



REVISTA LATINOAMERICANA DE HERPETOLOGÍA

ANFIBIOS Y REPTILES: ENFERMEDADES, HOSPEDEROS Y VECTORES
VOLUMEN 01 NÚMERO 01 MAYO 2018 ISSN: EN TRÁMITE





Es una publicación de la



CONSEJO DIRECTIVO 2017-2018

Presidente

M. en C. María Guadalupe Gutiérrez Mayén
Universidad Autónoma de Puebla

Vicepresidente

Dr. Hibraim Perez Mendoza
Universidad Nacional Autónoma de México

Secretario

Dra. Ana Bertha Gatica Colima
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Tesorero

Dra. Anny Peralta García
Conservación de Fauna del Noroeste

Vocal Norte

M. en C. Jorge H. Valdez Villavicencio
Conservación de Fauna del Noroeste

Vocal Centro

M. en C. Uri Omar García Vázquez
Universidad Nacional Autónoma de México

Vocal Sur

M. en C. Roberto Luna Reyes
Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural

COMITÉ EDITORIAL

Editor-en-Jefe

Dra. Leticia M. Ochoa Ochoa

Senior Editors

Dr. Marcio Martins (Artigos em português)
Dr. Sean M. Rovito (English papers)

Editores asociados

Dr. José A. Cruz Silva
M. en C. Uri Omar García Vázquez
Dr. Oscar A. Flores Villela
Dra. Irene Goyenechea Mayer Goyenechea
Dr. Rafael Lara Rezéndiz
Dr. Norberto Martínez Méndez
Dra. Nancy R. Mejía Domínguez
Dr. Jorge E. Morales Mavil
Dr. Juan J. Morrone Lupi
Dra. Anny Peralta García
Dr. Hibraim A. Pérez Mendoza
Dr. Eduardo O. Pineda Arredondo
Dr. Jacobo Reyes Velsco
Dr. César A. Ríos Muñoz
Dr. Marco A. Suárez Atilano
Dra. Ileri Suazo Ortuño
Dr. Leopoldo D. Vázquez-Reyes
Dr. Julián Velasco Vinasco
Dr. Carlos A. Yañez Arenas

Diseño editorial

Lic. Andrea Vargas Fernández
Dra. Leticia M. Ochoa Ochoa

CONTENIDO

PRESENTACIÓN REVISTA

REVISTA LATINOAMERICANA DE HERPETOLOGÍA 4

EDITORIAL

ANFIBIOS Y REPTILES: ENFERMEDADES, HOSPEDEROS Y VECTORES 6
ROSARIO MATA-LÓPEZ^{1*} EDITORA INVITADA

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

ANOMALÍAS MACROSCÓPICAS EN LARVAS DE ANFIBIOS ANUROS 8
DAVID RAMIRO AGUILLÓN GUTIÉRREZ^{1*}

Keywords.— Macroscopic anomalies, tadpoles, population health, amphibians.

Palabras clave.— Anomalías macroscópicas, larvas, salud de la población, anfibios.

BORRELIA SPP. ASOCIADAS CON ANFIBIOS Y REPTILES: HOSPEDEROS Y DISTRIBUCIÓN MUNDIAL 22
PABLO COLUNGA-SALAS¹, Y. CAMILO BETANCUR-GARCÉS^{2*}, LETICIA M. OCHOA-OCHOA³, CARMEN GUZMÁN-CORNEJO⁴, SOKANI SÁNCHEZ-MONTES¹ E INGEBORG BECKER^{1*}

Keywords.— borreliosis, Lyme disease, ticks, vector-borne diseases, zoonotic diseases.

Palabras clave.— borreliosis, Enfermedad de Lyme, garrapatas, enfermedades transmitidas por vector, enfermedades zoonóticas.

THE POPULATION DECLINE OF *ATELOPUS QUIMBAYA* (ANURA: BUFONIDAE) IN THE ANDES OF COLOMBIA 34
DIEGO A. GÓMEZ-HOYOS^{1,2*}; WILLIAM CARDONA³; GUSTAVO A. GONZÁLEZ-DURÁN⁴; SANDRA VICTORIA FLECHAS⁵; GUSTAVO H. KATTAN⁶; JULIÁN A. VELASCO^{7*}

Keywords.— Colombia, Extinction, Harlequin frog, Amphibians, Andes.

Palabras clave.— Colombia, Extinción, Rana arlequín, Anfibios, Andes.

SAUROLEISHMANIA, PROTOZOARIOS ASOCIADOS CON REPTILES: DISTRIBUCIÓN, VECTORES Y HOSPEDEROS 43

YOKOMI NISEI LOZANO-SARDANETA¹, PABLO COLUNGA-SALAS^{1*}, LAURA SÁNCHEZ-PINEDA¹, SOKANI SÁNCHEZ-MONTES¹ E INGEBORG BECKER^{1,2}

Keywords.— *Leishmania*, reptiles, phlebotomines, host, parasites.

Palabras clave.— *Leishmania*, reptiles, flebotomíneos, hospedero, parásito.

