitoides oófagos de *Oebalus insularis* (Kulghast) (Heteroptera: Pentatomidae). *Tecnociencia* 13: 65-76.
- Zachrisson, B., V. Costa & J. Bernal. 2014a. Incidencia natural de parasitoides de huevos de *Oebalus insularis* Stal. (Heteroptera: Pentatomidae) en Panamá. *IDESIA* 32(2):119-121.
- Zachrisson, B., P. Polanco & O. Martínez. 2014b. Protocolo de multiplicación de *Oebalus insularis* Stal. (Heteroptera: Pentatomidae), en condiciones abióticas controladas: Subsidio para la cría masiva de *Telenomus podisi* Ashmead (Hymenoptera: Platygastridae). 1^{ra} Edición, Publicación IDIAP, 18 p. ISBN: 978-9962-677-37-5
- Zachrisson, B., P. Polanco & O. Martínez. 2014c. Desempeño biológico y reproductivo de *Oebalus insularis* Stal (Hemiptera: Pentatomidae), en diferentes plantas hospedantes. *Revista de Protección Vegetal* 29(2):77-81.

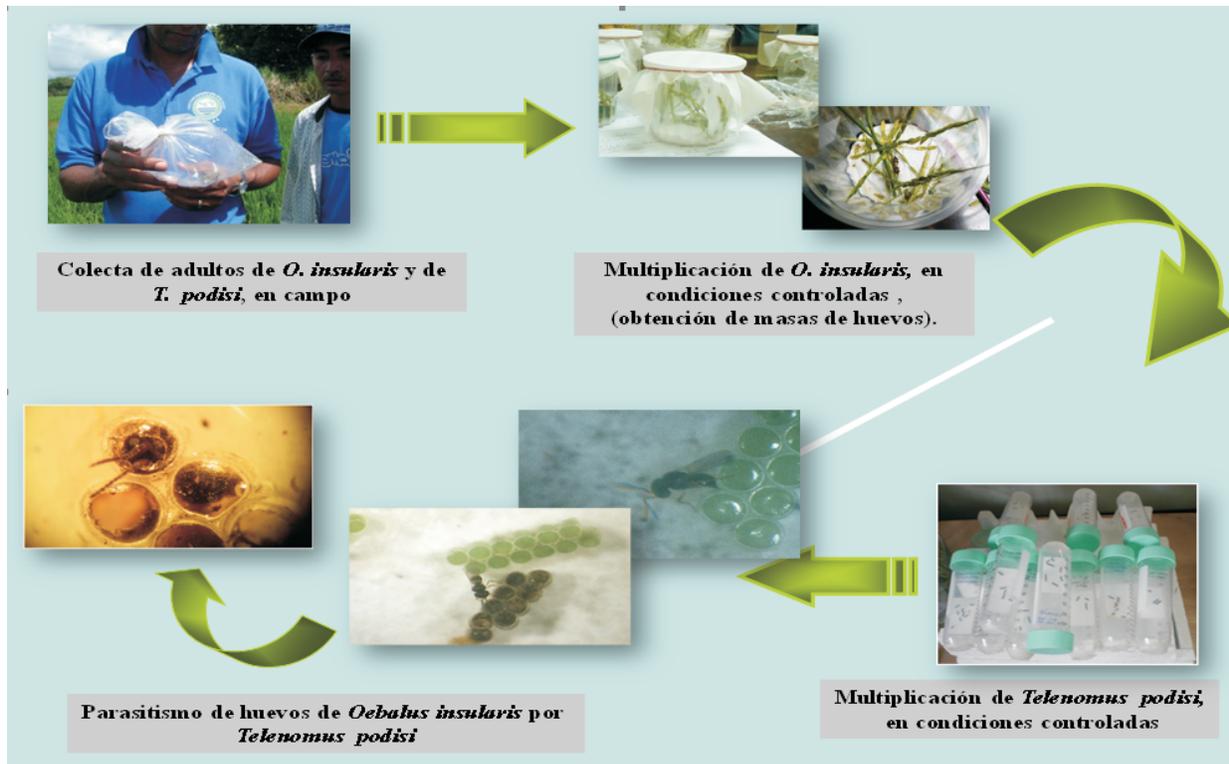


Figura 1. Esquema de cría masiva de *Oebalus insularis* (Heteroptera: Pentatomidae), en condiciones controladas de laboratorio.

First report on the density of the small-eared shrew, *Cryptotis nigrescens* (Eulipotypla: Soricidae) from Western Panama

Jorge Luis Pino^{1,2}.

¹ Vicerrectoría de Investigación y Posgrado, Universidad Autónoma de Chiriquí

² Sociedad Mastozoológica de Panamá

{jorge.pino@unachi.ac.pa}

Recibido: 21.01.2016 / Revisado: 21.12.2016 / Aceptado: 28.12.2016.

© 2016 EDUNACHI: Editorial de la Universidad Autónoma de Chiriquí.

RESUMEN

Los potenciales efectos que el cambio climático pudiese provocar en la estructura de las comunidades de especies montanas en el trópico, han incrementado el interés por conocer sobre su ecología actual desde diferentes perspectivas. Sin embargo, el tamaño pequeño de algunas especies parece haber causado que mamíferos como las musarañas hayan escapado del interés general de los investigadores en Mesoamérica. En este artículo, se reportan aproximaciones basadas en datos de campo sobre la densidad poblacional de musarañas de orejas pequeñas (*Cryptotis nigrescens*), en Panamá. Las musarañas fueron colectadas en un sistema de cuadrícula utilizando trampas vivas modelo Sherman en el Parque Internacional La Amistad; localidad que ofrece un escenario para desarrollar estudios sobre interacciones inter-específicas entre *C. nigrescens* y otros mamíferos pequeños. Se registró una densidad máxima de 19 individuos por hectárea en un solo día de captura y un promedio de 5.3 individuos por hectárea basado en los días que presentaron capturas; por lo cual se infiere que *C. nigrescens* es común en el área de estudio. Se considera imperativo estudiar la ecología de esta musaraña, la cual muestra una distribución restringida a los frágiles ecosistemas montanos, antes de que éstos desaparezcan.

ABSTRACT

The potential effects of climate change on the community assemblage of tropical montane species have increased the interest in understanding these species' current ecology from several perspectives. Nonetheless, the inconspicuousness of some species may have promoted that groups of small mammals, such as shrews, have escaped the general interest of local researchers in Mesoamerica. Here field-based approximations are presented for the density of the Small-eared shrew (*Cryptotis nigrescens*) in Panama. Shrews were collected in a grid system using Sherman live traps at the Parque Internacional La Amistad, a locality that offers a scenario for developing studies of interspecific interactions between *C. nigrescens* and other small mammals. A maximum density of 19 individuals per hectare was registered in a single day, and an average of 5.3 individuals per hectare based on the days with effective captures; suggesting that *C. nigrescens* is common in the study area. It is considered imperative to study the ecology of this shrew, which is restricted to the fragile montane environments, before they disappear.

PALABRAS CLAVES; KEY WORDS

Musaraña de orejas cortas, *Cryptotis nigrescens*, densidad, Panamá, América Central, pequeños mamíferos; Small-eared shrew, *Cryptotis nigrescens*, density, Panama, Central America, small mammals.

INTRODUCTION

Understanding the spatio-temporal dynamics of species populations remains an important goal in ecology and is particularly fundamental for estimating the species' life-history evolution at several scales (Sutherland *et al.* 2013). Additionally, with the development of recent fields such as spatial distribution modeling, population dynamics becomes important for translating the growing number of published hypotheses that suggest the expansion, reduction or fragmentation of species distributions. Among several attributes, population density is particularly important as it is commonly used to understand ecological processes like competition and territoriality across several taxa (Fletcher 2007, Marshall *et al.* 2009, Vieira & Paise 2011). The potential effects of climate change on the community assemblage of tropical montane species have increased the interest for understanding such species' current ecology from several perspectives, as for example their inter- and intraspecific interactions, niche dimensions, and population dynamics (Buermann *et al.* 2011; Gasner *et al.* 2010). The contrasting reality, whatsoever, is a great deficit in taxonomical assignments and natural history descriptions for montane vertebrates in the Neotropics, particularly for the smallest species such as shrews.

The inconspicuousness of some of the smallest members of the Mesoamerican montane mammal community, the small-eared shrews (Genus *Cryptotis*), must be assumed as a primary cause for the relative paucity of publications on this group, which seems to have escaped the interest of local scientists in the Mesoamerican region. Within this genus, the *C. nigrescens* species complex, known to occur in the highlands of Costa Rica and western Panama at elevations above 800 m, still remains poorly understood from an ecological perspective (Woodman & Timm 1993; Samudio Jr. & Pino 2014). Especially in the northern Neotropics, shrews and other montane mammalian species face a growing pressure due the continuous habitat conversion of the fragile ecosystems in this region. In many areas across the region, as for example in Panama, this habitat conversion into croplands seems to be the rule. As a result, the small patchy-remnants of wild lands and water sources usually end up compromised by the deposition of pesticides (UNEP & IOMC 2009) and other chemicals; influencing the natural dynamics of the species populations.

A review of its conservation status indicated that *C. nigrescens* is presumed to have a large population across its distributional range from Costa Rica to Panama (Pino & Woodman 2008). However, the body of literature involving shrew trapping (Mulungu *et al.* 2008; McCain 2004; Barnett 1992; Woodman *et al.* 2012), exhibits a generalized tendency of using line-transect approaches or other methods that prevent the estimation of population densities, resulting mostly in descriptions of a relative trapping success. The purpose of this study is to provide field-based approximations for the density of *C. nigrescens*, a species that is restricted to fragile montane environments such as cloud forest and paramos in Costa Rica and Western Panama and for which only scarce information is available. As part of a larger expedition investigating the social organization of Neotropical singing mice (*Scotinomys*), the author documented basic spatio-temporal information for the small-eared shrew, *Cryptotis nigrescens*, which were caught in a grid-trapping system during May-August of 2004 in Western Panama.

MATERIAL AND METHODS

The grid-system was located at 2,270 meters (a.s.l.) within the Parque Internacional La Amistad (PILA), at Las Nubes in Chiriqui Province (8.8953 N, 82.6187 W). Shrews were caught in a 60 x 70 meters grid-trapping system (0.42 ha), where each grid-cell measured 10x10 meters. Two Sherman traps (5 x 6 x 16 cm) were located in each cell corner for a total of 112 traps placed on the ground. Traps were baited with a mixture of peanut butter and vanilla-oats, a common bait used for trapping small mammals in the Neotropics (Hice & Velazco 2013). The traps were opened from 6:00 a.m. to 1:00 p.m. Shrews were identified in the field aimed by an illustrated mammal field guide and morphological data from literature (Reid 1997; Pine *et al.* 2002; Goodwin 1954), and released without marking them. The online platform Math is Fun (Pierce 2015) was used to create figure 3, showing the extent to which tools in this K-12 website can be applied to. Shrews were not marked when captured, this prevented to make estimations based on a capture-recapture model; Due to this reason, daily densities were estimated dividing the number of shrew captured by the area of the grid (i/ha).

RESULTS

A total of 47 shrew captures were recorded within the trapping-grid. Figure 2 shows the temporal distribution of these captures, but illustrating only those days when shrews were recorded in traps. Spatially, the raw data from individual trap points suggests that population densities range from 2.4 to 19.0 i/ha, with an average of 5.3 i/ha. Since individuals were not marked, these estimations are based on the number of individuals caught per day. Temporally, shrew trapping yielded an average capture of 2.2 i/day. The spatial distribution of the eight shrews trapped on the day with the greatest capture success, plotted in Fig. 3, shows that the individual trapping events were not clustered together in the grid. The minimum convex polygon formed by enveloping the successful traps (Figure 3) delimits an area of 1,450 m² (0.145 ha), thus yielding as the maximum density of shrews recorded in this study some 5.52 i/ha.

C. nigrescens was caught in sympatry with the singing mouse *Scotinomys xerampelinus*, a species with which it shares a similar size (<20 g), diet (insectivore) and activity rhythm (diurnal), as well as probably other ecological requirements.

DISCUSSION

Trapping. Although the trapping setting was adequate for singing mice experiments, the author managed to gather some data that may contribute to the scarce literature of shrews from Panama. Proper estimations of population densities require robust field study designs that incorporate spatial and temporal elements with the individual capture-mark-recapture component. Nonetheless, the intention of this article is to report preliminary observations on shrew densities, as a collateral result obtained in a different project. For this reason, capture-mark-recapture in shrews was not performed. Shrew-trapping success using Sherman live traps has been questioned experienced by mammalogists, who achieved better results using pitfall traps (Pacheco *et al.* 2006; Woodman & Timm 1993). Although no pitfall traps were used in this grid system, the author had a positive experience trapping small-eared shrews using the small Sherman live traps, and would recommend their use for the study of shrews in the tropics. While the trapping system was designed for *S. xerampelinus*, a larger species weighing approximately 13-15 g (Blondel *et al.* 2009; Pasch *et al.* 2013), I noticed during the preliminary trapping sessions that the trap triggers required to be finely adjusted if they were to respond to lighter species such as shrews weighing 3.0-7.5 g (Woodman 2000). Setting the Sherman traps with the same trigger sensibility for all small mammals may explain the general absence or low representation of shrews in published mammal inventories in the Neotropics. The differences in trap-size used could also be an argument for the effective detection of shrews experienced by mammalogists.

Density. Assessments of population densities are common for some small mammal groups in the tropics, especially for rodents, but particularly scarce for shrews. The estimations presented here 5.3 i/ha, are preliminary approximations for *C. nigrescens* in the cloud highlands of western Panama. The author recognize that more robust efforts are required for a better understanding of the densities and population dynamics of this species. The taxonomically closest shrew species for which population densities have been published is *Cryptotis parva*, with 32 i/ha (Frantz 1972), 34.6 and 43.2 i/ha (Andrews 1974), estimated from different locations in North America. Direct comparisons with the densities reported herein for *C. nigrescens* may thus be hampered both by the differences in geographical and/or ecological context as well as in the respective trapping protocols. Whether the population density of *C. nigrescens* is high or low needs to be determined in further studies. However, trapping events of shrews from outside the grid were also frequent, implying that *C. nigrescens* is common in the study area.

Daytime trapping helped discriminating shrews from nocturnal species; but *S. xerampelinus*, a diurnal species was also caught along with *C. nigrescens*; suggesting that interspecific interactions may mediate the use of spatial and/or resource niches influencing the population dynamics. For example, field data on the Ecuadorian shrew *C. montivaga* showed that its co-occurrence with two more species that also feed on insects promotes interspecific interactions that lower the abundance of *C. montivaga*, due to competition for resources (Barnett 1992). Thus, considering the co-occurrence of *C. nigrescens* with *S. xerampelinus*, interspecific density dependence might be assumed and should be addressed in future studies.

Implications. The very short time window of one trapping day (7 hours) with eight individuals caught showed that shrews were dispersed in the grid (Figure 3). This raises questions about intraspecific interactions in *C. nigrescens* that mediate individual encounters, but little is known about this behavior in shrews. The singing mouse *S. xerampelinus* was inferred to occur in higher densities, i.e., with 28 and 62 ind/ha, in the same grid in 2003 and 2004, respectively (Blondel *et al.* 2009). These two species share important spatio-temporal dimensions, such as diurnal activity (Pasch & Pino 2013) and the fact that both species feed on insects (Hooper & Carleton 1976). This condition may have led to the evolutionary development of strategies to avoid competition. Singing mice, for example, are known to vocalize to mediate competitive interspecific interactions (Campbell *et al.* 2014; Pasch *et al.* 2013). However, there is a lack of detailed information on the vocalization of *C. nigrescens*, which precludes any assumptions in this regard. Shrew vocalization patterns have been described for *Blarina brevicauda*, *Cryptotis parva* and *Suncus murinus* (Gould 1969), *Sorex isodon* (Skarén 1979); and more recently also for *S. murinus* (Schneiderová & Zouhar 2014) and *Diplomesodon pulchellum* (Volodin *et al.* 2015), suggesting that there is a great potential for developing exploratory studies on vocalization of *C. nigrescens* and further studies on interspecific vocal signaling between singing mice and *C. nigrescens* in this area.

The fast pace at which montane landscapes change in southern Central America may cause the progressive diminution and eventual disappearance of the populations of *C. nigrescens*, reducing their overall genetic pool even before we record the basics of their ecology. For this reason, the author recalls the urgent necessity of studying the intriguing natural history of shrews in their natural environments before both disappear.

ACKNOWLEDGMENTS

I thank Steven Phelps from the University of Texas at Austin and Dimitri Blondel from the University of Florida for their generous collaboration with the trapping while developing other field experiments. Thanks to Autoridad Nacional del Ambiente (now MiAmbiente) that provided the research permits, to Lionel Quiroz and the park rangers Aurelio de Gracia Hartmann, Roberto and Antonio from Parque Internacional la Amistad (PILA). Thanks to F. de Caña for important field support.

REFERENCES

- Andrews, R.D., 1974. An irruption of least shrews, *Cryptotis parva*, in Illinois. *Transactions, Ill. State Acad. Sci.*, 67(1), pp.5–7.
- Barnett, A.A., 1992. Notes on the ecology of *Cryptotis montivaga* Antony, 1921 (Insectivora, Soricidae), a high-altitude shrew from Ecuador. *Mammalia*, 56(4), pp.587–593.
- Blondel, D. V., Pino, J. & Phelps, S.M., 2009. Space Use and Social Structure of Long-Tailed Singing Mice (*Scotinomys xerampelinus*). *Journal of Mammalogy*, 90(3), pp.715–723.
- Buermann, W. *et al.*, 2011. Projected changes in elevational distribution and flight performance of montane Neotropical hummingbirds in response to climate change. *Global Change Biology*, 17(4), pp.1671–1680.
- Campbell, P. *et al.*, 2014. Vocal ontogeny in neotropical singing mice (*Scotinomys*). *PLoS ONE*, 9(12), p.e113628.
- Fletcher, R.J., 2007. Species interactions and population density mediate the use. *Journal of Animal Ecology*, 76, pp.598–606.
- Frantz, S.C., 1972. Fluorescent pigments for studying movements and home ranges of small mammals. *Journal of Mammalogy*, 53(1), pp.218–223.
- Gasner, M.R. *et al.*, 2010. Projecting the local impacts of climate change on a Central American montane avian community. *Biological Conservation*, 143(5), pp.1250–1258.
- Goodwin, G.G., 1954. A new Short-tailed shrew from Western Panama. *American Museum Novitates*, 1677, pp.1–2.
- Gould, E., 1969. Communication in three genera of shrews (Soricidae): *Suncus*, *Blarina* and *Cryptotis*. *Comm. Behav. Biol.*, Part A 3, pp.11–31.
- Hice, C.L. & Velazco, P.M., 2013. Relative effectiveness of several bait and trap types for assessing terrestrial small mammal communities in Neotropical rain forest. *Occasional Papers -Museum of Texas Tech University*, (316), pp.1–15.
- Hooper, E.T. & Carleton, M.D., 1976. Reproduction, Growth and Development in Two Contiguously Allopatric Rodent Species, Genus *Scotinomys*. *Miscellaneous Publications - Museum of Zoology, University of Michigan*, 151(15), pp.1–52.
- Marshall, A.J., Cannon, C.H. & Leighton, M., 2009. Competition and Niche Overlap Between Gibbons (*Hylobates albibarbis*) and Other Frugivorous Vertebrates in Gunung Palung National Park, West Kalimantan, Indonesia. In D. Whittaker & S. Lappan, eds. *The Gibbons, Developments in Primatology: Progress and Prospects*. New York, NY: Springer Science + Business Media, pp. 161–188.
- McCain, C.M., 2004. The mid-domain effect applied to elevational gradients: species richness of small mammals in Costa Rica. *Journal of Biogeography*, 31(1), pp.19–31.