NOTAS CIENTÍFICAS

ANOFTALMIA EN *DENDROPSOPHUS LUDDECKEI* (ANURA: HYLIDAE) EN UN AGROECOSISTEMA PASTORIL DE VILLA DE LEYVA, COLOMBIA 53
JAVIER ERNESTO CORTÉS-SUÁREZ^{1*}

Palabras clave.— Agroquímicos, malformación ocular, rana arborícola de sabana.

Keywords.— Agrochemicals, eye malformation, savanna tree frog.

RECORD OF UNUSUAL NOCTURNAL ACTIVITY OF *ATELOPUS VARIUS* AT LAS TABLAS PROTECTED ZONE, COSTA RICA 55
DIEGO A. GÓMEZ-HOYOS^{1,2}, ROCÍO SEISDEDOS-DE-VERGARA¹ & JOSÉ F. GONZÁLEZ-MAYA¹

Keywords.— behavior, critically endangered, feeding, harlequin frog, natural history.

Palabras clave.— alimentación, comportamiento, críticamente amenazado, historia natural, rana arlequín.

PERSPECTIVA

A 21ST-CENTURY VISION FOR NEOTROPICAL SNAKE SYSTEMATICS 58
R. ALEXANDER PYRON^{1*}



ISSN: EN TRÁMITE Volumen 01, Número 01, Mayo 2018

Foto de portada: *Tlalocohyla smithii*, Guerrero, México, por Ricardo Palacios Aguilar.

<http://herpetologia.fciencias.unam.mx/index.php/revista>

Contacto: revista.latin.herpetologia@gmail.com



REVISTA LATINOAMERICANA DE HERPETOLOGÍA

Latinoamérica es, sin dudar, uno de los sitios más espectaculares para ser herpetólogo. No sólo es una región llena de paisajes hermosos, llena de gente bella, culturalmente y culinariamente diversa; sino que contiene entre el 30-50% de la herpetofauna del mundo (Urbina-Cardona, 2008). Es probable, que esta proporción haya aumentado en la última década. La historia de la herpetología en Latinoamérica ha seguido el mismo cauce que otras áreas del conocimiento, donde se requería que llegaran investigadores de países desarrollados a realizar los trabajos científicos. No obstante, esto ha ido cambiando y hoy por hoy, se puede observar a un gran número de investigadores latinoamericanos publicando en revistas de alto nivel y sobre todo haciendo investigación en sus lugares de origen.

La Revista Latinoamericana de Herpetología (RHL) busca ser un lugar más donde se puedan publicar los resultados de estas investigaciones. Buscamos convertirnos un espacio en el cual se preserve la libertad de expresión al máximo, donde cualquier estudio que siga los estándares de la investigación científica tendrá cabida sin buscar la novedad por la novedad. Buscamos ciencia sólida, repeticiones (cientos de repeticiones) y por supuesto instamos también a los autores a abordar aspectos teóricos innovadores.

Este nuevo proyecto es una revista científica con un proceso de revisión por pares (*peer-reviewed*), publicada por la SHM dos veces al año (mayo y noviembre); la cual tiene por objetivo "Difundir trabajos cuyo principal objeto de estudio sean los anfibios y reptiles, así como temas afines de especies principalmente del Continente Americano".

La RLH tiene también el objetivo de ser el principal órgano de difusión de la Sociedad Herpetológica Mexicana (SHM), en ella se publican noticias concernientes a ésta (como concursos, convocatorias, anuncios), así como los informes anuales de la misma. No obstante, hacemos la invitación abierta para que otras sociedades latinoamericanas también la utilicen como medio de difusión.

La Revista Latinoamericana de Herpetología acepta manuscritos sobre todos los aspectos de la biología de anfibios y reptiles (como biología de la reproducción, fisiología, morfología, bioquímica), incluyendo su biogeografía, evolución, conservación, ecología, morfología, fisiología, sistemática,

Latin America is, without a doubt, one of the most spectacular places to be a herpetologist. Not only is it a region full of beautiful landscapes, full of beautiful people, culturally and culinarily diverse; it contains between 30-50% of the herpetofauna of the world (Urbina-Cardona, 2008). It is probable that this proportion has increased in the last decade. The history of herpetology in Latin America has followed the same path as other areas of knowledge, where researchers from developed countries were required to carry out scientific work. However, this has been changing and today, it is possible to see a large number of Latin American researchers publishing in high level journals and especially doing research in their places of origin (REF).

The Revista Latinoamericana de Herpetología (RHL) seeks to be a place where the results of these investigations can be published. We seek to become a space in which freedom of expression is preserved to the fullest, where any study that follows the standards of scientific research will have a place without seeking novelty for the sake of novelty. We look for solid science, repetitions (hundreds of repetitions) and of course we also urge authors to address innovative theoretical aspects.

This is a *peer-reviewed* scientific journal published by the Mexican Herpetological Society (Sociedad Mexicana de Herpetología, SHM) twice a year (May and November); which aims to "Publish manuscripts whose main object of study are amphibians and reptiles, as well as related topics of species mainly from the American Continent."

The RLH also aims to be the main information vehicle of the Mexican Herpetological Society, it publishes news concerning SHM (such as competitions, notices, calls, announcements, courses) as well as the annual report of the SHM. Nevertheless, we make an open invitation for other Latin American societies to use it as a means of communication as well.

The Revista Latinoamericana de Herpetología accepts manuscripts on all aspects of the biology of amphibians and reptiles (like reproductive biology, physiology, morphology, biochemistry), including their biogeography, evolution, conservation, ecology, morphology, physiology, systematics, ethology, paleontology, management and conservation of the species of the American Continent as well as topics related to herpetological education.

etología, manejo y conservación de las especies del Continente americano, así como temas relacionados con la educación herpetológica.

Aunque se anima a los autores a que envíen manuscritos basados en datos y pruebas rigurosas de hipótesis, o proporcionen descripciones completas de nuevos taxones (vivos o fósiles), así como revisiones de temas que puedan ser de interés a la comunidad; se aceptan también artículos que contengan aspectos de política y/o leyes ambientales relacionadas con la herpetología. También se invita a los autores a enviar, en forma de nota científica, artículos sobre crianza en cautiverio, nuevas técnicas o métodos de muestreo, observaciones anecdóticas o de historia natural aislada, extensiones geográficas y ensayos.

Es para mí un honor presentar el primer número de la Revista Latinoamericana de Herpetología (RLH).

Leticia M. Ochoa-Ochoa
Editor-en-Jefe

LITERATURA CITADA

Urbina-Cardona, J.N. 2008. Conservation of Neotropical herpetofauna: research trends and challenges. *Tropical Conservation Science*, 1: 359–375.

Although authors are encouraged to submit manuscripts based on data and rigorous hypothesis testing, or provide full descriptions of new taxa (living or fossil), as well as reviews of topics that may be of interest to the community. Articles that contain aspects of policy and / or environmental laws related to herpetology are also accepted. Authors are also invited to submit, in the form of a scientific note, articles about captive breeding, new techniques or sampling methods, anecdotal observations or isolated natural history, geographical extensions and trials.

It is an honor for me to present the first issue of the Revista Latinoamericana de Herpetología (RLH).

Leticia M. Ochoa-Ochoa
Editor-in-Chief

LITERATURE CITED

Urbina-Cardona, J.N. 2008. Conservation of Neotropical herpetofauna: research trends and challenges. *Tropical Conservation Science*, 1: 359–375.



ANFIBIOS Y REPTILES: ENFERMEDADES, HOSPEDEROS Y VECTORES

AMPHIBIANS AND REPTILES: DISEASES, HOST AND VECTORS

ROSARIO MATA-LÓPEZ¹*

¹Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, UNAM.

*Correspondencia: rmatalopez@ciencias.unam.mx

EDITORA INVITADA

Entre los grupos de vertebrados, los anfibios y los reptiles han sido extensamente estudiados no solo por su carisma y su distribución a lo largo del mundo, sino también porque gracias a los estudios iniciales en biología desde varios enfoques (e.g., ecología, fisiología, anatomía, biogeografía, evolución), se ha establecido que los anfibios son monitores de los ecosistemas debido a su alta sensibilidad a los cambios ambientales (Connell y Sousa, 1983; McCarty, 2001; Hopkins, 2007; Kerby et al., 2010; Foden et al., 2013). Desafortunadamente, de las 7875 especies de anfibios registradas (AmphibiaWeb, 2018), el 41% de las especies son consideradas en extinción primaria, o en procesos de extinción o muchas otras con poblaciones en declive (alarmantemente 6609 especies se encuentran en la The IUCN Red List of Threatened Species). Particularmente, para los reptiles, los estudios sobre su importancia como monitores de los ecosistemas son escasos, a pesar de contar con 10,711 especies en todo el mundo (The Reptile Database, 2018), y de las cuales, 6278 se encuentran en la The IUCN Red List of Threatened Species.

A principios de la década de los 90 se inició el registro de la declinación en las especies de anfibios (Wake, 1991; Blaustein y Wake, 1995). Los estudios realizados inicialmente concluían que la causa principal era la pérdida de hábitat debido a la destrucción, alteración y/o fragmentación del hábitat (Pechmann et al., 1991; Blaustein, 1994; Blaustein et al., 1994). Sin embargo, estudios recientes han evidenciado que la tasa de declinamiento de las poblaciones y la extinción de las especies de anfibios son debidas al surgimiento de enfermedades infecciosas -muchas de ellas emergentes- y que son resultado directo del cambio climático y de la actividad humana (Pechmann y Wilbur, 1994; Kiesecker et al., 2004; Hayes et al., 2010 y citas ahí proporcionadas). Se ha llegado a conclusiones alarmantes de que las enfermedades provocadas por infecciones emergentes en anfibios están relacionadas con

aquellas padecidas por la humanidad (Kiesecker et al., 2004; Carey, 2000).