- Mulungu, L.S. *et al.*, 2008. Diversity and distribution of rodent and shrew species associated with variations in altitude on Mount Kilimanjaro, Tanzania. *Mammalia*, 72(3), pp.178–185.
- Pacheco, J. Ceballos, G., Daily, G., Ehrlich, P.R., Suzán, G., Rodríguez-Herrera, B., Marcé, E., 2006. Diversidad, historia natural y conservación de los mamíferos de San Vito de Coto Brus, Costa Rica. *Revista Biología Tropical*, 54(1), pp.219–240.
- Pasch, B. & Pino, J.L., 2013. Cost of Advertising: Long-Tailed Weasels (*Mustela frenata*) as Potential Acoustically-Orienting Predators of Neotropical Singing Mice (Scotinomys). *The Southwestern Naturalist*, 58(3), pp.363–366.
- Pasch, B., Bolker, B.M. & Phelps, S.M., 2013. Interspecific dominance via vocal interactions mediates altitudinal zonation in neotropical singing mice. *The American Naturalist*, 182(5), pp.E161–73.
- Pierce, R., 2015. Math is Fun --Maths Resources. Retrieved 8 Nov 2015 from <http://www.mathsisfun.com/index.htm>.
- Pine, R.H., Woodman, N. & Timm, R.M., 2002. Rediscovery of Enders's small-eared shrew, *Cryptotis endersi* (Insectivora: Soricidae), with a redescription of the species. *Mammalian Biology - Zeitschrift für Säugetierkunde*, 67, pp.372–377.
- Pino, J.L. & Woodman, N., 2008. *Cryptotis nigrescens*. *IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.1*. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 25 July 2013., pp.1–3.
- Reid, F.A., 1997. *A field guide to the mammals of Central America & Southeast Mexico*, New York: Oxford University Press.
- Samudio Jr., R. & Pino, J.L., 2014. Historia de la Mastozoología en Panamá. In J. Ortega, J. L. Martínez, & D. G. Tirira, eds. *Historia de la Mastozoología en Latinoamérica, las Guayanas y el Caribe*. Quito y México DF: Editorial Murciélago Blanco y Asociación, pp. 329–344.
- Schneiderová, I. & Zouhar, J., 2014. Resting-associated vocalization emitted by captive Asian house shrews (*Suncus murinus*): acoustic structure and variability in an unusual mammalian vocalization. *PLoS ONE*, 9(11), p.e111571.
- Skarén, U., 1979. Mating behaviour of *Sorex isodon* Turov. *Ann. Zool. Fennici*, 16, pp.291–293.
- Sutherland, W.J. *et al.*, 2013. Identification of 100 fundamental ecological questions D. Gibson, ed. *Journal of Ecology*, 101(1), pp.58–67.
- UNEP & IOMC, 2009. Persistent Organic Pollutants Along Environmental Transects in Costa Rica, Chile, Nepal, and Botswana. *Division of Technology, Industry, and Economics Chemicals Branch -Report*, (December), p.91p.
- Vieira, E.M. & Paise, G., 2011. Temporal niche overlap among insectivorous small mammals. *Integrative Zoology*, 6, pp.375–386.

- Volodin, I. a. *et al.*, 2015. Small Mammals Ignore Common Rules: A Comparison of Vocal Repertoires and the Acoustics between Pup and Adult Piebald Shrews *Diplomesodon pulchellum* M. Manser, ed. *Ethology*, 121(2), pp.103–115.
- Woodman, N. & Timm, R.M., 1993. Intraspecific and interspecific variation in the *Cryptotis nigrescens* species complex of small-eared shrews (Insectivora: Soricidae), with the description of a new species from Colombia. *FIELDIANA*, 74, pp.1–30.
- Woodman, N., 2000. *Cryptotis merriami* Choate in Costa Rica: Syntopy with *Cryptotis nigrescens* (Allen) and Possible Character Displacement (Mammalia: Insectivora). *Caribbean Journal of Science*, 36(3-4), pp.289–299.
- Woodman, N. *et al.*, 2012. Distributional records of shrews (Mammalia, Soricomorpha, Soricidae) from Northern Central America with the first record of *Sorex* from Honduras. *Annals of Carnegie Museum*, 80(3), pp.207–237.

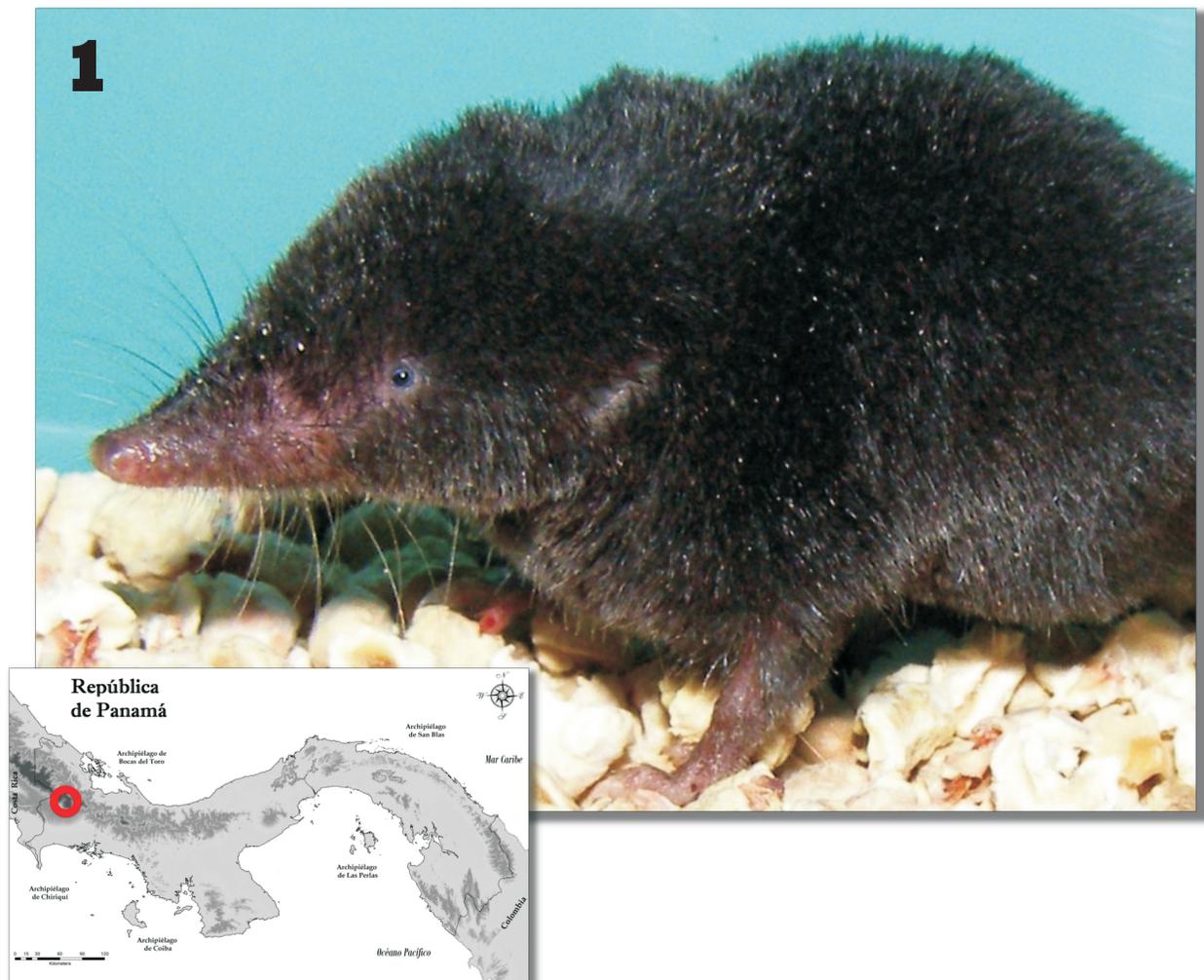
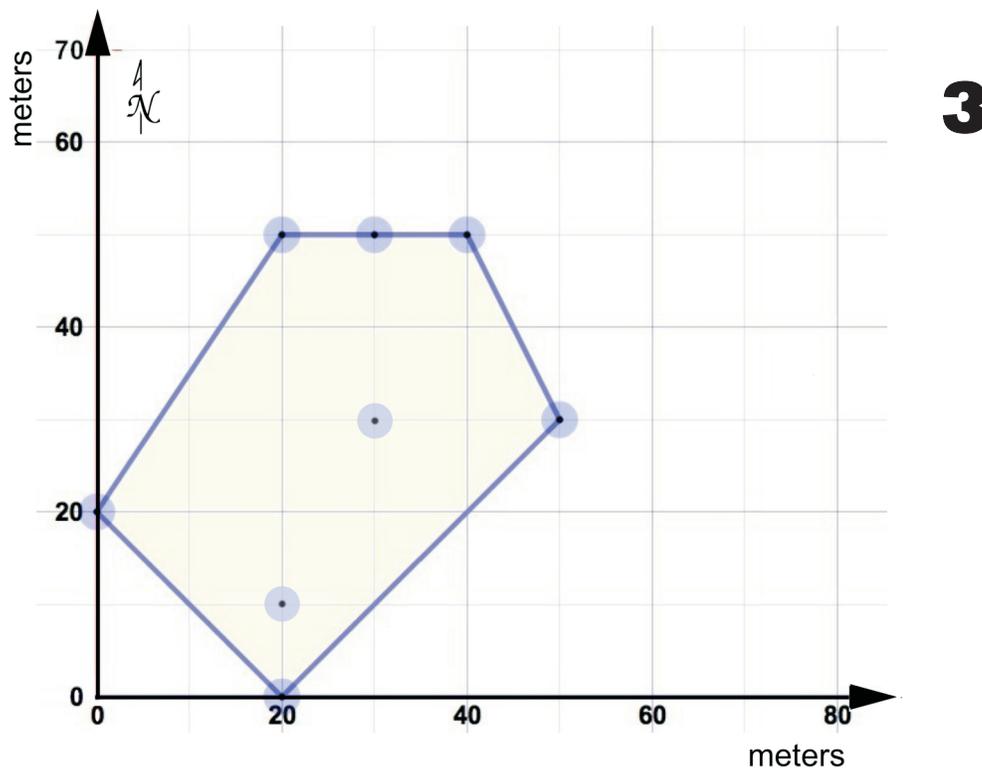
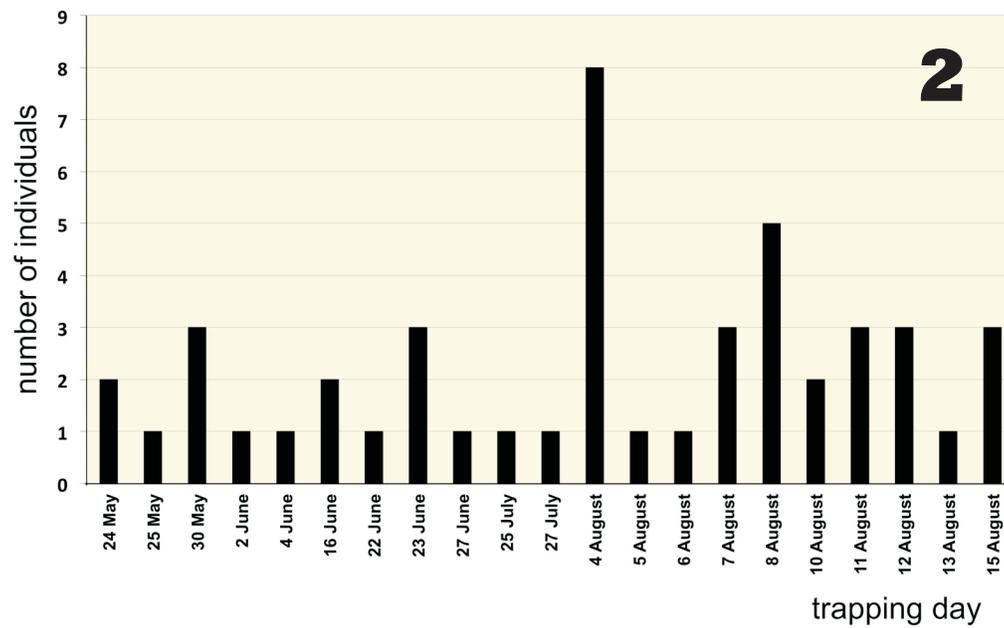


Figure 1. An individual of the Small-eared shrew, *Cryptotis nigrescens*, captured at Las Nubes (approximate location indicated by red circle in inset map), Parque Internacional La Amistad (PILA),



Figures 2-3. **Fig. 2.** Number of shrews captured in the grid system on successful trapping days within the trapping season. **Fig. 3.** Minimum convex polygon enveloping the spatial locations of eight shrews caught in the grid trapping system during one day, August 4th 2004. The polygon delimits an area of 145 square meter (0.0145 ha).

***Homo sapiens* (Primates: Hominidae): ¿una especie invasora o aún peor? Un reto para potenciar la Ecología y la Biología de la conservación**

Edgardo I. Garrido-Pérez^{1,3},
David Tella-Ruiz^{2,3}.

¹ Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI), Panamá. Herbario y Jardín Botánico. Urbanización El Cabrero, Carretera Interamericana, David, Chiriquí, Panamá.

² Universitat de Barcelona, Facultat de Geografia i Història, Departament d'Història d'Àfrica i Àfrica. Carrer Montalegre 6-8.

³ Associació Llapis i Llavors, Barcelona

{edgardoga2@hotmail.com; davidtr70@gmail.com}

Recibido: 16.10.2016 / Revisado: 16.11.2016 / Aceptado: 11.12.2016.

© 2016 EDUNACHI: Editorial de la Universidad Autónoma de Chiriquí.

RESUMEN

Ninguna especie prolífica del mundo afecta tanto a la Tierra como *Homo sapiens*; pero hay reticencia a considerarlo como especie invasora. Aquí evaluamos la invasión biológica de *H. sapiens* mediante la revisión de evidencia que va desde estudios moleculares y médicos hasta el uso del suelo y datos históricos. *H. sapiens* comparte más de 15 características y procesos indicados en la literatura con otras especies invasoras. Fragmentos de poblaciones de *H. sapiens*: (1) salieron de su hábitat y ámbito geográfico original con ayuda de los humanos. (2) Escaparon de los patógenos y enemigos naturales colonizando áreas donde estos estaban ausentes. (3) Compensaron los riesgos de endogamia y alta mortalidad en los nuevos hábitats mediante inmigraciones repetidas. (4) Alteran el resultado de las interacciones entre especies silvestres. (5) Excluyen a otras especies mediante competencia y depredación. (6) Modifican el medio abiótico, por ejemplo, estableciendo monocultivos, minas y ciudades. (7) Producen grandes cúmulos de desechos biodegradables y no-degradables. (8) Generan el cambio global, por ejemplo, alterando la atmósfera y la hidrósfera. (9) Causan extinciones masivas de especies y, además, amenazan permanentemente a toda la vida del planeta con un posible holocausto nuclear. (10) Perjudican a otros humanos por: contaminación del aire que éstos respiran, matanza directa y esclavitud. Los biólogos pueden convencer a la humanidad de cambiar su comportamiento si incluyen a *H. sapiens* en la lista de especies invasoras.

ABSTRACT

No other prolific species affects Earth as *Homo sapiens* does, still there is reluctance to consider *H. sapiens* as an invasive species. We assess the biological invasiveness of the species by reviewing multidisciplinary evidence ranging from molecular and medical studies, to land-use and historical data. *H. sapiens* shares more than 15 characteristics and processes enlisted in literature for (other) invasive species. Population fragments of *H. sapiens*: (1) got out of their original habitat and geographic range with the help of humans. (2) Escaped pathogens and natural enemies by colonizing areas where such enemies were absent. (3) Outbalanced risks of endogamy and high mortality in its new habitats by means of repeated immigration. (4) Affect the outcome of wild species-species interactions. (5) Exclude other species by means of competition and predation. (6) Alter the non-biotic environment, e.g., by establishing monocultures, mines, and cities. (7) Produce large bulks of both artificial and biodegradable waste. (8) Generate global change, e.g., by altering the atmosphere and the hydrosphere. (9) Cause mass extinction of species, and permanently threaten life on Earth by an atomic disaster. (10) Damage other humans by polluting the air necessary for breathing, direct murder, and even slavery. Biologist may convince humans to change their behavior by adding *H. sapiens* to the list of invasive species.

PALABRAS CLAVES; KEY WORDS

Antropoceno, cambio global, extinciones generadas por los humanos, ingeniero de los ecosistemas, invasiones biológicas; Anthropocene, biological invasions, ecosystem engineer, global change, human-driven extinctions.