Enfermedades y padecimientos -como anomalías morfológicas- en anfibios y reptiles son producidas por agentes etiológicos o patógenos como virus, bacterias, parásitos (tanto protozoarios como metazoarios) y hongos. Algunas de las enfermedades los anfibios las adquieren en el estadio adulto; sin embargo, en muchas otras enfermedades que son significativamente importantes, el agente etiológico que las provoca es adquirido en el estadio larvario del ciclo biológico de este grupo de vertebrados. En reptiles, las enfermedades y sus agentes etiológicos han sido menos estudiados que en anfibios, pero se conoce que muchas especies son reservorios principalmente de protozoarios (Bruce et al., 2018; Gałęcki y Sokół, 2018 y referencias en ambos).

Hasta la fecha, el estudio de estas enfermedades se ha abordado desde diferentes aspectos (e.g., taxonomía molecular, inmunología, patología) alrededor del mundo, y la información que en ellos se ha generado ha dado pauta a que se formen organizaciones para la conservación de las especies de anfibios (como Amphibian Survival Alliance, Save the Frogs!, Amphibian & Reptile Conservation(ARC), Partnership in Amphibian and Reptile Conservation (PARC), entre muchas otras que se han establecido a nivel mundial y regional), proporcionando además información para concientizar a las personas.

Por ello, números especiales como el que se presenta en esta ocasión en la Revista Latinoamericana de Herpetología, son esenciales para conocer qué estudios se realizan en la actualidad enfocándose a grupos de agentes etiológicos que provocan patologías en poblaciones de anfibios y reptiles en nuestro país y de los cuales escasa información se ha generado.

LITERATURA CITADA

- Blaustein, A.R. 1994. Chicken Little or Nero's fiddle? A perspective on declining amphibian populations. *Herpetologica*, 50, 85–97.
- Blaustein, A.R., y D.B. Wake. 1995. The puzzle of declining amphibian populations. *Scientific American*, 272: 52–57.
- Blaustein, A.R., D.B. Wake, y W.P. Sousa. 1994. Amphibian declines: Judging stability, persistence, and susceptibility of populations to local and global extinctions. *Conservation Biology*, 8: 60–71.
- Bruce, H.L., P.A. Barrow y A.N. Rycroft. 2018. Zoonotic potential of *Salmonella enterica* carried by pet tortoises. *The Veterinary record*, 182: 141.
- Carey, C. 2000. Infectious disease and worldwide declines of amphibian populations, with comments on emerging diseases in coral reef organisms and in humans. *Environmental Health Perspectives*, 108 (Suppl 1), 143.
- Connell, J. H, y W. P. Sousa. 1983. On the evidence needed to judge ecological stability or persistence. *American Naturalist*, 121:789–824.
- Foden, W.B., Butchart, S.H., Stuart, S.N., Vié, J.C., Akçakaya, H.R., Angulo, A., L.M. DeVantier, A. Gutsche, E. Turak, L. Cao, S.D. Donner, V. Katariya, R. Bernard, R.A. Holland, A.F. Hughes, S. E. O'Hanlon, S.T. Garnett, Ç.H. Şekercioğlu y G.M. Mace. 2013. Identifying the world's most climate change vulnerable species: a systematic trait-based assessment of all birds, amphibians and corals. *PloS One*, 8: e65427.
- Gałęcki, R. y R. Sokół. 2018. Treatment of cryptosporidiosis in captive green iguanas (*Iguana iguana*). *Veterinary Parasitology*, 252: 17–21.
- Hayes, T.B., P. Falso, S. Gallipeau & M. Stice. 2010. The cause of global amphibian declines: a developmental endocrinologist's perspective. *Journal of Experimental Biology*, 213: 921–933.
- Hopkins, W.A. 2007. Amphibians as models for studying environmental change. *Ilar Journal*, 48: 270–277.
- Kerby, J.L., K.L. Richards-Hrdlicka, A. Storfer y D.K. Skelly. 2010. An examination of amphibian sensitivity to environmental contaminants: are amphibians poor canaries? *Ecology letters*, 13: 60–67.
- Kiesecker, J.M., L.K. Belden, K. Shea y M.J. Rubbo. 2004. Amphibian decline and emerging disease: What can sick frogs teach us about new and resurgent diseases in human populations and other species of wildlife? *American Scientist*, 92: 138–147.
- McCarty, J.P. 2001. Ecological consequences of recent climate change. *Conservation Biology*, 15: 320–331.
- Wake D. 1991. Declining amphibian populations: A global phenomenon. *Science* 253, 860.
- Pechmann, J.H. y H.M. Wilbur. 1994. Putting declining amphibian populations in perspective: natural fluctuations and human impacts. *Herpetologica*, 50: 65–84.



ANOMALÍAS MACROSCÓPICAS EN LARVAS DE ANFIBIOS ANUROS

MACROSCOPIC ANOMALIES IN ANURAN LARVAE

DAVID RAMIRO AGUILLÓN GUTIÉRREZ*

**Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Av. Universidad S/N, Fracc. Filadelfia, 35010 Gómez Palacio, Durango, México*

**Correspondence author: davidrag@gmail.com*

Abstract.— This is a review paper that addresses the issue of macroscopic anomalies in anuran amphibian larvae. Currently, the cause of many anomalies in amphibians is known totally or partially, such as those caused by genetic factors (mutations, albinism and cauda bifida), by infectious agents (viruses, bacteria, fungi, protozoa and helminth parasites), by environmental factors (ultraviolet radiation, magnetism, temperature and predation) and by exposure to pollutants (endocrine disruptors and heavy metals), however, there are also anomalies whose cause remains unknown (*p* anomaly and weak limbs syndrome). Among the macroscopic anomalies mentioned in this article are the curvature of the spine, abnormalities in extremities, edema, skin and pigmentation problems, eye abnormalities and delayed growth. In the larval stage, the spectrum of anomalies is greater than in the adult stage, because in this stage the anuran amphibians are more vulnerable to different environmental and anthropogenic factors, and many of them will not reach the adult stage. The presence of macroscopic anomalies in larvae of anuran amphibians can give us information about the health status of a population or species, finding out the cause of these anomalies could help to generate conservation strategies for this biological group and minimize the loss of its biodiversity.

Keywords.— Macroscopic anomalies, tadpoles, population health, amphibians.

Resumen.— Este es un artículo de revisión donde se aborda el tema de las anomalías macroscópicas en larvas de anfibios anuros. Actualmente se conoce total o parcialmente la causa de muchas anomalías en anfibios, como por ejemplo las causadas por factores genéticos (mutaciones, el albinismo y la cola bífida), por agentes infecciosos (virus, bacterias, hongos, protozoarios y parásitos helmintos), por factores ambientales (radiación ultravioleta, magnetismo, temperatura y depredación) y por exposición a contaminantes (interruptores endócrinos y metales pesados), sin embargo, también existen anomalías cuya causa permanece desconocida (anomalía *p* y síndrome de miembros débiles). Entre las anomalías macroscópicas mencionadas en este artículo se encuentran la curvatura de la espina, anomalías en extremidades, edema, problemas cutáneos y de la pigmentación, anomalías en ojos y crecimiento retardado. En la etapa larvaria, el espectro de anomalías es mayor que en la etapa adulta, debido a que en esta etapa los anfibios anuros son más vulnerables a diferentes factores ambientales y antropogénicos, y muchos de ellos no llegarán a la etapa adulta. La presencia de anomalías macroscópicas en larvas de anfibios anuros nos puede dar información acerca del estado de salud de una población o especie, averiguar la causa de estas anomalías podría ayudar a generar estrategias de conservación para este grupo biológico y minimizar la pérdida de su biodiversidad.

Palabras clave.— Anomalías macroscópicas, larvas, salud de la población, anfibios.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los anfibios son el grupo de vertebrados más amenazados a nivel mundial, algunos autores consideran que de un 30 a un 40% de especies están en riesgo de extinción, lo que sugiere que el problema es multifactorial y global (Blaustein y Wake, 1995; Young et al., 2001; Stuart et al., 2004; Allentoft

y O'Brien, 2010). Algunos de los factores que causan el declive poblacional de anfibios como la contaminación o la radiación ultravioleta están relacionados con la incidencia de anomalías macroscópicas, las cuales se definen como aquellas que se pueden observar a simple vista en la parte externa del organismo y en general, se considera que no más de un 5% de una población de anfibios debe presentar una anomalía (Blaustein y Johnson,

2003), sin embargo, hay reportes de poblaciones que superan ese porcentaje (Vershinin 1989, Severtsova et al., 2012b). Sin embargo, la mayoría de las publicaciones se hace en individuos adultos, lo que reduce el espectro de tipos de anomalías encontrados, ya que, en etapa larvaria, muchos de los individuos con anomalías no llegarán a la etapa adulta, además las larvas son más difíciles de encontrar, de identificar y de investigar (McDiarmid y Altig, 1999; Johnson et al., 2001; Blaustein y Johnson, 2003).

LOS ANFIBIOS ANUROS

El orden Anura se conforma por ranas y sapos. Anura significa “sin cola”, lo cual es una característica de este grupo en la fase adulta. Las larvas son fitófagas y los adultos son carnívoros. La longitud hocico-cloaca en adultos va de menos de 1 a 35 cm según la especie. En cuanto a la reproducción, la mayoría presenta fertilización externa, colocando los huevecillos en el agua, aunque algunos los colocan en tierra. Actualmente se conocen 6856 especies de anuros (Frost, 2017), siendo el orden de anfibios más numeroso. Se distribuyen en todos los continentes exceptuando la Antártida (Halliday y Adler, 2007).

Etapas ontogenéticas de anuros

Para determinar el estadio de desarrollo de un anfibio anuro se utilizan las Tablas de Desarrollo Normal, por ejemplo, la de Nieuwkoop y Farber (1956) basada en *Xenopus laevis*, la de Gosner (1960) basada en *Bufo valliceps* o la de Dabagyan-Sleptzova (1975) basada en *Rana temporaria*. En general, pueden considerarse las siguientes etapas de desarrollo en anuros (Balinsky, 1978; McDiarmid y Altig, 1999; Gilbert, 2000):

Etapla embrionaria: La etapa embrionaria va desde la fertilización hasta la organogénesis. Durante esta etapa ocurre la segmentación, la mórula, la blástula y la gástrula.

Organogénesis: En esta etapa se empiezan a formar los órganos, el cuerpo se alarga, se forma la cola y se hace notoria la subdivisión del cuerpo en cabeza y tronco.