INTRODUCCIÓN

En ecología y biología de la conservación se llama “invasora” a cualquier especie foránea de un sitio que, con la ayuda de los humanos: (1) alcanza un área fuera de su centro de origen y ámbito biogeográfico. (2) Luego se dispersa en el área colonizada, donde (3) afecta negativamente al ambiente, a las actividades humanas, e incluso a la salud de los humanos (Lee 2002, NSIC 2006). *Homo sapiens* (Primates: Hominidae; nombre común: "humanos") se ajusta a esta definición. Pese a ello, la especie no ha sido incluida en la base de datos de las especies invasoras (ver ISSG 2015). Al contrario: la discusión sobre la capacidad invasora de *H. sapiens* ha sido confinada a la literatura no especializada (p.ej. Zielinski 2011), incluso cuando los autores son reputados científicos que estudian el origen y la evolución de la especie (p.ej. Marean 2015). Un motivo de esa reticencia puede ser el “antropocentrismo”: la idea milenaria de que los humanos son un “punto y aparte”; mejores que otras especies, y que por ello están destinados a “gobernar” la naturaleza (Fedeli 1990, Herrmann *et al.* 2010). Ninguna ciencia puede considerarse moralmente neutral (Quintanilla 1978), sobre todo cuando una especie como *H. sapiens* debate sobre sí misma. Pese a ello, este escrito es para una revista biológica, no filosófica ni política. Aquí procuramos mejorar la discusión de las invasiones biológicas, no las militares, ni las demográficas, económicas, o de cualquier otra índole. Las invasiones biológicas y los efectos de los humanos sobre la naturaleza son dos preocupaciones primarias de la biología de la conservación. Por tal motivo, un objetivo general de este escrito es contribuir a que los humanos re-evalúen su rol como especie sobre la Tierra, como lo han propuesto algunos estadistas (Mujica 2013).

Este ensayo enriquece a la biología utilizando un amplio rango de ciencias como auxiliares. En concreto, los científicos han estudiado a los humanos desde enfoques tan disímiles como los de la biología molecular, la biomedicina, la neurología, la historia, la antropología, el urbanismo y muchas otras ciencias.

Nuestros objetivos específicos son:

- (1) Enriquecer la discusión sobre la capacidad invasora de las especies, mediante la adición de informaciones relacionadas a *H. sapiens*. Lo consideramos el caso más extremo de invasión, lo cual lo adecúa para hacer comparaciones con otras especies. Los biólogos pueden, por ejemplo, establecer una escala ordinal de “invasividad” de todas las especies del mundo, utilizando a *H. sapiens* como unidad de medida, y a partir de allí decidir qué especies deben ser priorizadas en los programas de control. Pero para que esto ocurra, primero es necesario convencer a los biólogos de analizar a *H. sapiens* desde el prisma de las invasiones biológicas.
- (2) Mejorar la interacción entre la biología de las especies invasoras, por un lado, y otros estudios sobre el cambio global por el otro. Esto mediante la adición de informaciones sobre *H. sapiens* como puente entre ambas líneas de investigación.

- (3) Fortalecer a la biología de la conservación y el ambientalismo otorgándoles un poderoso argumento para llamar a la conciencia más íntima de cada ser humano. Si se convence a las personas de que nos comportamos como una especie invasora o aún peor, los humanos pueden reaccionar para revertir dicho comportamiento.

Ámbito geográfico original e invasión por *H. sapiens*

H. sapiens se originó y dispersó a partir del sureste de África. En unas cuantas decenas de miles de años se distribuyeron por todo el mundo, incluyendo el Ártico (Underhill *et al.* 2000). Fue así como la primera especie que los humanos sacaron de su ámbito biogeográfico fue el propio *H. sapiens*. Mientras lo hacía, *H. sapiens* contribuyó a la extinción de especies de su mismo género, tales como *Homo neandertalensis* (Banks *et al.* 2008). Más tarde, continuó el movimiento intercontinental de subpoblaciones de *H. sapiens* mediante el tráfico esclavista. Todo ello alteró la distribución geográfica de la especie a niveles que han sido detectados con evidencias genético-moleculares (Salas *et al.* 2004). Actualmente, 65 millones de humanos han sido desplazados contra su voluntad de sus lugares de nacimiento (UNHCR 2016) mediante la emigración forzada por motivos militares, políticos y económicos.

Todas las poblaciones consideradas invasoras en algún sitio pertenecen a especies con poblaciones nativas (no invasoras) en otros lugares (Calauitti & McIsaac 2004, Pérez *et al.* 2012). *Cecropia peltata* L. (Cecropiaceae), por ejemplo, es pionera y nativa en el neotrópico, donde contribuye a la sucesión secundaria; pero en Malasia, Indonesia y Singapur es invasora (Conn *et al.* 2012). *H. sapiens* tampoco es una especie invasora en todo tiempo y lugar. Así que enfocaremos el resto de este escrito en sitios y momentos históricos en los que la especie ha jugado notablemente los roles propios de las invasiones biológicas: las edades moderna y contemporánea, y el final de la edad de hielo.

***Homo sapiens* y los procesos de invasiones biológicas**

Una amplia revisión de los procesos de conversión de las poblaciones foráneas en invasoras (Pérez *et al.* 2012) muestra más de 15 aspectos aplicables a *H. sapiens*. Es cierto que los humanos individuales carecen de algunas propiedades consideradas como pre-adaptativas para la invasión. Por ejemplo, no poseen reproducción vegetativa, ni rápido crecimiento, ni reproducción sexual temprana (Pérez *et al.* 2012). No obstante, la invasión biológica es un proceso poblacional y biogeográfico; no se aplica a los individuos (Calauitti & McIsaac 2004). Veamos cómo la mayoría de los aspectos del proceso de invasión explicados en Pérez *et al.* (2012) son aplicables a *H. sapiens*.

Una especie foránea afronta los filtros del nuevo hábitat, tales como las diferencias de clima. También encuentra riesgos de que su adecuación se reduzca por depresión endogámica. Esta disminuye la variación genética de la población en el sitio (Pérez *et al.* 2012), y por ende aumenta los riesgos de extinción en las zonas colonizadas (Frankham 2005). Hay estudios que indican que las diferencias genéticas entre los *H. sapiens* de todo el mundo son tan insignificantes que el término “razas” no se justifica (Serre & Pääbo 2007). Si esto es así, entonces los humanos se dispersaron, afrontaron los filtros ambientales, y aumentaron sus poblaciones fuera de África a pesar de su pobre diversidad genética.

Al igual que otras especies animales invasoras, *H. sapiens* es omnívoro, brinda cuidados parentales a sus crías y es “hábitat-generalista”. Todo eso habilita a la especie para establecer poblaciones en ambientes “hostiles”. También, la llegada repetida de propágulos de la especie foránea contribuye a que la población de ésta persista a pesar de las restricciones ambientales en la zona colonizada, dando tiempo para que la especie prolifere y se haga invasora (Frankham 2005). El movimiento experimental de humanos para testar lo antedicho es difícil y moralmente incorrecto, pero la historia suministra evidencia. En concreto, muchos *H. sapiens* de Europa que llegaron a América, durante los siglos XV y XVI, murieron; pero nuevos individuos llegaron repetidamente (ver p.ej. Cortés 1858). Eso contribuyó a formar grandes asentamientos de los humanos europeos en América.

Se ha formulado la *hipótesis del escape de los enemigos* (siglas en inglés: ERH=*Enemy Release Hypothesis*, críticamente revisada por Keane & Crawley 2002). Esta propone que un modo por el cual ciertas poblaciones se hacen invasoras es que, al ser llevadas más allá de su rango biogeográfico, quedan liberadas de los enemigos naturales que coexistían con ella (Callaway *et al.* 2004). La elevada mortalidad de los indígenas americanos por enfermedades que vinieron con los colonizadores europeos (Diamond 1997, Lovell 2000) apunta a que los *H. sapiens* “originarios” de América habían escapado de sus patógenos del “viejo mundo”, al salir de Eurasia y establecerse en América hace aproximadamente 15 mil años. Queda aún sin conocer si la ERH es aplicable también a *Homo erectus* (Primates: Hominidae), que también salió de África hasta llegar al sureste asiático.

Un número creciente de evidencias apunta a que las variaciones de la dieta, así como las tecnologías, capacitaron a *H. sapiens* para desplazarse tanto a favor como más allá de las cambiantes rutas de los cuerpos de agua. Así salieron de África y entraron al Oriente Medio (Antón & Swischer 2004, Osborne *et al.* 2008) y, desde allí, al resto del mundo. Ello es consistente con la pre-adaptación como explicación al por qué algunas especies foráneas logran hacerse invasoras (Pérez *et al.* 2012): la capacidad para elaborar instrumentos y hacer fuego son exclusivas de *H. sapiens*, si lo comparamos con otros vertebrados vivos. Distintas innovaciones tecnológicas como la vasija, el dominio del fuego, la rueda y la industria lítica contribuyeron a expandir el ámbito y el nicho ecológico de *H. sapiens*. Previamente, la especie estaba forzada a mantenerse cerca de los cuerpos de agua y a comer alimentos crudos; algunos de los cuales no podían ingerirse así por ser tóxicos. Por otro lado, se considera que las invasiones involucran mecanismos de alteración biológica del hábitat “invadido” modificando el balance competitivo entre las especies nativas (Mitchell *et al.* 2006). Los humanos han hecho eso mediante la cacería de animales herbívoros en los bosques tropicales, lo cual favorece a las palmas (Wright *et al.* 2000), y la urbanización que favorece a los roedores.

Plasticidad fenotípica, comportamiento y reducción de la capacidad invasora

Conjuntamente con la historia y la arqueología, la biomedicina contribuye sustancialmente al entendimiento de la capacidad invasora de *H. sapiens*. Los biólogos saben poco sobre la participación de la plasticidad fenotípica como reductora de la mortalidad de las especies foráneas (Pérez *et al.* 2012). Sin embargo, para *H. sapiens* la biomedicina posee una larga tradición de estudios sobre los efectos que tienen los cambios inducidos por el ambiente en la adecuación. Por ejemplo, los efectos de las alteraciones nutricionales sobre las mujeres

embarazadas, así como sobre los fetos e infantes, han sido tan ampliamente estudiados (p.ej. Leader *et al.* 1981), que sirven como base para muchos manuales de nutrición de uso popular (p.ej. Lucas & Ogata 2005). Otro ejemplo proviene de la medicina deportiva. La sed es una sensación básica que se experimenta al correr. Pues bien, se ha documentado que beber demasiada agua durante una maratón reduce la concentración de sodio en la sangre, lo cual es peligroso para los corredores menos experimentados (Almond *et al.* 2005). Ello sugiere que los antepasados de los *H. sapiens* actuales, particularmente los de mayor éxito gracias a sus dotes de buenos cazadores, pudieron lograrlo con la ayuda de comportamientos que ajustaban el gasto de energía y la ingesta de agua mientras perseguían a sus presas. El cerebro humano también cambia por plasticidad fenotípica, en respuesta al aumento de la complejidad de las comunicaciones con el entorno. Eso pudo aumentar la capacidad invasora de *H. sapiens* en el pasado. Un ejemplo es la música, la cual es tal vez la forma más compleja de comunicación inventada por cualquier especie. Por eso el estudio médico-neurológico de los músicos puede suministrar evidencias sobre el alcance de las capacidades comunicativas de *H. sapiens*. Se ha demostrado que los músicos que comienzan su entrenamiento antes del séptimo año de vida desarrollan mejores conexiones entre los dos hemisferios del cerebro a través de cuerpos callosos más grandes. Esto al compararlos con los cerebros de los no-músicos, y con los de músicos que iniciaron su entrenamiento después de dicha edad (Schlaug *et al.* 1995). Tal hallazgo implica una mejora de las capacidades comunicativas; algo crucial para la adecuación de una especie social como lo es *H. sapiens*.

La cacería, junto a procesos climáticos ocurridos al final de la edad de hielo, fue un modo como los humanos redujeron la disponibilidad de alimento para ellos mismos al ayudar a extinguir muchas especies de megafauna (Koch & Barnosky 2006). Esto abrió un período de fuertes peligros de hambre para la especie. Frente a eso, *H. sapiens* cambió radicalmente su comportamiento mediante la creación de lo que hoy se conoce como “agricultura itinerante”. Esta consiste en producir alimentos en espacios pequeños (<1ha) por pocos años. Luego se permite que los bosques se recuperen, restaurándose así las funciones del ecosistema y la fertilidad del suelo (Chazdon 2014, Garrido-Pérez & Sidali 2016). La agricultura itinerante es parte de una economía diversificada, conocida como de “uso múltiple de los recursos naturales” (Toledo *et al.* 2008). Esta es ampliamente practicada en el mundo, y era común también en la Europa de la edad media (King 1987). Después, ya en la modernidad y la edad contemporánea, surgió un período que perdura hasta el presente, en el cual *H. sapiens* ha reimpulsado la extinción masiva de especies. Ocurre sobre todo a través del reemplazo de la agricultura itinerante por las así conocidas “revolución industrial” y “revolución verde”, la deforestación y otros aspectos de los llamados “capitalismo” y “cambio global” (ver también Vitousek *et al.* 1997, Crutzen & Stoermer 2000). Tales impactos son mundiales, y están resultando en lo que un número creciente de geólogos (Crutzen & Stoermer 2000, Steffen *et al.* 2011) llaman “el antropoceno”: una época geológica dominada por los humanos, en la que prevalecen artefactos hechos por estos: desde los de piedra y hueso hasta materiales actuales como el caucho, el plástico y el acero inoxidable. Según la lógica de los proponentes del antropoceno, si toda la vida en la tierra desapareciera en estos momentos, la posterior acumulación de capas geológicas puede generar un estrato caracterizado por materiales como los antedichos, particularmente en las zonas urbanas.

Un ingeniero de los ecosistemas

Mirando a *H. sapiens* “con ojos” de ecólogo, se lo puede definir como un notable ingeniero de los ecosistemas (sensu Jones *et al.* 1994); más de lo que lo fueron las primeras bacterias que habitaron el planeta Tierra. *H. sapiens* transforma los paisajes y el planeta entero mediante la deforestación, la agricultura, la industria, la remoción de suelos, la urbanización, e incluso la guerra. Alrededor de 10 millones de hectáreas de suelos se pierden cada año a causa de la erosión en las grandes plantaciones (Pimentel 2006), la construcción de urbanizaciones y la minería (Douglas 1996). La pérdida de calidad de los suelos, a su vez, provoca el hambre de otros *H. sapiens* (e.g. Sánchez & Swaminathan 2005).

También, la construcción de los grandes edificios y ciudades reemplaza la vegetación por estructuras de cemento y metal. Esto reduce el hábitat para muchos organismos. Incluso la ciudad de Barcelona, considerada históricamente como bien organizada y ambientalmente adecuada, ha sido vista críticamente por algunos urbanistas (Blanco 2009). Barcelona se desarrolló a expensas de los bosques, espacios rurales y costeros. El ejemplo de Barcelona es pertinente porque el reemplazo de los bosques y áreas verdes por ciudades ha sido aún peor en otros lugares del mundo. Por otro lado, el curso de los ríos como el Achalcaya y el Mississippi ha sido alterado por *H. sapiens* hasta el grado de desafiar a la ley de la gravedad mediante represas que cuestan billones de dólares (McPhee 1989). Otros cambios a los cursos de agua han sido las hidroeléctricas y el Canal de Panamá. Además, uno de los mayores efectos de *H. sapiens* a nivel global es la acumulación excesiva de CO₂. Con ello se calienta el planeta entero (Broecker 1975) y se exacerba del efecto destructor de los huracanes (Emanuel 1987; 2003). Junto a eso, *H. sapiens* contamina el aire.

H. sapiens puede ser considerado como un generador de cambios drásticos a escala planetaria, por cuanto esos cambios afectan a amplios números de ecosistemas, especies e individuos en tiempos geológicamente muy cortos. Así, los humanos: (1) contribuyeron a la extinción de gran parte de la megafauna del pleistoceno (Barnosky *et al.* 2004, Koch & Barnosky 2006). (2) Han causado la extinción local de muchas especies mediante el establecimiento de plantaciones y hatos de ganado, tras deforestar amplios terrenos (Brook *et al.* 2003). Debido a la deforestación por los humanos: (3) grandes extensiones previamente cubiertas por unos tipos de vegetación poseen ahora otros tipos de vegetación y funciones ecosistémicas (Martínez-Ramos & García-Orth 2007). Sin embargo, hay procesos naturales capaces de revertir gran parte de esos daños.

Reversiones naturales de los efectos de *H. sapiens*

Aun siendo un formidable ingeniero de los ecosistemas, *H. sapiens* no puede cambiar los fundamentos de los procesos naturales. Muchas especies han sido extinguidas por *H. sapiens*, pero otras como los perros, las ratas, las cucarachas, la caña de azúcar y ciertos árboles han proliferado. Las vacas y los pastos, como fuente de alimentos, han aumentado. Algunos organismos silvestres especialistas en disturbios han incrementado también sus importancias con respecto a otros; tal es el ejemplo de muchas lianas (Schnitzer *et al.* 2011).

Una vez que *H. sapiens* deja de impactar un área, los bosques se recuperan mediante la sucesión secundaria (Chazdon 2014). Los estudios sobre ésta son casi tan antiguos como la ecología misma (Clements 1916, Gleason 1926, Bard 1952, Aweto 1981, Finegan 1996, Gotosa *et al.* 2013). De trabajos como los de esos autores, se entiende que tan pronto los humanos dejan de impactar un área, el banco de semillas y las semillas traídas por el viento, los pájaros, los murciélagos y otros animales desde otros lugares provocan que el bosque se recupere. Es verdad que estos autores presentan puntos de vista distintos en algunos aspectos: algunos como Clements (1916) describen a la sucesión secundaria como un proceso con patrones predecibles que llevan a un “bosque clímax”, mientras que otros como Gleason (1926) proponen que los patrones de sucesión son pobremente predecibles. Sin embargo, todos ellos muestran evidencias de procesos naturales de recuperación de los bosques en su conjunto, si bien las especies extintas localmente parecen no regresar (Guariguata & Ostertag 2001). Esta capacidad de regeneración se manifestó en un rebrote de los bosques, a pesar del colapso ambiental causado por los humanos en viejos centros de población, tales como los mayas prehispánicos y los habitantes de la Isla de Pascua (Diamond 2005). Si todo esto es verdad, entonces es más probable que el ingeniero de los ecosistemas *H. sapiens* se destruya a sí mismo por medio de sus daños a la naturaleza, de lo que es que destruya a la naturaleza misma.

La extinción masiva causada por los humanos: dos escenarios extremos

Las extinciones masivas abren nichos ecológicos que ya no son ocupados por las especies extintas, lo cual viabiliza radiaciones adaptativas. Por ejemplo (McElwain & Punyasena 2007), la extinción de los bosques de helechos, hace aproximadamente 65 millones de años abrió espacios y nichos que fueron ocupados por las hasta entonces minoritarias plantas con semillas. Estas, a su vez, proliferaron y se diferenciaron para formar nuevas especies, las cuales componen los bosques de hoy. Concomitante con eso, hubo radiaciones adaptativas de los insectos, los mamíferos y las aves. Por ello es esperable un escenario en el que las extinciones masivas que está imponiendo *H. sapiens* favorezcan la ulterior diversificación de las especies que sobrevivan, formando una “nueva” biota mundial.