Etapla larvaria: Se desarrollan las extremidades posteriores, separándose los dedos, y se hacen visibles las extremidades anteriores.

Metamorfosis: Durante esta etapa emergen las extremidades anteriores, se reabsorbe la cola y crece el tamaño de la boca.

Etapla juvenil: Se presenta desde las últimas etapas de la metamorfosis, en las que en la mayoría de las especies el renacuajo debe salir del agua, pues la respiración ya es totalmente

pulmonar y cutánea.

Etapla adulta: El individuo presenta actividad tanto en el ambiente terrestre como en el acuático y alcanza la madurez sexual.

Cabe destacar que las distintas etapas, aquí muy brevemente descritas, tienen base en la presencia, tamaño o ausencia de ciertas estructuras morfológicas, pero que no tienen un límite totalmente distinguible entre ellas, por lo que el uso de las tablas de desarrollo normal como las anteriormente mencionadas, son bastante útiles para ubicarnos en una etapa o “momento” particular del desarrollo.

Etapas ontogenéticas de anuros

El término “larva” es muy general, en español también se le puede llamar renacuajo, y abarca desde algunas etapas de la organogénesis hasta el inicio de la metamorfosis. Dentro de los vertebrados, los anfibios son los únicos que tienen una etapa larvaria como tal (no todas las especies presentan etapa larvaria), y en consecuencia una metamorfosis (exceptuando las especies neoténicas). Anatómicamente hay cambios importantes en la boca, pues en esta etapa comienza la alimentación activa (herbívoros en un inicio y después omnívoros), la cola se desarrolla para permitir el nado, las branquias se internalizan quedando cubiertas por el opérculo y se aprecia el espiráculo, y se desarrollan las extremidades posteriores en las cuales se separan los dedos. Fisiológicamente están activos, con sus respectivas limitantes, el sistema digestivo, el respiratorio, el circulatorio, el nervioso, el excretor y el musculo-esquelético (presencia de condrocáneo). Ecológicamente la supervivencia de la larva depende de muchos factores, puesto que esta etapa se lleva a cabo en el agua, y dependerá del tipo de cuerpo de agua (permanente o temporal, agua corriente o estancada), así mismo como de la presencia de alimento, la interacción con depredadores, la competencia intra e interespecífica y de condiciones ambientales, climáticas, demográficas y antropogénicas (Cogger y Zweifel, 1992; McDiarmid y Altig, 1999; Halliday y Adler, 2007).

Conservación de Anfibios

Los anfibios son el grupo de vertebrados con más especies amenazadas de extinción en la actualidad. Desde la década de los ochentas se han registrado declives poblacionales y extinciones en este grupo biológico en distintas partes del planeta (Blaustein y Wake 1995, Young et al. 2001, Stuart et al. 2004, Allentoft y O'Brien 2010). Las razones por las que los anfibios son más vulnerables que otros grupos biológicos son las siguientes (Crump y Rodríguez, 2001; Vosjoli, 2004; Wells 2007; Cruz-Elizalde et al., 2017; Aguillón-Gutiérrez, 2018):

- a) Tienen una piel “desnuda”, lisa y permeable, por la que absorben contaminantes o bien son susceptibles de infecciones.
- b) Presentan respiración branquial, pulmonar y cutánea, por lo que, si el agua o el aire están contaminados, los anfibios padecerán las consecuencias.
- c) Las estrategias de conservación in situ no siempre tiene éxito, ya que muchos anfibios tienen requerimientos de hábitat muy específicos, por ejemplo, cierta humedad, temperatura, dieta, entre otros.
- d) La fragmentación de hábitat también pone en riesgo a algunas poblaciones de anfibios, ya que a veces interrumpe procesos metapoblacionales, ocasionando depresión endogámica.

ANOMALÍAS MACROSCÓPICAS EN LARVAS DE ANFIBIOS ANUROS

Anomalías por factores genéticos

Existe una gran cantidad de anomalías de las cuales no se conoce la causa o etiología, y no parecen estar relacionadas con agentes infecciosos, alteraciones ambientales o contaminantes. Sin embargo, en muchos casos pudiera haber una combinación de factores tanto ambientales como genéticos que den origen a estos padecimientos (Gilbert y Epel, 2009). En esta sección se consideran anomalías cuyo origen pudiera ser atribuido a alteraciones genéticas durante el desarrollo.

Mutaciones

Una mutación es cualquier cambio que provoque una variación en un nucleótido o alelo (Griffiths et al., 1998), si este cambio afecta la cantidad o función de un polipéptido, altera una proteína esencial o causa daños en el ADN o ARN, se produce una enfermedad genética y en consecuencia el fenotipo se modifica (Thompson et al., 1996).

La rana *Bombina orientalis* presenta un gen recesivo mutante (*Pale*), que en los individuos homocigotos produce una coloración más clara y defectos en la retina que pueden ser apreciados desde la etapa larvaria (Ellinger, 1980). Los melanóforos tienen un número reducido de melanosomas, y otros cromatóforos como los xantóforos y los iridóforos presentan poca intensidad de pigmentación. Histológicamente se aprecia un adelgazamiento del epitelio pigmentado de los ojos, desorganización celular de las capas nucleares y plexiformes de la retina, y acortamiento y número reducido de conos y bastones (Ellinger, 1980).