En contraposición, algunos *H. sapiens* lograron inventar la manera más eficiente de erradicar a otros seres vivos. Nos referimos a las armas nucleares inventadas hacia el año 1945 D.C. Hipotéticamente, aquellas podrían exterminar toda forma de vida sobre la Tierra. La realización de bombardeos experimentales para averiguar los efectos de la radioactividad sobre las poblaciones de seres vivos es moralmente inaceptable. La historia militar y la medicina han suministrado evidencias empíricas. En concreto, los organismos que sobreviven a bombardeos nucleares en pequeña escala, así como a los derrames de material nuclear, comúnmente padecen cáncer y otras enfermedades (Anspaugh *et al.* 1988). La progenie queda severamente afectada (Miller 1956, Yamazaki & Schull 1990), lo cual puede reducir la adecuación de cada especie. Si bien lo antedicho parece dejar esperanzas para los organismos localizados lejos de los sitios con radioactividad (Yamazaki & Schull 1990, Cristaldi *et al.* 1991), se propone que una guerra nuclear en gran escala puede conducir a todos los humanos (Crutzen & Stoermer 2000) y a las demás formas de vida a la extinción.

CONCLUSIÓN

No todas las poblaciones de una especie transportada por los humanos son invasoras: así como *Cecropia peltata* L. es invasora en el sureste asiático pero no en el neotrópico, los humanos no actúan como invasores en todas partes. No obstante, *H. sapiens* comparte muchas características y procesos con las especies invasoras, así que la biología debería considerarlos entre tales.

Cuando los humanos se comportan de modo capitalista y consumista, aumentan su “invasividad”; cuando practican la agricultura itinerante, la reducen. La biología de la conservación advierte a las personas sobre el impacto que tienen las especies invasoras en el mundo. Debería ser posible que alertasen a los humanos sobre su propia actuación biológicamente invasora, a fin de promover un cambio. Un argumento convincente sería el siguiente: *H. sapiens* invadió amplias zonas fuera de África, contribuyendo por el camino a la extinción de muchas especies hacia los finales del pleistoceno. Pero el mismo *H. sapiens* desarrolló la agricultura itinerante y la economía de uso múltiple de los recursos naturales. Al hacerlo evitó su propia extinción y sobrevivió sin producir daños ambientales graves, ni a la naturaleza, ni a otros humanos. Si nuestros ancestros cambiaron su conducta, nosotros también deberíamos ser capaces de hacerlo. Deberíamos adaptar nuestro progreso urbano y rural imitando los principios de la agricultura itinerante: impactar en pequeña escala y permitir que la naturaleza se regenere, en lugar de golpearla cada vez más para acumular ganancias innecesarias.

AGRADECIMIENTOS

La base de estas ideas surgió al conversar con Anne LeMellec (Universidad de Goettingen) y el panameño Aurelio Robles (2010). Así como de la colaboración de los autores con comunidades indígenas en la Amazonía Ecuatoriana. Las ideas se enriquecieron y desarrollaron gracias a conferencias dictadas en las universidades de Primorska, Eslovenia (2011), Autónoma de Chiriquí (UNACHI, Panamá, 2012) y Federal Rural de Pernambuco (UFRP, Brasil, 2012). Patty Gowaty, Alphonse Guzha y Katia Laura Sidali dieron valiosas sugerencias a los manuscritos iniciales. Meike Piepenbring y otros revisores anónimos gentilmente lo revisaron.

REFERENCIAS

- Almond, C.S., A.Y. Shin, E.B. Fortescue, R.C. Mannix, D. Wypij, B.A. Binstadt, N.D. Duncan, O.P. Olson, A.E. Salerno, J.W. Newburger & D.S. Greenes. 2005. Hyponatremia among runners in the Boston Marathon. *New Engl. J. Med.* 352: 1550-1556.
- Anspaugh, L.R., R.J. Catlin & M. Goldman. 1988. The global impact of the Chernobyl reactor accident. *Science* 242: 1513-1519.
- Antón, S.C. & C.C. Swisher III. 2004. Early dispersal of *Homo* from Africa. *Ann. Rev. Anthropol.* 33: 271-296.
- Aweto, A.O. 1981. Secondary succession and soil fertility restoration in south-western Nigeria. I. Succession. *J. Ecol.* 69: 601-607.
- Banks, W.W., F. dErrico, A.T. Peterson, M. Kageyama, A. Sima & M.F. Sánchez-Goñi. 2008. Neanderthal extinction by competitive exclusion. *PLoS One* 3(12): e3972.
- Bard, G.E. 1952. Secondary succession on the piedmont of New Jersey. *Ecol. Monogr.* 22(3): 195-215.
- Barnosky, A.D., P.L. Koch, R.S. Feranec, S.L. Wing & A.B. Shabel. 2004. Assessing the causes of late pleistocene extinctions on the continents. *Science* 306: 70-75.
- Blanco, I. 2009. Does a 'Barcelona model' really exist? Periods, territories and actors in the process of urban transformation. *Local Gov. Stud.* 35(3): 355-369.
- Broecker, W.S. 1975. Are we on the brink of a pronounced global warming? *Science* 189(4201): 460-463.
- Brook, B.W., N.S. Sodhi & P.K.L Ng. 2003. Catastrophic extinctions follow deforestation in Singapore. *Nature* 424: 420-426.
- Callaway, R.M., G.C. Thelen, A. Rodríguez & W.E. Holben. 2004. Soil biota and exotic plant invasion. *Nature* 427: 731-733.
- Calauitti, R.I. & H.J. McIsaac. 2004. A neutral terminology to define 'invasive' species. *Divers. Distrib.* 10: 135-141.
- Chazdon, R.L. 2014. Perceptions of tropical forests and natural regeneration, p. 1-11. *In* Chazdon, R.L. (ed.). *Second growth: the promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation*. The University of Chicago, Chicago, Estados Unidos de Norteamérica.
- Clements, F.E. 1916. *Plant succession, an analysis of the development of vegetation*. Carnegie I. Wash. 242: 1-512.
- Conn, B.J., J.T. Hadiah & B.L. Webber. 2012. The status of *Cecropia* (Urticaceae) introductions in Malesia: addressing the confusion. *Blumea* 57: 136-142.

- Cortés, F. 1858. Cartas de relación de Fernando Cortés sobre el descubrimiento y conquista de la Nueva España, p. 1-153. *In* E. De Vedia (ed.). *Historiadores primitivos de Indias*. Rivadeneyra, Madrid, España.
- Cristaldi, M., L.A. Ierardi, D. Mascanzoni & T. Mattei. 1991. Environmental impact of the Chernobyl accident: mutagenesis in bank voles from Sweden. *Int. J. Radiat. Biol.* 59: 31-40.
- Crutzen, P.J. & E.F. Stoermer. 2000. The "Anthropocene". *IGBP-Newsletter* 41: 17-18.
- Diamond, J. 1997. *Guns, germs and steel: a short history of everybody for the last 13,000 years*. p. 354-375. W.W. Norton, Nueva York, Estados Unidos de Norteamérica.
- Diamond, J. 2005. *Collapse: how societies choose to fail or succeed*. p. 79-119 and 159-177. Viking, Nueva York, Estados Unidos de Norteamérica.
- Douglas I. 1996. The impact of land-use changes, especially logging, shifting cultivation, mining and urbanization on sediment yields in humid tropical Southeast Asia: a review with special reference to Borneo, p. 463-471. *In* D.E. Walling & B. W. Webb (eds.). *Erosion and sediment yield: global and regional perspectives*. The International Association of Hydrological Science (IAHS), Exeter, Reino Unido.
- Emanuel, K.A. 1987. The dependence of hurricane intensity on climate. *Nature* 326(6112): 483-485.
- Emanuel, K.A. 2003. Tropical cyclones. *Annu. Rev. Earth Pl. Sci.* 31: 75-104.
- Fideli, P. 1990. *La natura violata: ecologia e mondo romano*. Sellerio, Siracusa, Italia.
- Finegan, B. 1996. Pattern and process in neotropical secondary rain forest: the first 100 years of succession. *Trends Ecol. Evol.* 11(3):119-124.
- Frankham, R. 2005. Resolving the genetic paradox in invasive species. *Heredity* 94: 385, 2005.
- Garrido-Pérez, E.I. & K.L. Sidali. 2016. Los niveles de organización ecológica: una guía para administrar los recursos naturales y culturales. *Investigación y Pensamiento Crítico* 4(2): 95-114.
- Gleason, H.A. 1926. The individualistic concept of the plant association. *B. Torrey Bot. Club* 53(1): 7-26.
- Gotosa, T. N., J. Gotosa, C.A.T. Katsvanga, I.W. Nyakudya, A. Kundhlande & I. Mapaure. 2013. Woody vegetation diversity and regeneration in an abandoned sugar estate in semi-arid Zimbabwe. *J. Anim. Plant Sci.* 23(5): 1370-1378.
- Guariguata, M.R. & Ostertag, R. 2001. Neotropical secondary forests succession: changes in structural and functional characteristics. *For. Ecol. Manage.* 148: 185-206.

- Herrmann, P., S.R. Waxman, & D.L. Medin. 2010. Anthropocentrism is not the first step in children's reasoning about the natural world. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 107(22): 9979-9984.
- ISSG –Invasive Species Specialist Group. 2015. Global Invasive Species Database (en línea). Consultado 12.10.2016. Disponible en: <http://www.issg.org/database/welcome/>
- Jones, C.G., J.H. Lawton & M. Schlack. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69: 373-386.
- Kane, R.M. & M.J. Crawley. 2002. Exotic plant invasions and the enemy release hypothesis. *Trends. Ecol. Evol.* 17(4): 164-170.
- King, K.F.S. 1987. The history of agroforestry. In H.A. Steppeler & P.K.R. Nair (eds.), *Agroforestry: a decade of development*. pp. 3-13. *International Council for Research in Agroforestry -ICRAF*. Nairobi, Kenia.
- Koch, P.L. & A.D. Barnosky. 2006. Late quaternary extinctions: state of the debate. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37: 215-250.
- Leader, A., K.H. Wong & M. Deitel. 1981. Maternal nutrition in pregnancy part I: a review. *Can. Med. Assoc. J.* 125: 545-549.
- Lee, C. 2002. Evolutionary genetics of invasive species. *Trends Ecol. Evol.* 17: 386-391.
- Lovell, N.D. 2000. Enfermedad y despoblación en Guatemala, p. 89-117. In W.G. Lovell & N.D. Cook (eds.). *Juicios secretos de Dios*. Abia Yala, Quito, Ecuador.
- Lucas, B. & B. Ogata. 2005. Normal nutrition from infancy through adolescence, p. 107-130. In P.Q. Samour & KING, K. (eds.). *Handbook of pediatric nutrition*. Jones and Bartlett, Sudbury, Estados Unidos de Norteamérica.
- Marean, C.W. 2015. The most invasive species of all. *Sci. Am.* 313(2): 32-39.
- Martínez-Ramos, M. & X. García-Orth. 2007. Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Bol. Soc. Bot. Mex. (suppl.)*: 64-84.
- McElwain, J.C. & S.W. Punyasena. 2007. Mass extinction events and the plant fossil record. *Trends Ecol. Evol.* 22: 548-557.
- McPhee, J. 1989. *The control of nature*. Farrar, Straus and Giroux, Nueva York, Estados Unidos de Norteamérica.
- Miller, R.W. 1956. Delayed effects occurring within the first decade after exposure of young individuals to the Hiroshima atomic bomb. *Pediatrics* 18: 1-18.
- Mitchell, C.E., A.A. Agrawal, J.D. Bewer, G.S. Gilbert, R.A. Huffbauer, J.N. Kironomos, J.L. Maron, W.F. Morris, I.M. Parker, A.G. Power, E.W. Seabloom, M.E. Torchin & D.P. Vásquez. 2006. Biotic interactions and plant invasions, *Ecol. Lett.* 9: 726-740.

- Mujica, J. 2013. Address to the United Nations General Assembly, September 24th, 2013 (en línea). Consultado 12.10.2016. Disponible en: <http://www.lr21.com.uy/politica/1131614-mujica-en-la-onu-discurso-completo>
- NSIC –National Invasive Species Information Center. 2006. Species definition clarification and guidance white paper, submitted by the definitions subcommittee of the invasive species advisory committee (ISAC) (en línea). Consultado: 21.10.2016. Disponible en: http://www.invasivespecies.gov/global/ISAC/ISAC_documents/ISAC%20Definitions%20White%20Paper%20%20-%20FINAL%20VERSION.pdf
- Osborne, A.H., D. Vance, E.J. Rohlingg, N. Barton, N. Rogerson & N. Fello. 2008. A humid corridor across the Sahara for the migration of early modern humans out of Africa 12,000 years ago. *P. Natl. A. Sci. USA.* 105: 16444-16447.
- Pérez, J.E., C. Alfonsi, C. Ramos, J.A. Gómez, C. Muñoz & S.K. Salazar. 2012. How some alien species become invasive. Some ecological, genetic and epigenetic basis for bioinvasions. *Interciencia* 37: 238-244.
- Pimentel, D. 2006. Soil erosion: food and environmental threat. *Environ. Dev. Sustainab.* 8: 119-137.
- Quintanilla, M.A. 1978. El mito de la neutralidad de la ciencia. *El Basilisco* 1(marzo-abril): 52-56.
- Salas, A., M. Richard, M. Lareu, R. Scozzari, A. Coppa, A. Torroni, V. Macaulay & A. Carracedo. 2004. The African diaspora: mitochondrial DNA and the Atlantic slave trade. *Am. J. Hum. Genet.* 74: 454-465.
- Sánchez, P.A. & M. S. S. Swaminathan. 2005. Hunger in Africa: the link between unhealthy people and unhealthy soils. *Lancet* 365: 442-444.
- Schlaug, G., L. Jäncke, Y. Huang, J.F. Staiger & H. Steinmetz. 1995. Increased corpus callosum size in musicians. *Neuropsychologia* 33: 1047-1055.
- Serre, D. & S. Pääbo. 2007. Evidence for gradients of human genetic diversity within and among continents. *Genome Res.* 14: 1679-1685.
- Schnitzer, S.A., F. Bongers & S.J. Wright. 2011. Community and ecosystem ramifications of increasing lianas in neotropical forests. *Plant Signal Behav.* 6(4): 598-600.
- Steffen, W., A. Persson, L. Deutsch, J. Zalasiewicz, M. Williams, K. Richardson, C. Crumley, P. Crutzen, C. Folke, L. Gordon, M. Molina, V. Ramanathan, J. Rockström, M. Scheffer, H. J. Schellnhuber & U. Svedin. 2011. The Anthropocene: from global change to planetary stewardship. *Ambio* 40: 739-761.
- Toledo, V.M., Barrera-Bassols, N., García-Frapolli, E. & Alarcón-Chaires, P. 2008. Uso múltiple y biodiversidad entre los mayas yucatecos (México). *Interciencia* 33(5): 345-352.

- Underhill, P. A., P. Shen, A.A. Lin, L. Jin, G. Passarino, W.H. Yang, E. Kauffmann, B. Bonn -Tamir, J. Gertranpetit, P. Francalacci, M. Ibrahim, T. Jenkins, J.R. Kidd, S.Q. Mehdi, M.T. Seielstad, R.S. Wells, A. Piazza, R.W. Davis, M.W. Feldman, L.L. Cavalli-Sforza & P.J. Oefner. 2000. Y chromosome sequence variation and the history of human populations. *Nat. Genet.* 26: 358-361.
- United Nations. 1987. Report of the world commission on environment and development: our common future (también conocido como el reporte Burtland) (en línea). Consultado 24.10.2014. Disponible en: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
- United Nations. 1998. Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change (en línea). Consultado 24.10.2016. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- UNHCR –United Nations high commissioner for refugees. 2016. Global trends forced displacement 2015 (en línea). Consultado 13.10.2016. Disponible en: <http://www.unhcr.org/the-global-report.html>
- Vitousek, P.M., J. Lubchenco & J.M. Melillo. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277: 494-499.
- Wright, S.J., H. Zeballos, I. Domínguez, M.M. Gallardo, M.C. Moreno & R. Iba ez. 2000. Pouchers alter mammal abundance, seed dispersal, and seed predation in a neotropical forest. *Conserv. Biol.* 14: 227-239.
- Yamazaki, J.N. & W.J. Schull. 1990. Perinatal loss and neurological abnormalities among children of the atomic bomb –Nagasaki and Hiroshima revisited, 1949 to 1989. *J. Am. Med. Assoc.* 264: 605-609.
- Zielinski, S. 2011. Are humans an invasive species? (en línea). Consultado 30.10.2016. Disponible en: <http://www.smithsonianmag.com/science-nature/are-humans-an-invasive-species-42999965/?no-ist>

Colaboradores escondidos – La Importancia de los Hongos en los Ecosistemas Información para Educación Ambiental

Meike Piepenbring¹,
Fausto López²,
Orlando Cáceres³.

¹ Department of Mycology, Cluster for Integrative Fungal Research (IPF), Goethe University Frankfurt am Main, Max-von-Laue-Str. 13, 60437 Frankfurt am Main, Germany.

² Departamento de Ciencias Naturales, Grupo de Investigación Gobernanza Biodiversidad y Áreas Protegidas (GO-BIO), Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador.

³ Centro de Investigaciones Micológicas (CIMi), Departamento de Biología, Universidad Autónoma de Chiriquí, David, Panamá.

{piepenbring@bio.uni-frankfurt.de; fvlopezx@utpl.edu.ec; ocaceresmendez@gmail.com}

Recibido: 28.02.2016 / Revisado: 18.11.2016 / Aceptado: 22.12.2016.
© 2016 EDUNACHI: Editorial de la Universidad Autónoma de Chiriquí.

RESUMEN

El presente trabajo está dirigido a personas con conocimiento básico en biología y con interés en aprender sobre hongos y sus funciones en ecosistemas naturales. En capítulos introductorios se presentan generalidades sobre los hongos, sus principales grupos sistemáticos e información sobre los nichos de hongos en la naturaleza. Luego se explican las funciones de los hongos como parte de cadenas alimenticias, así como su papel en la descomposición de materia orgánica muerta, como simbiontes mutualísticos con plantas (micorrizas), como líquenes, parásitos y endófitos. Para cada grupo ecológico consideramos de manera teórica y algo simplificada que sucedería en un ecosistema sin la presencia del respectivo grupo. Queda evidente que los hongos son indispensables para los ciclos de nutrientes, el crecimiento de las plantas y el equilibrio ecológico, por lo que la presente publicación es un alegato para que los hongos se tomen en consideración en discusiones sobre funciones y servicios ecosistémicos.

ABSTRACT

The present publication addresses persons with basic biological knowledge interested in learning about fungi and their functions in natural ecosystems. In introductory chapters, general knowledge on fungi, their most important systematic groups and their niches in nature are presented. This is followed by explanations of the functions of fungi as part of food chains, as decomposers of dead organic material, as mutualistic symbionts of plants (mycorrhiza), as lichens, parasites and endophytes. For each ecological group, we consider theoretically and somewhat simplified what would happen to the ecosystem without the presence of the respective group. Evidently, fungi are indispensable for nutrient cycles, for growth of plants, and the ecological equilibrium, so this publication is a plea for the consideration of fungi in discussions on ecosystem functions and services

PALABRAS CLAVES; KEY WORDS

Ascomycota, Basidiomycota, diversidad de hongos, equilibrio ecológico, hongos parásitos, hongos saprótrofos, micorriza; Ascomycota, Basidiomycota, diversity of fungi, ecological equilibrium, mycorrhiza, parasitic fungi, saprobic fungi

INTRODUCCIÓN

En los ecosistemas hay numerosas especies de plantas, animales, hongos y otros microorganismos que interactúan mutuamente y a menudo dependen unas de otras. De esta manera aseguran la sobrevivencia de muchas especies diferentes y funciones ecosistémicas tales como los ciclos de sustancias nutritivas y minerales, producción de humus, almacenamiento y purificación de agua, protección contra viento y erosión, almacenamiento de carbono, control de plagas y producción de alimentos. Para el desarrollo de programas de educación ambiental y estrategias para la protección de ecosistemas, a menudo solamente se consideran plantas y animales, sin tomar en cuenta la gran diversidad e importancia ecológica de microorganismos. De allí el interés en elaborar el presente material didáctico micológico, con el cual queremos llenar una parte de este vacío y ponerlo a disposición de profesores y guías naturalistas. En el mismo se muestran los numerosos papeles ecológicos que cumplen los hongos para el buen funcionamiento de los ecosistemas.

Vamos a conocer aspectos básicos micológicos, entrando a la ciencia de los hongos que se llama micología, ya que en griego, un "hongo" se denomina "mykes" (comp. Piepenbring 2015). Basado principalmente en observaciones en ecosistemas tropicales comprobamos que los hongos cumplen numerosas funciones ecológicas que son indispensables para un buen funcionamiento de los ecosistemas. No se trata de un documento científico en todos sus aspectos, ya que muchos aspectos son difíciles de probar científicamente. Esperamos que, como resultado de las ideas aquí presentadas, surjan proyectos de investigación para probar las hipótesis!

2. Biodiversidad

Se entiende por **diversidad biológica** o **biodiversidad** a la variedad de organismos vivos que forman parte de los ecosistemas terrestres y acuáticos. La biodiversidad se divide en tres niveles jerarquizados: genes, taxones (lo que son subespecies, especies, géneros, familias, órdenes, clases, divisiones, etc.) y ecosistemas (Wittig & Niekisch 2014). A nivel de las especies, se estima que existen aproximadamente 9 millones de especies eucarióticas en la tierra y en los océanos (Mora *et al.* 2011). Estas especies brindan muchos beneficios a la humanidad, referidos en valores de mercado y no mercado. El valor de los servicios ecosistémicos para la economía mundial ha sido estudiado por varios expertos, por ejemplo, Costanza *et al.* (1997) quienes estiman este valor entre 16 y 54 mil millones de dólares por año. Los estudios sobre la Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (TEEB, por sus siglas en inglés) se dirigen hacia el desarrollo de una economía en la que los valores del capital natural y sus servicios ecosistémicos se ven reflejados en la toma de decisiones de empresarios y políticos (por ejemplo TEEB 2010). Sin embargo, muchos de los servicios ecosistémicos están o sub-valorados o ni siquiera se les ha asignado un valor financiero. Entre estos se encuentran los servicios que brindan los hongos.

3. Los Hongos

Un hongo es un organismo vivo caracterizado por ser mayormente inmóvil y por necesitar compuestos orgánicos de otros organismos (animales, plantas, otros hongos y bacterias) para su alimentación, por lo que es heterótrofo. No se puede desplazar como un animal ni puede usar la energía de la luz solar para sintetizar azúcares como las plantas verdes que son autótrofas. Los hongos no son ni animales ni plantas, sino que corresponden a un reino separado. Gracias a datos recientes de la ciencia sabemos que durante la evolución existía un ancestro común de animales y hongos hace aproximadamente mil millones de años (Fig. 1).

Hongos tales como el hongo matamoscas se notan fácilmente ya que desarrollan estructuras grandes, llamadas cuerpos fructíferos, para producir esporas (Figs. 2-3). Esporas son células microscópicas llevadas por el viento o el agua para la multiplicación y dispersión del hongo. Cuando hay humedad, una espora germina y desarrolla filamentos microscópicos llamados **hifas**. Numerosas hifas son evidentes como una red mayormente blanca llamada **micelio** (Fig. 4). Con sus hifas, el hongo coloniza el suelo, la madera u otro sustrato, lo manipula y se alimenta de las sustancias nutritivas liberadas por la manipulación. Las hifas además sirven al hongo para absorber agua y minerales del sustrato. Cuando el micelio adquiere suficientes sustancias nutritivas, los **macrohongos** desarrollan cuerpos fructíferos para su reproducción por medio de esporas. Otros hongos, como los mohos y levaduras, se reproducen directamente a partir de células microscópicas, sin formar cuerpos fructíferos. Los mohos crecen con hifas mientras que levaduras son hongos unicelulares que mayormente se multiplican por brotación. Se trata de hongos microscópicos o **microhongos**.

Para encontrar, degradar y absorber compuestos orgánicos de otros organismos, las diferentes especies de hongos tienen diferentes estrategias. Así, los hongos **saprótrofos** colonizan material orgánico muerto, como madera muerta, hojarasca o animales muertos. Otros hongos son capaces de atacar organismos vivos, plantas, animales u otros hongos, por lo que son **parásitos**. Los parásitos se aprovechan de nutrientes de otros organismos causando daños (enfermedades) a los organismos hospederos. Algunos hongos obtienen nutrientes de otros organismos vivos a cambio de otros servicios. Establecen una **simbiosis mutualística** con otro organismo, por ejemplo, en los casos de hongos micorrízicos (ver 4.5) y de hongos liquenizados (ver 4.7). Además, hay hongos comensales que viven en asociación con otro organismo vivo sin causarle daño y sin ayudarlo, como es el caso de muchos **hongos endófitos** (ver 4.9).

Conocemos aproximadamente 140.000 especies de hongos, pero hay un número muy elevado de especies, sobre todo microhongos, que no han sido descritas para la ciencia todavía. Se estima que existen aproximadamente 1.500.000 especies de hongos (Hawksworth 2001) o hasta más de 5.000.000 (O'Brien *et al.* 2005).

Las aproximadamente 140 mil especies conocidas de hongos se clasifican en géneros, familias, órdenes, clases y divisiones (también llamadas filos), que son categorías (taxones) cada vez más grandes. Para el propósito del presente documento se mencionan a continuación divisiones con nombres terminados en "-mycota", órdenes con nombres terminándose en "-ales" y géneros o especies con nombres científicos escritos en cursiva.

3.1. Basidiomycota

Las especies de Basidiomycota (Figs. 3, 5-9) desarrollan esporas sexuales (**basidiosporas**) en la superficie de células microscópicas llamadas **basidios** (Fig. 5). Dentro de esta división, especies de Agaricales mayormente presentan cuerpos fructíferos con esporas formadas por basidios en la superficie de lamelas, que son láminas ubicadas debajo de un sombrero llamado píleo (Fig. 3). Las especies de Boletales y Polyporales producen esporas en la superficie interior de tubos en el envés de píleos (Figs. 5-6). Cuerpos fructíferos de Boletales mayormente son suaves, efímeros y se localizan en el suelo mientras que los cuerpos fructíferos de Polyporales mayormente son duros, perennes y se localizan en madera muerta o en árboles débiles.

Las especies de Ustilaginales y órdenes afines causan enfermedades llamadas carbones en plantas. En el caso de *Ustilago maydis*, por ejemplo, un gran número de esporas salen de agallas formadas en las mazorcas de maíz bajo la influencia del hongo (Fig. 7). Las especies de Pucciniales también son parásitos de plantas en las cuales causan enfermedades llamadas royas. Hay numerosas royas en gramíneas en las cuales causan manchas con esporas microscópicas (Fig. 8).

3.2. Ascomycota

Las especies de Ascomycota (Figs. 10-16) desarrollan esporas sexuales (**ascosporas**) dentro de células microscópicas llamadas **asco** (Fig. 10). Las especies de Pezizales (Fig. 11) presentan ascos en la superficie interior de copas (apotecios), mientras que en especies de Xylariales e Hypocreales los ascos están ubicados en cavidades más o menos esféricas llamadas peritecio (Figs. 12-13). Cada peritecio tiene un hueco en su punta a través del cual salen las ascosporas. Numerosos peritecios están ubicados en un estroma que puede tener la forma de un bate.

Otras especies de Ascomycota son parásitos de plantas, como las especies de Erysiphales o Meliolales causando mildiú pulverulento o mildiú negro respectivamente (Figs. 14-15). Los ascos de estos hongos se ubican en cuerpos fructíferos esféricos que están cerrados (cleistotecios) en el caso de los Erysiphales, o tienen un hueco (peritecios) en el caso de los Meliolales. El grupo de los Eurotiales comprende muchos mohos (Fig. 16), mientras que las especies de Lecanorales y de otros órdenes viven en simbiosis con algas formando líquenes (ver 4.7).

3.3. Hongos de otros grupos

En los Basidiomycota y Ascomycota se clasifica aproximadamente el 90 % de las especies conocidas de hongos. Se trata de hongos verdaderos que corresponden al reino de los hongos o Fungi. Dentro de este grupo de los hongos verdaderos además hay mohos clasificados en Zygomycota y especies de Glomeromycota que son importantes como hongos formadores de micorrizas.

Las especies de Oomycota no son hongos verdaderos sino organismos similares a hongos con lazos de parentesco con ciertas algas. Este grupo incluye como órdenes importantes los Saproleginales o mohos acuáticos (Fig. 17) y los Peronosporales, parásitos de plantas que causan enfermedades llamadas mildiú lanoso (Figs. 18).

Además, hay grupos de organismos similares a hongos entre grupos de amebas, por ejemplo los hongos mucilaginosos (Myxogastria).

3.4. ¿Dónde se encuentran los hongos en la naturaleza?

Las células de hongos están presentes en todas partes donde haya vida, en el suelo, en el agua, en el aire, en todas las superficies y dentro de plantas, animales y otros hongos. Generalmente no nos damos cuenta de ellas porque se trata de células microscópicas. Diferentes grupos de hongos son más o menos específicos de diferentes sustratos, como se puede apreciar en la Figura 19.

4. Las funciones ecológicas de los hongos

Todos los hongos presentes en la naturaleza interactúan con otros organismos y afectan factores abióticos, lo que bajo condiciones naturales resulta en un ecosistema estable con una gran diversidad de plantas, animales y hongos (Fig. 20).

4.1. Hongos en las cadenas alimenticias

Las células de los hongos, sean esporas, hifas o cuerpos fructíferos, sirven como fuente de nutrición para animales, tales como nemátodos, ácaros, colémbolos, insectos, babosas, caracoles, aves y mamíferos tales como ardillas, venado, chanchos y los hombres (Figs. 21-22). Hay varios grupos de insectos que depositan sus huevos en cuerpos fructíferos de hongos, donde nacen las larvas y se alimentan del tejido del hongo (Fig. 23). Los animales que cambian de sitio de alimentación llevan consigo esporas y de esta manera contribuyen a la diseminación del hongo.

Debido a su capacidad de degradar la madera y otros órganos de plantas (ver 4.2), los hongos a menudo preparan este material haciéndolo digerible para otros organismos. Muchos insectos y otros animales invertebrados comen material orgánico muerto predigerido por hongos – sin los hongos, los animales no podrían sobrevivir, ya que este material no contiene suficientes compuestos con nitrógeno. Algunos insectos cultivan ciertos hongos sobre hojas cortadas o madera, como es el caso de hormigas cortadoras de hojas y ciertas termitas, respectivamente (Figs. 24-25). Estos insectos luego comen células fúngicas (hormigas cortadoras) o la madera con el hongo (termitas).

Existen hongos microscópicos que viven dentro del tubo digestivo de animales donde, conjuntamente con bacterias y protozoarios, descomponen compuestos orgánicos difíciles de degradar.

Sin la presencia de hongos, muchos animales tendrían menos comida y la materia orgánica de plantas (sobre todo la madera) no sería comestible para muchos animales.

4.2. Hongos saprótrofos en la superficie de suelos

Los hongos son capaces de degradar la madera muerta y demás "desechos" de las plantas (hojas, flores, frutos; Figs. 26-27). Bajo condiciones húmedas con calor, como en el clima tropical húmedo, los hongos fácilmente atacan estos sustratos. Insectos, lombrices y/o otros animales pueden contribuir a la degradación por triturar el material orgánico y por integrarlo al suelo por bioturbación (ver 4.3). De esta manera facilitan la degradación de este material por células fúngicas y bacterias.

Los hongos degradan la celulosa y la lignina, que solamente algunas bacterias también son capaces de descomponer. Sin la actividad de los hongos, este material vegetal muerto se acumularía en la superficie del suelo de los bosques. De igual manera se acumularían los excrementos (Figs. 28-29) y organismos muertos que bajo condiciones naturales son degradados en primer lugar por hongos y bacterias. Debido a la actividad de los hongos, los nutrientes presentes en materia muerta se liberan y son accesibles para otros organismos (Fig. 30a). Gracias a los hongos, funcionan los ciclos del carbono, del nitrógeno (abono) y de otros nutrientes. Los hongos son responsables de limpiar el bosque y de reciclar el material orgánico muerto.

Sin hongos saprótrofos en un bosque, éste se asfixiaría debido a una capa orgánica muy gruesa en el suelo (Fig. 30b). Esta capa gruesa haría muy difícil el intercambio de gases necesario para un suelo biológicamente activo e impediría el crecimiento de plántulas. A largo plazo, los árboles de un bosque sin hongos saprótrofos se morirían por falta de nutrientes y oxígeno a nivel de sus raíces, por lo que posiblemente iniciaría un proceso de desertificación con la capa orgánica siendo erosionada por viento y agua (Figs. 30c-e). Estos esquemas, sin embargo, son hipotéticos, porque en la naturaleza el proceso dependería de muchos factores del clima, suelo y otros organismos presentes. Bacterias, por ejemplo, eventualmente podrían asumir estas funciones ecológicas de los hongos.

Los grupos de hongos importantes para la descomposición de madera son los Polyporales (Figs. 6, 9, 21), Xylariales (Figs. 10, 12) y ciertas especies de Agaricales (Figs. 9, 22), entre muchos otros. En hojas muertas se distinguen sobre todo especies de Agaricales y numerosos hongos microscópicos, en su mayoría de Ascomycota. En excrementos a menudo se observan especies de Zygomycota (Fig. 28) y ciertas especies de Pezizales (Ascomycota; Fig. 29).

4.3. Hongos saprótrofos en el suelo

Los suelos están compuestos por minerales (rocas), material orgánico muerto (humus), agua y aire. El material orgánico muerto sirve como alimento para hongos, bacterias y pequeños animales (p.ej., nemátodos, anélidos, ácaros, insectos), que son muy importantes para que el suelo sea propicio para el crecimiento de plantas. Por degradar el material orgánico muerto, los hongos saprótrofos presentes en el suelo contribuyen a los ciclos de sustancias nutritivas, liberando azúcares, compuestos con nitrógeno o fósforo y otras sustancias nutritivas que luego pueden ser absorbidas por las raíces de las plantas (van der Heijden *et al.* 2008; Fig. 31). Con sus hifas microscópicas, los hongos penetran en cavidades diminutas de partículas del suelo donde absorben agua y minerales.

Las redes de hifas de los hongos retienen el agua por lo que contribuyen a su almacenamiento. Por entrelazar partículas del suelo además ayudan a que el suelo sea resistente a la erosión. Algunos hongos filamentosos y ciertas levaduras (Fig. 19), por ejemplo, especies de *Cryptococcus* y *Lipomyces* (Botha 2011), secretan sustancias gelatinosas que incrementan estos efectos y contribuyen a que el agua no pueda llevar tantos minerales y otras sustancias nutritivas. La gran biomasa de células fúngicas en el suelo también es importante para el almacenamiento de carbono.

Sin los hongos y bacterias en los suelos, el material orgánico se acumularía sin que las sustancias que contiene puedan reintegrarse a los ciclos de nutrientes, el suelo podría retener menos agua y podría ser lavado y erosionado por ésta. Por ende, sin los hongos (ni bacterias), muchos suelos serían menos fértiles y más degradados y difícilmente podrían ser colonizados por las plantas.

Los hongos importantes en el suelo son especies que pertenecen a Agaricales, Eurotiales, Hypocreales y Zygomycota, entre otros.

4.4. Hongos saprótrofos en el agua

Hay hongos adaptados a una vida en el agua donde crecen y se multiplican completamente sumergidos, como es el caso de los hongos acuáticos llamados hifomicetos Ingoldianos (Fig. 32), o viven tanto en el agua como en contacto con el aire, como es el caso de los hongos terrestre-acuáticos y los áero-acuáticos. Además, hay mohos acuáticos clasificados en Saprolegniales (Oomycota) que colonizan tanto material vegetal (p.ej. semillas, Fig. 33) como animal (Fig. 17). Para alimentarse descomponen el material orgánico muerto en el agua, sobre todo hojas muertas, otro material vegetal y animales muertos. De esta manera limpian el agua y contribuyen a una buena aireación y ciclos de sustancias nutritivas. La acción de los hongos saprótrofos en material vegetal muerto mejora la palatabilidad del mismo material para otros organismos que se alimentan de ella y contribuyen además con el balance energético de los cuerpos de agua (Pinto & Smits 2012).

Junto con otros microorganismos, los hongos contribuyen a la impermeabilidad del lecho de agua con los desechos de la degradación del material vegetal. Esto evita que el agua se filtre rápidamente en el sustrato y que los cuerpos de agua se sequen rápidamente. Los hifomicetos acuáticos están ligados en su mayoría a la buena calidad microbiológica y fisicoquímica del agua y por tanto pueden ser bioindicadores de la calidad de la misma (Fernández *et al.* 2010).

Sin la presencia de los hongos en el agua, el material orgánico se acumularía lo que resultaría en una putrefacción sin oxígeno (anaeróbica) que afectaría los organismos vivos en el agua y sin su acción degradadora se rompería el balance energético de los cuerpos de agua.