Albinismo

El albinismo es la ausencia congénita de la pigmentación corporal normal (Blood y Studdert, 1993) debida a una mutación en la cual se inhibe la vía de biosíntesis de melanina (Kamaraj y Purohit, 2014). El albinismo suele comportarse como un carácter mendeliano sencillo, recesivo respecto a la pigmentación normal (Sinnott et al., 1961) y se ha detectado en una gran cantidad de especies, incluyendo las larvas del anfibio anuro *Bufo viridis* (Henle et al., 2017).

Cola bifida

La cola bifida (*cauda bifida*) es una condición en que la cola tiene dos terminaciones. La causa de esta anomalía no está clara, sin embargo, en experimentos en laboratorio se ha obtenido esta anomalía cuando partes de la corda dorsal es destruida, cuando se inyecta alquitrán en la cola o cuando se irradia la región lumbar. Esta condición se ha reportado en *Hyla arborea* (Henle et al., 2012, 2017).

Anomalías causadas por agentes infecciosos

En México existen algunos trabajos acerca de la microbiota presente en herpetofauna, estos estudios son muy importantes desde el punto de vista ecológico, biomédico, veterinario y de la medicina de la conservación. Uno de estos trabajos es el realizado por Aguillón-Gutiérrez et al. (2007), en el cual se hizo una evaluación del estado físico y un aislamiento e identificación de bacterias cloacales en herpetofauna del Parque Ecológico Chipinque, en el municipio de San Pedro Garza García, Nuevo León, México. En esta investigación se utilizó la microbiota de reptiles y anfibios como herramienta diagnóstica de salud ambiental, ya que estos animales pueden ser portadores de bacterias zoonóticas como la *Salmonella*, sin embargo, se concluyó que la sanidad del hábitat es adecuada, puesto que los reptiles y anfibios están en buen estado corporal y existe poco riesgo de que sean potenciales transmisores de enfermedades zoonóticas bacterianas.

Evidentemente, hace falta realizar más investigaciones en México referentes a la microbiota (virus, bacterias, hongos, protozoarios y helmintos) en reptiles y anfibios, ya que actualmente algunas enfermedades emergentes han puesto en riesgo a diversas especies de estos grupos biológicos (Daszak et al., 1999). A continuación, se muestran algunos ejemplos de agentes infecciosos que causan anomalías macroscópicas en larvas de anfibios anuros.

Virus

Los virus son agentes submicroscópicos que contienen ácido nucleico, desoxirribonucleico (ADN) o ribonucleico (ARN) como

su genoma, el cual está incluido en una envoltura de proteína, y además algunos virus contienen lípidos, carbohidratos y enzimas (Gratzek, 1980; Mohanty y Dutta, 1988). Los anfibios pueden ser afectados por un grupo de virus con doble cadena de ADN llamado *Ranavirus*, de la familia Iridoviridae, el cual ocasiona una respuesta inmunológica caracterizada por hinchazón de extremidades y del cuerpo, eritema (enrojecimiento de la piel debido a un aumento de irrigación sanguínea por vasodilatación), equimosis (hematomas), Petequias (lesiones pequeñas de color rojo, formadas por extravasación de eritrocitos cuando se daña un capilar), hemorragias y decoloración cutánea en larvas de *Lithobates catesbeianus*, *Spea bombiformis* e *Hyla chrysoscelis* (Gray et al., 2009; Miller et al., 2011; Gray y Chinchir, 2015). Igualmente, un *Ranavirus* es el Virus del Edema del Renacuajo, que ocasiona edema, además de hemorragias difusas en extremidades, necrosis en dedos, úlceras cutáneas y muerte. Los efectos de este virus se han descrito en *Spea hammondi*, *Anaxyrus americanus*, *Anaxyrus woodhousii*, *Lithobates catesbeianus*, *Rana temporaria* y *Rhinella marina* (Williams, 1997; Daszak et al., 1999).

Bacterias

Las bacterias son microorganismos procariotas, unicelulares, que no forman tejidos especializados, con una pared celular de peptidoglicano y carentes de núcleo. Exhiben formas esféricas, filamentosas o de bastones rectos, curvos o espirales (Merchant y Packer, 1980; Carter y Chengappa, 1994). Los anfibios anuros durante su etapa larvaria pueden ser afectados por diversas bacterias, sin embargo, no todas causan patologías macroscópicas. Desde finales del siglo XIX se ha reportado que la bacteria *Bacillus hydrophilus*, posteriormente *Aeromonas hydrophila* causa la enfermedad de las piernas rojas (presencia de úlceras y lesiones focales hiperémicas y hemorrágicas en la piel de las extremidades) en anfibios (Emerson y Norris, 1905; Williams, 1999). Esta bacteria ha sido aislada de larvas de *Lithobates pipiens*, *Rana muscosa* y de *Rana temporaria*, ocasionando en esta última Petequias, equimosis y eritema en el cuerpo, cola y piernas, y en el caso de *R. muscosa* causando mortalidades cercanas al 100% (Hird et al., 1981; 1983; Bradford, 1991; Tiberti, 2011).