Se observa que agua recogida por pozos en los sedimentos al lado de un cuerpo de agua (zona subérea) es más limpia que el agua del río o lago. Probablemente, los hongos presentes en el sustrato debajo y al lado del cuerpo de agua, junto con otros microorganismos y el mismo sustrato participan en la limpieza del agua filtrada.

4.5. Hongos micorrízicos

Los hongos micorrízicos crecen con sus hifas en el suelo donde absorben agua, minerales y compuestos con nitrógeno o fósforo. Utilizan una parte del agua y de las sustancias nutritivas para su propio desarrollo, la otra parte la entregan a una planta verde a nivel de sus raíces (Figs. 34, 40). Para eso, las hifas del hongo establecen contactos muy estrechos con las células de las raíces finas de las plantas, formando micorrizas, del griego "hongo" y "raíz" (Smith & Read 2008). Como recompensa, la planta comparte sus azúcares con el hongo. Probablemente más del 90 % de las especies de plantas terrestres tienen asociaciones micorrízicas a nivel de sus raíces (Kottke 2016).

Sin la ayuda de los hongos micorrízicos, el crecimiento de las plantas sería menos vigoroso, serían más susceptibles a sequías, a enfermedades y a metales tóxicos en el suelo (Figs. 41a, b). Sin hongos micorrízicos habría menos bosque y menos crecimiento de hierbas, en ecosistemas naturales y en la agricultura (Gianinazzi *et al.* 2010).

Hongos importantes como hongos micorrízicos se encuentran clasificados sobre todo en Boletales (Fig. 5), Russulales y Glomeromycota. Además, hay especies micorrízicas en los Agaricales y en muchos otros grupos. Diferentes grupos de plantas se asocian con ciertos grupos de hongos micorrízicos más o menos específicamente.

4.6. Hongos en el dosel de los árboles

Sobre todo en bosques tropicales húmedos, numerosos hongos de toda clase, saprótrofos, parásitos y hongos en simbiosis mutualista, crecen vigorosamente en el dosel de los árboles. Hongos saprótrofos descomponen ramas muertas del árbol contribuyendo a la reducción de ramas debajo de ramas con hojas verdes y a un crecimiento recto del tronco (Figs. 35-36). Colonizan hojas y ramitas muertas en el dosel de los árboles y por entrelazar hojas muertas y ramas con sus hifas ayudan a que no se caigan al suelo (Figs. 37-38). De esta manera, material orgánico muerto se acumula en las copas de los árboles que finalmente ayuda a retener agua y sirve como sustrato para bromelias, orquídeas, helechos y otras plantas epífitas en bosques húmedos tropicales (Fig. 39). Por su actividad degradadora, los hongos liberan sustancias nutritivas que las plantas epífitas absorben con sus raíces.

Las orquídeas albergan hongos micorrízicos en ciertas células de sus raíces. Al digerir las células fúngicas que están dentro de sus propias células, la orquídea obtiene sustancias nutritivas importantes para su desarrollo. De igual manera, las especies trepadoras y epífitas de Ericaceae en el neotrópico presentan micorrizas específicas.

Por degradar madera muerta de árboles vivos o muertos, los hongos crean numerosos nichos para anidamientos de aves, escondrijos o nichos para murciélagos, insectos, arañas y otros animales.

Sin la acción degradadora de los hongos en el dosel de los árboles habría más ramas muertas en los bosques inhibiendo el paso de la luz del sol, y por tanto menos sustancias nutritivas disponibles y menor crecimiento de plantas epífitas en bosques húmedos (ver también líquenes, ver 4.7).

4.7. Hongos liquenizados

Los líquenes son hongos que obtienen los compuestos orgánicos indispensables para sobrevivir y crecer de **fotobiontes**, que son algas verdes o cianobacterias, que captan la energía de la luz del sol para sintetizar azúcares. Los hongos liquenizados no pueden vivir sin sus fotobiontes, mientras que el alga y la cianobacteria pueden sobrevivir sin el hongo en condiciones favorables para su desarrollo. El hongo (**micobionte**) forma con sus hifas la estructura del liquen, llamada talo, y protege las algas o las cianobacterias contra rayos solares fuertes, desecación y animales que quieren consumirlos (Figs. 10, 42-43). Como ambos, el hongo y el fotobionte, se ayudan mutuamente se trata de una simbiosis mutualista.

Los líquenes son pioneros que colonizan sustratos baldíos y expuestos al sol, como rocas en montañas o en la orilla del mar, ramas en el dosel de los árboles o suelos expuestos al sol (Figs. 44-45). También crecen en la superficie de troncos y hojas creando un hábitat para organismos epífilos tales como otros hongos, algas, bacterias, musgos y animales (Figs. 46-47).

Los líquenes contribuyen a su hábitat con sustancias nutritivas resultado de la fotosíntesis del alga o de la cianobacteria. Las cianobacterias además son capaces de captar y de fijar el nitrógeno del aire y de integrarlo en compuestos orgánicos. Una baja concentración de compuestos con nitrógeno a menudo es el factor limitante para el crecimiento de plantas en suelos pobres, por lo que las actividades metabólicas de cianolíquenes son muy importantes para estos ecosistemas.

Los talos de los líquenes captan el agua de neblina con una gran superficie (Fig. 48) y absorben agua como esponjas por lo que contribuyen a retener la humedad en su hábitat. Por eso y por producir sustancias nutritivas contribuyen a un crecimiento vigoroso de plantas epífitas en el dosel de los árboles.

Sin los hongos liquenizados, la colonización de sustratos desnudos por microorganismos y plantas sería más lento. Sin estos hongos, los suelos y el dosel de los árboles serían más pobres en sustancias nutritivas y la capacidad de la vegetación de retener el agua sería menor.

4.8. Hongos parásitos

Hay hongos parásitos de otros hongos, de plantas o de animales. Mayormente son específicos de ciertos grupos de organismos hospederos y causan enfermedades que pueden ser fatales o no.

Desde el punto de vista del ser humano, numerosos hongos parásitos son dañinos debido a que infectan plantas cultivadas reduciendo la cantidad y la calidad de cosechas, animales domésticos o el ser humano. En los ecosistemas, sin embargo, son importantes porque afectan sobre todo individuos débiles y de esta manera realizan una selección natural.

Cuando un organismo está presente en un ecosistema con una abundancia exagerada se convierte en una plaga. Esta situación a menudo es el resultado de un desequilibrio causado por el ser humano, que establece un monocultivo o cría un número elevado de animales en un espacio reducido, que introduce especies no nativas para la región, causa contaminación ambiental o cambios climáticos que reducen las defensas de los organismos hospederos.

Cuando la población de un organismo crece desmesuradamente, es fácil para las esporas de hongos parásitos encontrar este hospedero. Por lo tanto, la incidencia de hospederos infectados aumenta y disminuye el número de individuos de la especie hospedera. La incidencia del hongo parásito decrece conjuntamente con la población del hospedero. De esta manera, los hongos parásitos contribuyen al equilibrio ecológico de las poblaciones dentro de un ecosistema. Los parásitos coayudan para que en un ecosistema conviva una gran diversidad de especies de plantas y animales (p.ej. Bagchi *et al.* 2014).

Como ejemplos, se presentan aquí dos pares de esquemas didácticos. En la figura 50a, un hongo parásito de cierto insecto (entomopatógeno) controla la abundancia del gusano. Sin la presencia del hongo, el gusano se convierte en una plaga (Fig. 50b). El hongo puede ser una especie de Hypocreales ya que dentro de este orden se agrupan importantes parásitos de insectos o de arañas (comp. Fig. 13). Además, las especies del orden de los Entomophthorales (Zygomycota) son entomopatógenos.

En las figuras 51a y b se nota el efecto de hongos parásitos de especies específicas de plantas (fitopatógenos) sobre la diversidad de especies de plantas en un ecosistema. Sin estos patógenos específicos hay menos diversidad de especies de plantas ya que falta el control de especies dominantes.

Los grupos de hongos importantes como parásitos de plantas son las royas (Pucciniales), los carbones (Ustilaginales y otros) y diferentes grupos de mildius (Erysiphales, Meliolales, Peronosporales), entre otros (Figs. 7-8, 14-15, 18).

Batrachochytrium dendrobatidis es un hongo microscópico que causa una enfermedad mortal para muchas especies de ranas y tritones (Fig. 49) y aparentemente llevó a la extinción varias especies a nivel mundial.

4.9. Hongos endófitos

Los hongos endófitos son microhongos que crecen con sus hifas dentro de plantas vivas. Como se trata de una gran diversidad de hongos mayormente poco específicos y como las plantas generalmente no reflejan su presencia, se supone que la mayoría de los hongos endófitos son comensales.

En el caso de ciertas especies de hongos endófitos, sin embargo, se sabe que producen compuestos tóxicos que ayudan a la planta contra animales herbívoros. Otros hongos endófitos protegen las plantas contra ciertas enfermedades. En estos casos el endofitismo corresponde a una simbiosis mutualista (Schardl *et al.* 2007).

Sin embargo, ignoramos muchos detalles de las interacciones entre hongos, plantas, animales y otros microorganismos.

4.10. Hongos en el aire

Las esporas de muchos hongos están presentes en el aire donde los vientos las transportan hasta que caen en algún sustrato. Si este sustrato es húmedo, presenta sustancias nutritivas y otras propiedades específicas y necesarias para una especie específica de hongo, la espora germina y coloniza un nuevo sitio.

Mientras que las esporas están en el aire, absorben la energía de rayos solares. También participan en la formación de gotas de agua (nubes) y cristales de agua (Elbert *et al.* 2007).

CONCLUSIÓN

Los hongos desempeñan papeles muy importantes para asegurar el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, contribuyen al equilibrio ecológico y son indispensables para un crecimiento próspero de plantas y otros organismos. De manera directa o indirecta permiten que los ecosistemas brinden **funciones ecosistémicas** tales como (adaptado de Wittig & Niekisch 2014):

- degradación y reciclaje de material orgánico muerto, ciclos de minerales y nutrientes,
- ayuda para el crecimiento vigoroso de las plantas (a pesar de suelos pobres, contaminados, sequía y agentes patógenos),
- almacenamiento de agua,
- protección contra erosión (desertificación),
- colonización de superficies baldías y contribución de compuestos orgánicos que facilitarán el crecimiento de otros organismos,
- limpieza del agua y
- alimento para animales.

Además, los hongos parásitos contribuyen a mantener una diversidad elevada de especies de animales y plantas lo que son importantes para la estabilidad de los ecosistemas y su capacidad de recuperarse después de ser perturbados (p.ej., Forest *et al.* 2015).

Muchas de estas funciones ecosistémicas de los hongos son fundamentales para los **servicios ecosistémicos**, es decir, son bases para la vida humana en el planeta, directamente o por permitir un crecimiento vigoroso de plantas. Los hongos junto con las plantas brindan protección contra inundaciones, contra el viento, la desertificación, contribuyen al almacenamiento de CO₂, la regeneración de suelos, el control de plagas y a la producción de alimentos, madera y medicina.

El ser humano está destruyendo los ecosistemas naturales por deforestación, cambio de uso del suelo, cambio climático y la introducción de especies invasoras. Los hongos pueden ayudar a amortiguar los efectos de estos impactos del ser humano sobre ecosistemas, a menudo, sin que nosotros nos demos cuenta y sin que los científicos hayan entendido como. No sabemos hasta qué punto los ecosistemas podrán resistir.

Tampoco sabemos a ciencia cierta como un ecosistema cambiaría al momento de quitarle cierto grupo de hongos, tal como se presentó en las secciones 4.2 a 4.8. Además de los hongos, un ecosistema comprende una gran diversidad de animales, plantas, bacterias y otros microorganismos que también reaccionarían de una u otra manera, por lo que es imposible saber que pasaría exactamente. Cada ecosistema puede cambiar de manera distinta, dependiendo de los organismos presentes en él, del clima y del tipo de suelo. Por eso, las ideas aquí presentadas son hipótesis de investigación, que solo parcialmente han sido comprobadas científicamente hasta ahora.

A pesar de que nuestro conocimiento de los hongos y de la dinámica de los ecosistemas sea incompleto, es muy importante tomar en cuenta la diversidad fúngica cuando se desarrollan estrategias para la conservación (áreas protegidas). Al momento de proteger un área con vegetación diversa y material orgánico muerto, también se protegen los hongos presentes en el área. Por aumentar el número de nichos diferentes, las esporas de una gran diversidad de hongos encontrarán sustratos adecuados y aumentará la diversidad de hongos en el área protegida sin que el hombre tenga que intervenir.

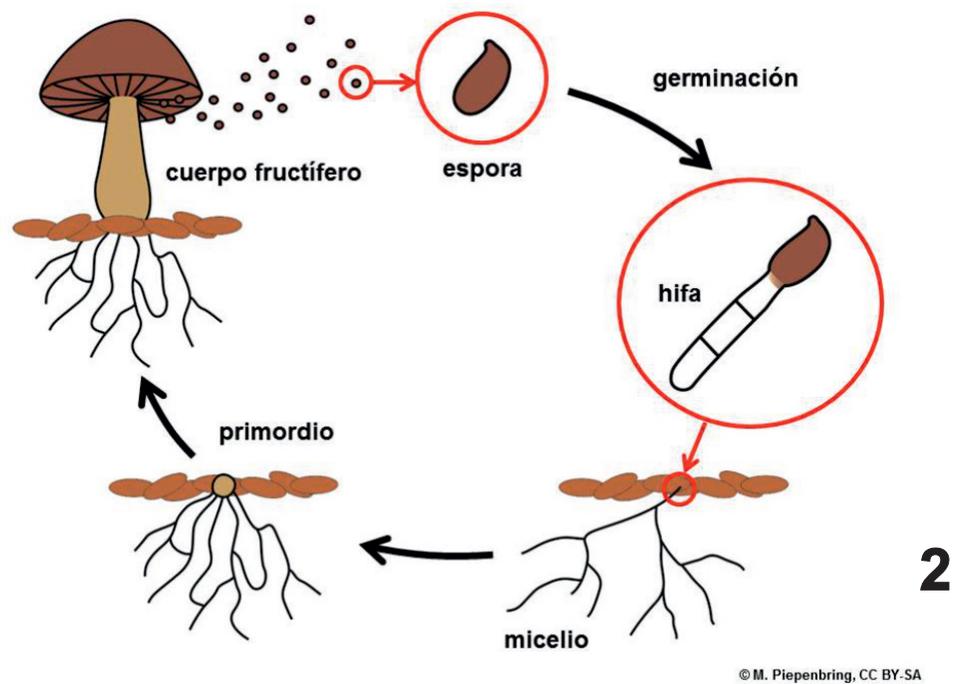
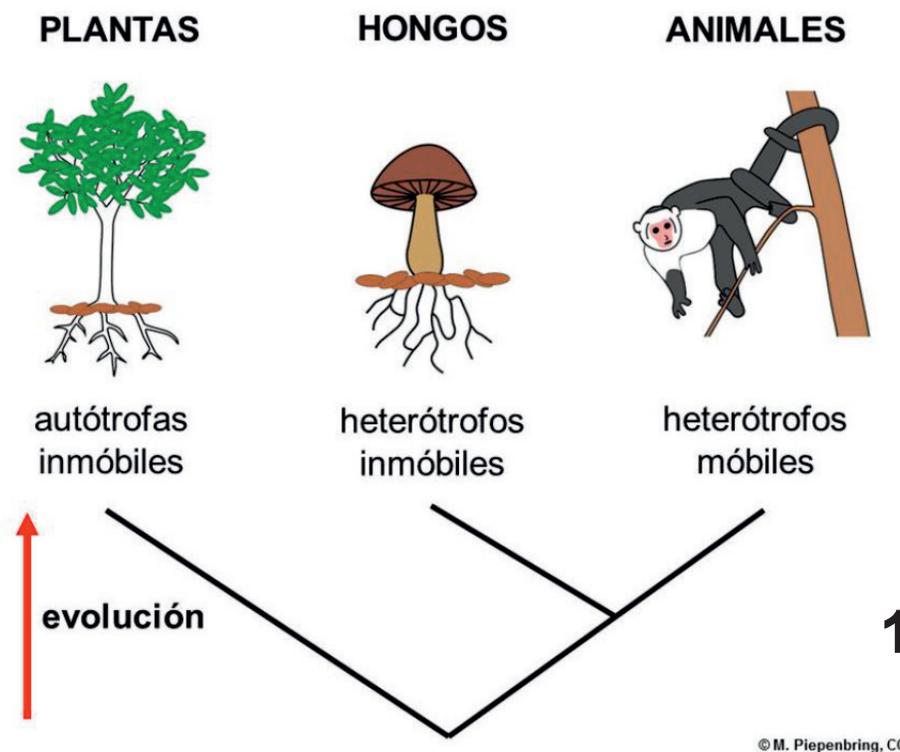
AGRADECIMIENTOS

El presente documento es el resultado de una gira biológica conservacionista realizada para conocer proyectos de protección del medio ambiente en Costa Rica realizados por la ONG Tropica Verde e.V. Dicha actividad se desarrolló del 2 al 9 de enero del 2015 con apoyo del Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD). Agradecemos la colaboración de N. Fattouh y A. Malsy por su contribución de conocimiento sobre hongos en suelos y los apoyos institucionales brindados por la Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador) y la Universidad Autónoma de Chiriquí (Panamá). Este trabajo fue apoyado por la iniciativa de excelencia LOEWE del estado de Hessen en el marco del grupo de Integrative Fungal Research (IPF).

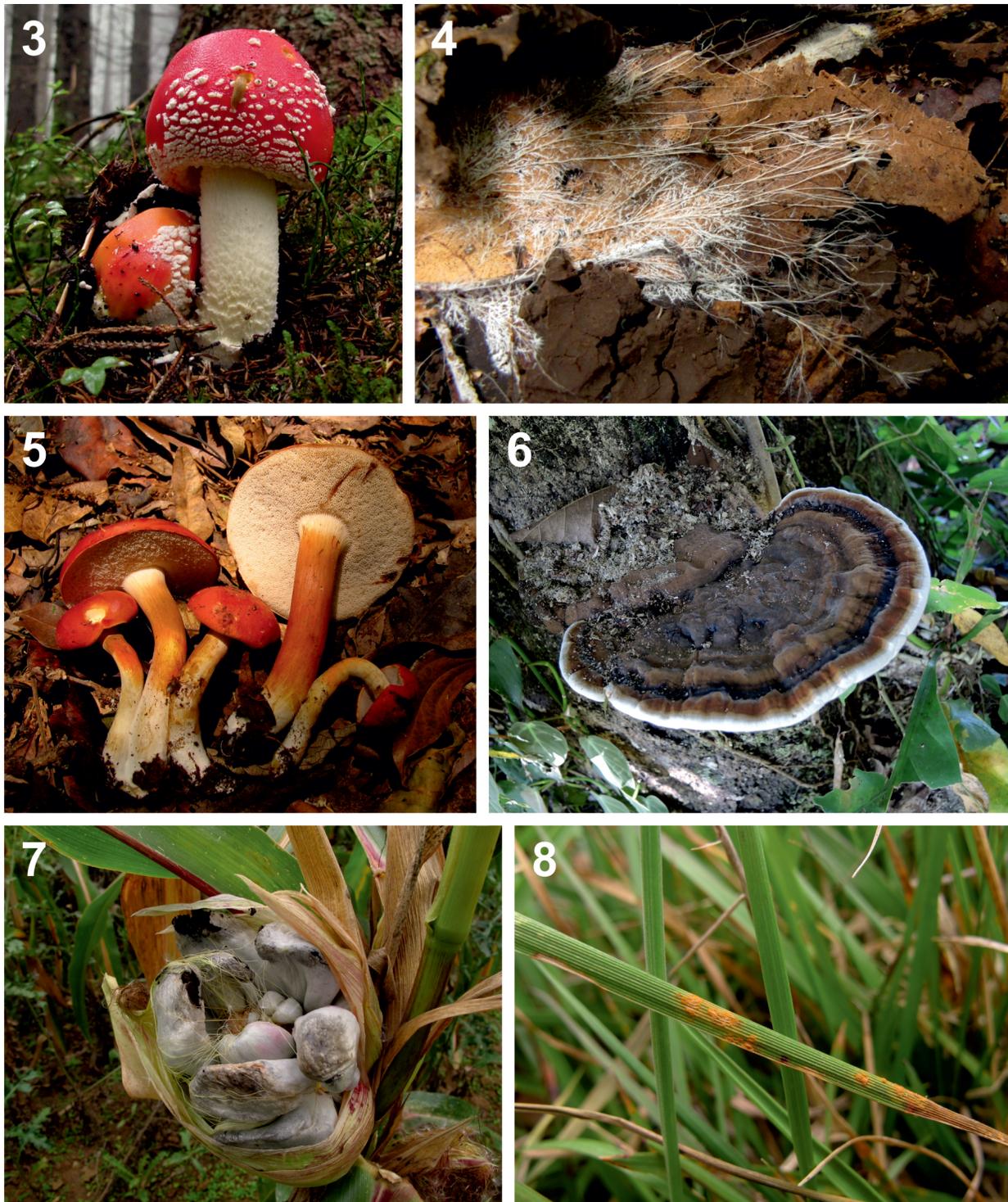
REFERENCIAS

- Bagchi, R., R.E. Gallery, S. Gripenberg, S.J. Gurr, L. Narayan, C.E. Addis, R.P. Freckleton & O.T. Lewis. 2014. Pathogens and insect herbivores drive rainforest plant diversity and composition. *Nature* 506: 85–88.
- Botha, A. 2011. The importance and ecology of yeasts in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 43: 1–8.
- Costanza, R., R. d'Arge, R.D. Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton & M.V.D. Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253–260.
- Elbert, W., P.E. Taylor, M.O. Andreae & U. Pöschl. 2007. Contribution of fungi to primary biogenic aerosols in the atmosphere: wet and dry discharged spores, carbohydrates, and inorganic ions. *Atmospheric Chemistry and Physics* 7: 4569–4588.
- Fernández, D.R., G. Smits & M. Pinto. 2010. Características e importancia de los hifomicetos acuáticos y registro de especies en Venezuela. Features and importance of aquatic hyphomycetes and species reports in Venezuela. *Revista Faraute de Ciencia y Tecnología* 5: 56–73.
- Forest, I. con 36 coautores. 2015. Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature* 526: 574–577.
- Gianinazzi, S., A. Golotte, M.-N. Binet, D. van Tuinen, D. Redecker & D. Wipf. 2010. Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza* 20: 519–530.
- Hawksworth, D.L. 2001. The magnitude of fungal diversity: The 1.5 million species estimate revisited. *Mycological Research* 105: 1422–1432.
- Kottke, I. 2016. Mykorrhiza, Pilz-Wurzel-Symbiosen, von Netzwerken zum Nährstoffaustausch, eine Einführung. Wikibooks, https://de.wikibooks.org/wiki/Mykorrhiza_%E2%80%93_Pilz-Wurzel-Symbiosen/_Druckversion [consultado 2016]
- Mora, C., D.P. Tittensor, S. Adl, A.G.B. Simpson & B. Worm. 2011. How many species are there on earth and in the ocean? *PLoS Biol* 9(8): e1001127. doi:10.1371/journal.pbio.1001127
- O'Brien, B.L., J.L. Parrent, J.A. Jackson, J.M. Moncalvo & R. Vilgalys. 2005. Fungal community analysis by large-scale sequencing of environmental samples. *Applied and Environmental Microbiology* 71: 5544–5550.
- Piepenbring, M. 2015. Introduction to mycology in the tropics / Introducción a la micología en los trópicos. APS Press, St. Paul, 366 pages.

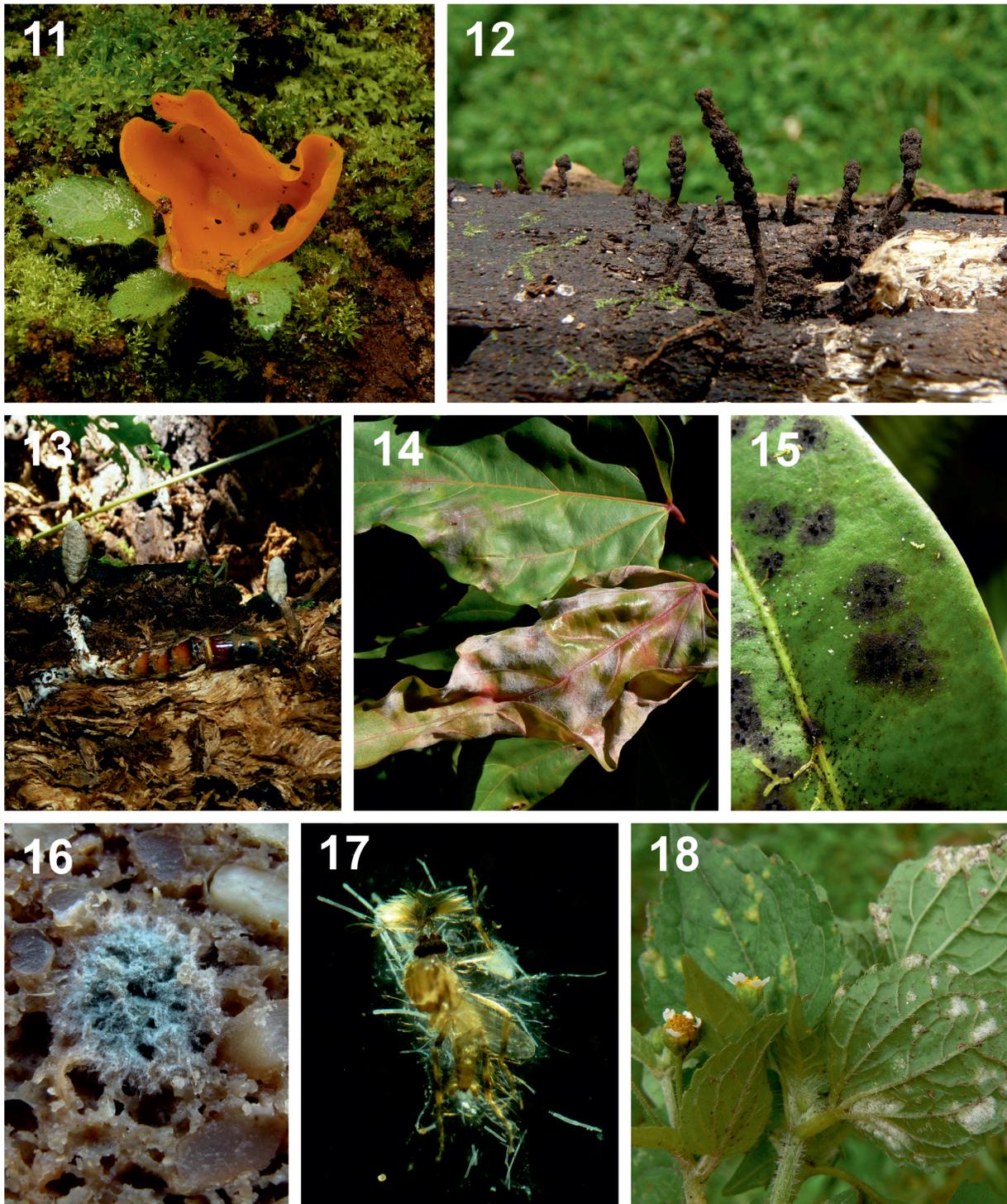
- Pinto, M. & G. Smits. 2012. Evaluación preliminar de la riqueza de especies de hifomicetos acuáticos en ríos de la vertiente norte de la Cordillera de la Costa, estado Aragua-Venezuela / Preliminary assessment of the species richness of aquatic hyphomycetes in rivers of the northern slope of the Cordillera de la Costa, Aragua state-Venezuela. *Revista Intropica* 7: 31–36.
- Schardl, C.L., R.B. Grossman, P. Nagabhyru, J.R. Faulkner & U.P. Mallik. 2007. Loline alkaloids: currencies of mutualism. *Phytochemistry* 68:980–996.
- Smith, S.E. & D.J. Read. 2008. *Mycorrhizal symbiosis*. 3rd ed. Academic Press, Elsevier.
- TEEB. 2010. La economía de los ecosistemas y la diversidad: incorporación de los aspectos económicos de la naturaleza. Una síntesis del enfoque, las conclusiones y las recomendaciones del estudio TEEB. http://www.teebweb.org/wp-content/uploads/Study%20and%20Reports/Reports/Synthesis%20report/Synthesis%20report_Spanish.pdf [consultado 7 de junio 2015]
- Van der Heijden, M.G.A., R.D. Bardgett & N.M. Van Straalen. 2008. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology letters* 11: 296–310.
- Wittig, R. & M. Niekisch. 2014. *Biodiversität: Grundlagen, Gefährdung, Schutz*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.



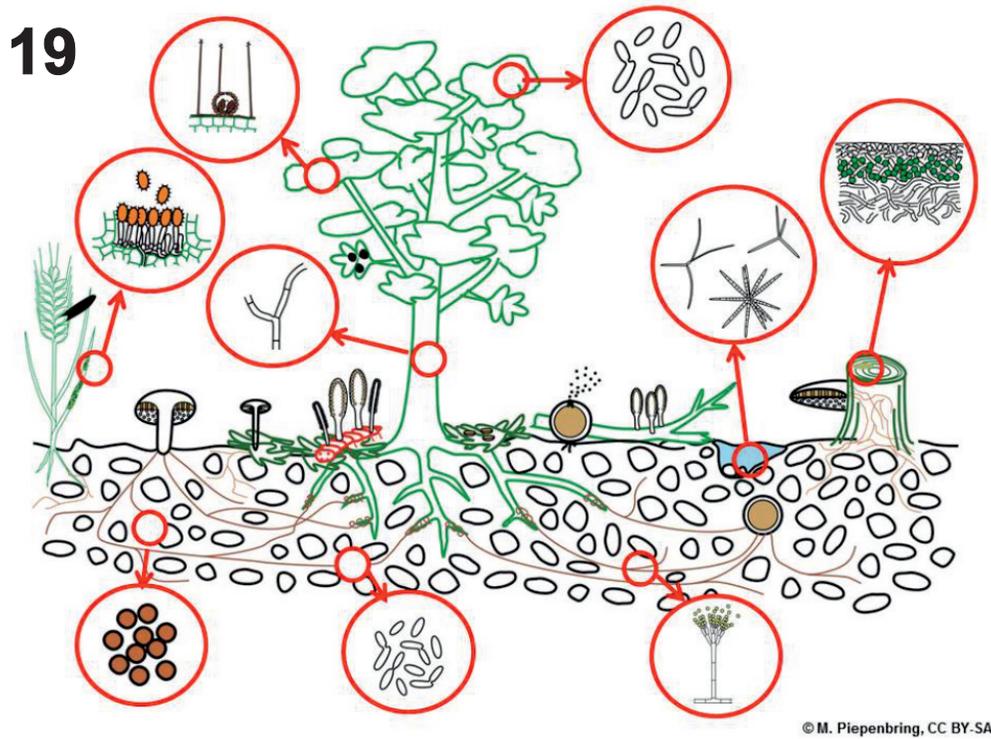
Figuras 1-2. Fig. 1. Árbol genealógico muy simplificado y caracterización resumida de los reinos de plantas, hongos y animales. **Fig. 2.** El ciclo de vida de un macrohongo.



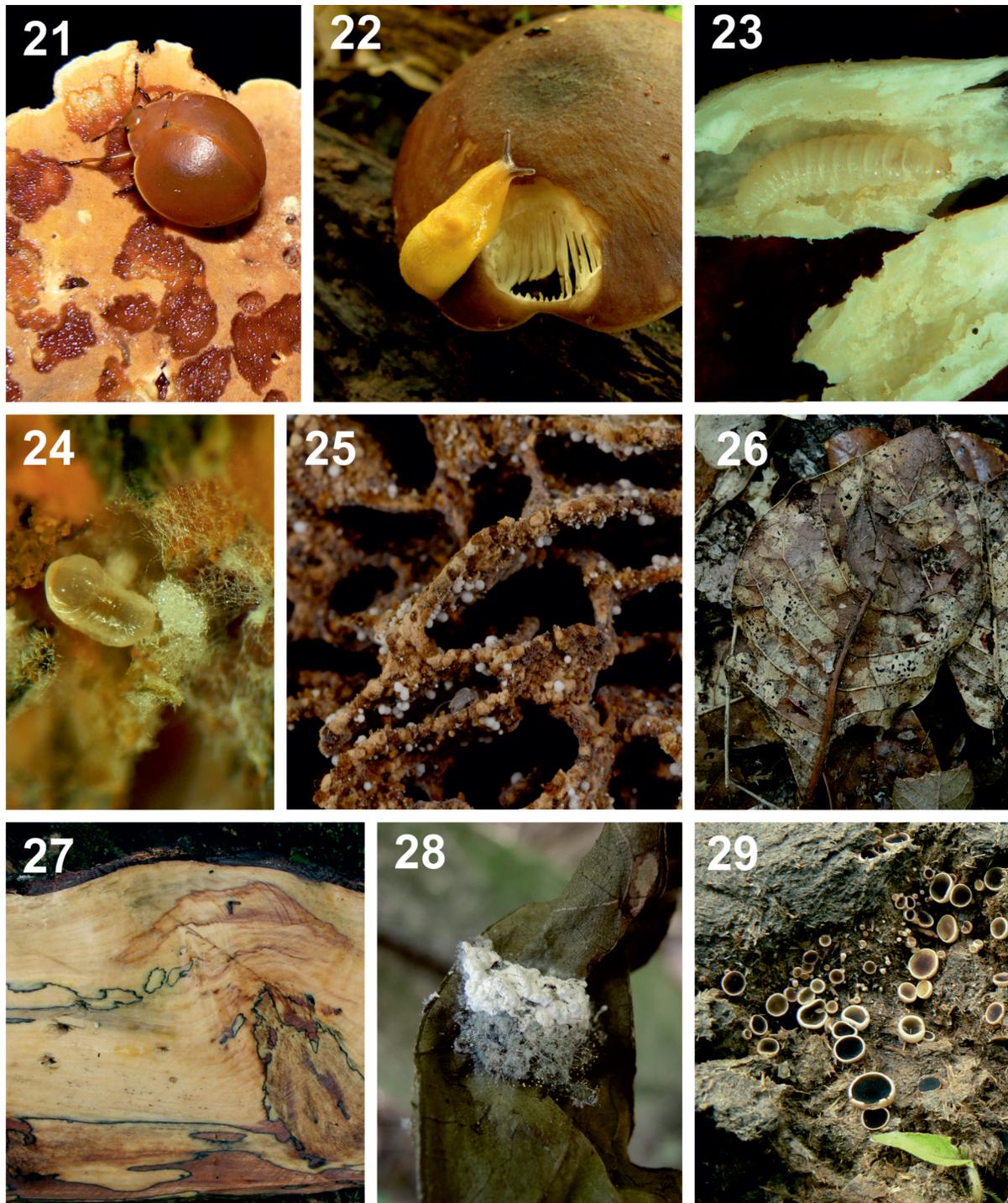
Figuras 3-8. **Fig. 3.** Cuerpos fructíferos del hongo matamoscas (*Amanita muscaria*). **Fig. 4.** Micelio en hojarasca en el suelo de un bosque. **Fig. 5.** *Tylopilus ballouii*, una especie de Boletales (Basidiomycota). **Fig. 6.** *Ganoderma* sp., una especie de Polyporales (Basidiomycota). **Fig. 7.** El carbón del maíz causado por *Ustilago maydis* (Ustilaginales, Basidiomycota) en una planta de maíz. **Fig. 8.** La roya *Puccinia coronata* (*Pucciniales*, *Basidiomycota*) en la hoja de una gramínea.



Figuras 11-18. **Fig. 11.** *Aleuria aurantia*, una especie de Pezizales (Ascomycota). **Fig. 12.** *Xylaria* sp., una especie de Xylariales (Ascomycota) que descompone la madera. **Fig. 13.** *Cordyceps* sp., un hongo parásito de una larva de un coleóptero (Hypocreales, Ascomycota). **Fig. 14.** Un mildiú pulverulento (Erysiphales, Ascomycota) en hojas de *Bixa orellana*. **Fig. 15.** Un mildiú negro (Meliolales, Ascomycota) en una hoja. **Fig. 16.** Un moho, *Penicillium decumbens* (Eurotiales, Ascomycota) en pan. **Fig. 17.** Una especie de Saprolegniales (Oomycota) en un mosquito muerto en agua. **Fig. 18.** Mildiú lanoso causado por una especie de Peronosporales (Oomycota) en *Galinsoga* sp.



Figuras 19-20. Fig. 19. Ubicación de hongos en un ecosistema. **Fig. 20.** Esquema didáctico de un bosque natural sano tomando en cuenta árboles (sin flores y frutos), una orquídea epífita, animales (representados por gusanos) y hongos.



Figuras 21-29. **Fig. 21.** Un coleóptero comiendo los poros de un cuerpo fructífero de Polyporales. **Fig. 22.** Una babosa comiendo un cuerpo fructífero de Agaricales. **Fig. 23.** Larva de un insecto dentro de un cuerpo fructífero. **Fig. 24.** Una larva de una hormiga cortadora de hojas junto con el hongo cultivado en hojas masticadas. El hongo forma cuerpos alimenticios blancos llamados bromacios. **Fig. 25.** Una termita rodeada por paredes formadas por madera masticada penetrada por el hongo cultivado. Éste desarrolla cuerpos blancos llamados "cabezitas de hongo". (foto cortesía de M. Merbach) **Fig. 26.** Hongos descomponiendo hojas. **Fig. 27.** Hongos descomponiendo madera. **Fig. 28.** Una especie de Zygomycota en excremento de ave. **Fig. 29.** Apotecios de *Ascobolus scatigenus* (Pezizales) en excremento de vaca.

30

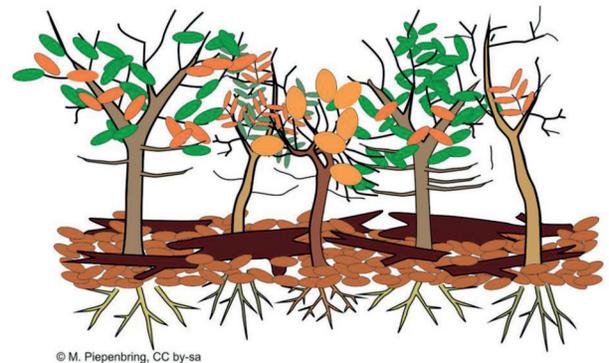
a



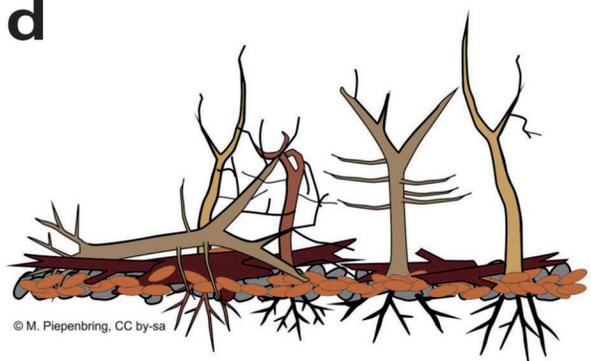
b



c



d



e

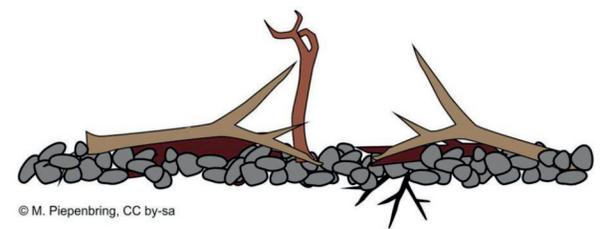
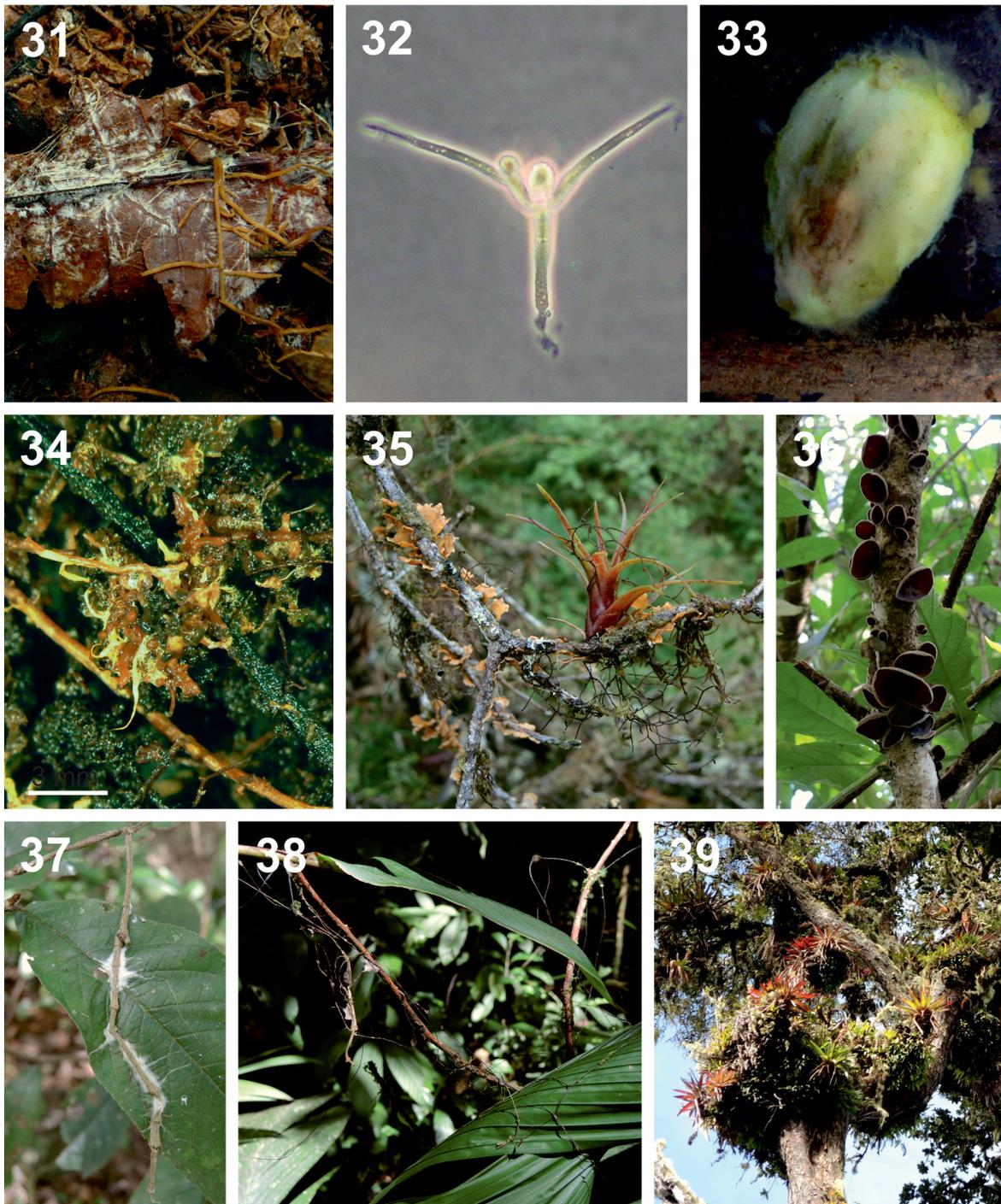
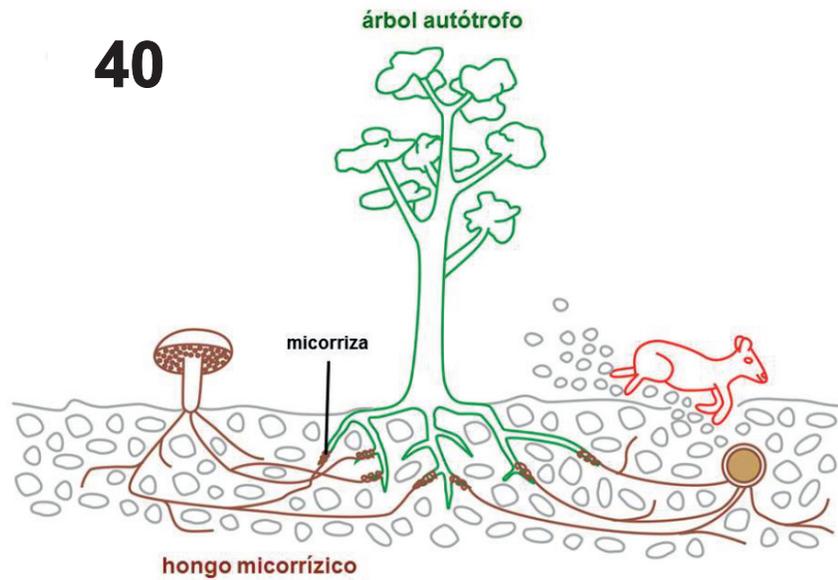


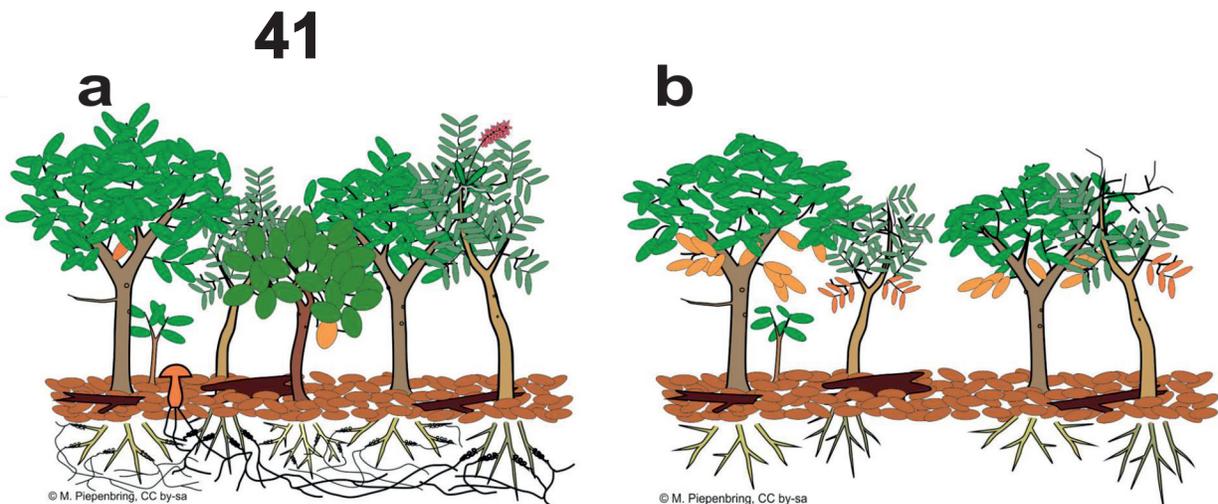
Figura 30. a. Esquema didáctico de un bosque con hongos saprófitos. b. Esquema didáctico de un bosque sin hongos saprófitos. c-e. Esquemas didácticos de un posible proceso de desertificación de un bosque sin hongos saprófitos.



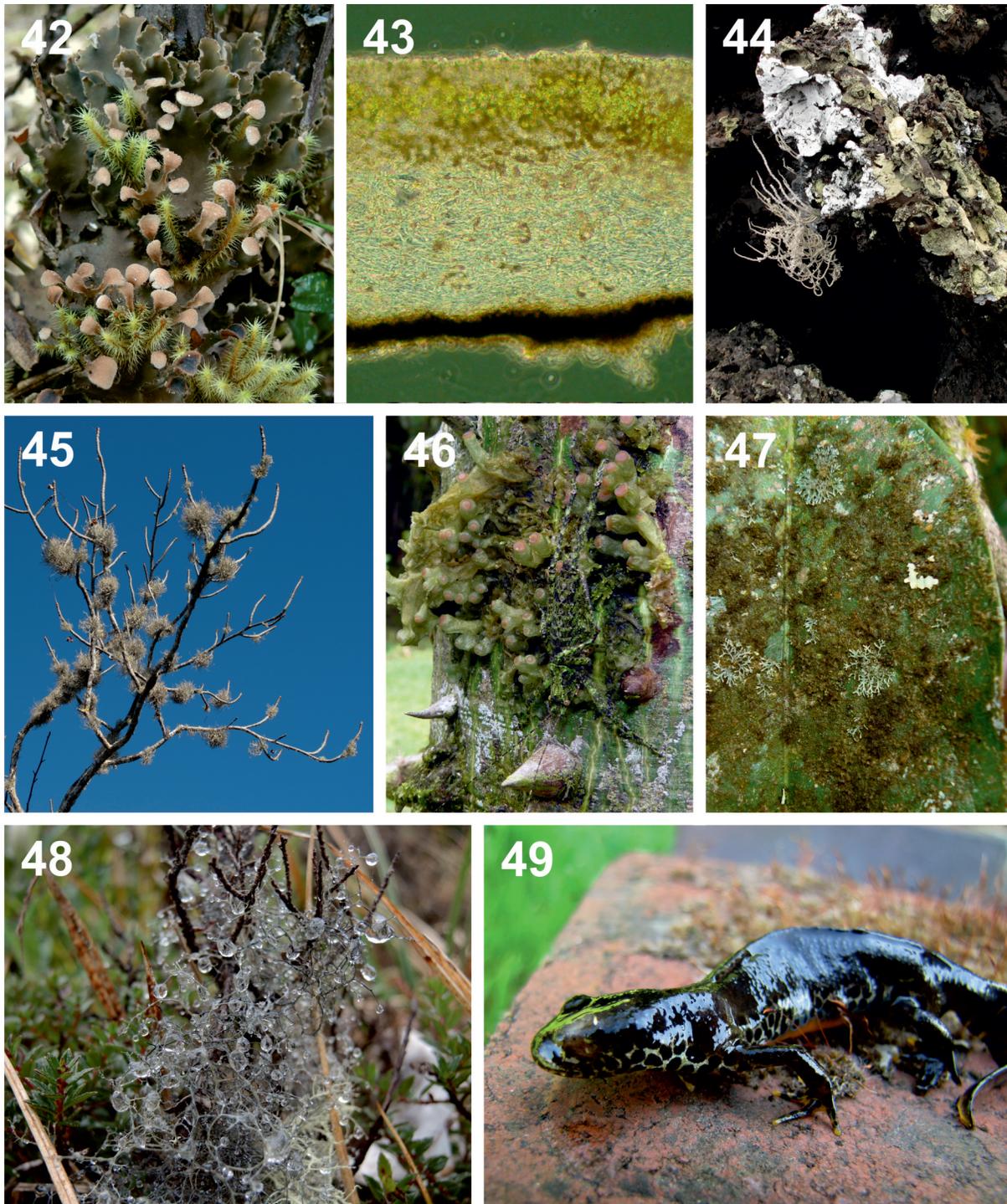
Figuras 31-39. **Fig. 31.** Una hoja penetrada por hifas de algún hongo y raíces de una planta en contacto directo con la hoja y las células del hongo. **Fig. 32.** Una espora del hifomiceto Ingoldiano *Tetracladium marchalianum* en agua dulce. **Fig. 33.** Una especie de Saprolegniales en una semilla en agua dulce. **Fig. 34.** Un hongo micorrízico en raíces de *Quercus* sp. **Fig. 35.** Hongos, musgos y una bromelia en ramas muertas del dosel de un árbol. **Fig. 36.** *Auricularia polytricha* en una rama muerta. **Fig. 37.** La ramita muerta adhiere a la hoja debido a hifas de un hongo. **Fig. 38.** Hilos negros (rizomorfos) de *Marasmius* sp. entrelazan hojas y ramas. **Fig. 39.** Abundancia de plantas epífitas en el dosel de *Quercus* sp. en un bosque nuboso.



© M. Piepenbring, CC by-sa



Figuras 40-41. Fig. 40. Esquema de hongos micorrízicos (a mano izquierda una especie de Boletales, a mano derecha una trufa) en raíces de un árbol. Fig. 41. a. Esquema didáctico de un bosque con hongos micorrízicos. b. Esquema didáctico de un bosque sin hongos micorrízicos.



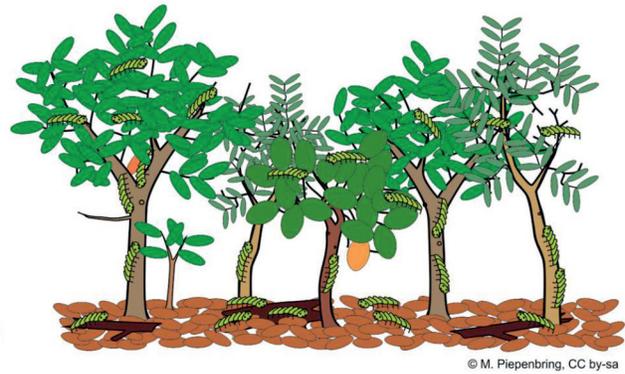
Figuras 42-49. **Fig. 42.** El líquen *Peltigera* sp. con musgos. **Fig. 43.** Un corte transversal de un líquen visto con microscopía de luz. **Fig. 44.** Líquenes en rocas volcánicas costeras. **Fig. 45.** *Ramalina* sp. en la copa de un árbol. **Fig. 46.** *Leptogium* sp. en el tronco de un árbol junto con un insecto escondido. **Fig. 47.** Líquenes y musgos en la superficie de una hoja. **Fig. 48.** El tallo muy fino y ramificado de *Oropogon* sp. capta el agua de la neblina. **Fig. 49.** Un tritón al cual le falta un ojo probablemente debido a una infección por *Batrachochytrium dendrobatidis*.

50

a

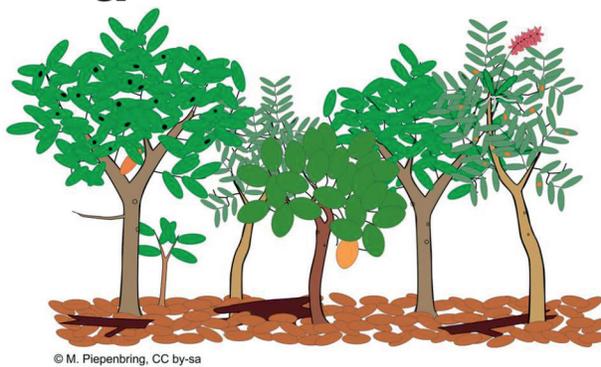


b

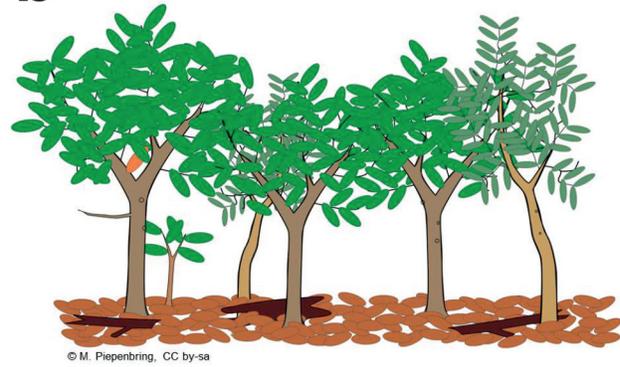


51

a



b



Figuras 50-51. Fig. 50. a. Esquema didáctico de un bosque con hongos entomopatógenos. **b.** Esquema didáctico de un bosque sin hongos entomopatógenos. **Fig. 51. a.** Esquema didáctico de un bosque con hongos fitopatógenos. **b.** Esquema didáctico de un bosque sin hongos fitopatógenos.