Hongos

Los hongos son organismos eucariotas, desprovistos de clorofila, presentan órganos como las hifas y el micelio, tienen existencia saprófita o parásita (Muller y Loeffler, 1976; Carter y Chengappa, 1994). Dos de los hongos más estudiados que afectan a los anfibios son *Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd) y *Batrachochytrium salamandrivorans* (que afecta salamandras), que ocasionan la enfermedad quitridiomycosis, a la cual se le han atribuido el declive poblacional y el surgimiento de anomalías en algunas especies de anfibios. Bd puede causar alteraciones del

comportamiento, posturas anormales, anomalías en partes de la boca, anorexia y muerte en larvas de *Rana cascadae*, *Lithobates catesbeianus*, *Hyla regilla* y *Anaxyrus boreas* (Blaustein et al., 2005).

Otras enfermedades micóticas reportadas en anfibios son la chromomycosis causada por hongos como *Cladosporium*, *Fonsecaea*, *Phialophora*, *Ochroconis*, *Rhinocladosporium* y *Wangiella*, y zygomycosis, causada por hongos del grupo Zygomycetes como *Mucor*, *Basidiobolus*, y *Rhizopus*. Estas enfermedades se han reportado en anfibios como *Anaxyrus boreas* y causan lesiones granulomatosas, úlceras, nódulos y neoplasias en piel, letargia, enfermedades neurológicas, pérdida de peso y muerte (Wright y Whitaker, 2001; Scherff-Norris et al., 2002).

Protozoarios

Los protozoarios son organismos microscópicos, unicelulares eucariotas, con una morfología muy diversa, habitan en ambientes húmedos y acuáticos y pueden parasitar a otros seres vivos (Vázquez-Cervantes, 1999). En esta sección se habla de los efectos de *Saprolegnia ferax* y *S. declina* en anfibios en desarrollo. Cabe destacar que *Saprolegnia* históricamente ha sido considerado un hongo perteneciente a la división Oomycota, pues presenta hifas (Muller y Loeffler, 1976), sin embargo, debido a las dificultades en su clasificación taxonómica, algunos autores la clasifican dentro del reino Chromista y otros dentro del reino Protista (Hulvey et al., 2007; Ke et al., 2009; Sandoval-Sierra et al., 2014). Para fines de este capítulo, *Saprolegnia* se considera un protozoario.

La infección por *Saprolegnia* es causa de muerte en etapas embrionarias y larvarias en anfibios. Este microorganismo invade las puestas de anfibios, formando una masa algodonosa alrededor de los huevecillos. Una vez en contacto con la puesta, este protozoario afecta la membrana vitelina y posteriormente el embrión o larva del anfibio en periodo de organogénesis, retrasando su desarrollo, induciendo la eclosión temprana y finalmente matándolo en la mayoría de los casos. Algunos anfibios afectados por este organismo son *Anaxyrus boreas*, *Pleurodema thaul*, *Rana cascadae*, *Rana aurora* y *Pseudacris regilla* (Blaustein et al., 1994; Kiesecker y Blaustein, 1999; Romansic et al., 2009; Perotti et al., 2013).

Parásitos

Los parásitos son organismos que viven encima o dentro de otro ser vivo (hospedero), a cuyas expensas obtiene ciertos privilegios y pueden clasificarse en accidentales, facultativos, incidentales, obligados, periódicos, sanguíneos y temporales. En general, la parasitología se enfoca en el estudio de protozoarios, helmintos y artrópodos y su relación con el hospedero, considerando

aspectos ecológicos, biomédicos, epidemiológicos y de salud pública (Becerril-Flores, 2014).

Desde el punto de vista de la conservación, los parásitos en anfibios deben ser ampliamente estudiados, ya que controlan poblaciones de estos animales, además de ser parte en procesos de coevolución, sin embargo, cuando existen factores antropogénicos que alteran los ciclos de vida del parásito, éstos pueden llevar a la extinción local de algunas especies. Se sugiere que la interacción anfibio-parásito debe ser abordada a través de un análisis de factor de riesgo, de la epidemiología espacial y molecular, de la medicina, biología y ecología experimental y de los modelos de transmisión y de dinámica de las enfermedades (Garner et al., 2012).

Un parásito asociado a anomalías macroscópicas en larvas de anfibios anuros es el trematodo *Ribeiroia ondatrae* (Johnson et al., 2002), el cual ocasiona una cantidad importante de anomalías (Tabla 1) (Johnson et al., 1999, 2001, 2002). Existen otras especies

de *Ribeiroia* (*congolensis* y *marini*), sin embargo, no hay estudios sobre su patogenicidad (Johnson et al., 1999).

Anomalías por factores ambientales

Radiación ultravioleta

Los rayos ultravioleta son aquellos que tienen una longitud de onda que va de los 100 a los 400 nm. La exposición crónica a esta radiación puede ocasionar daños a la salud (OMS, 2003). Larvas de *Lithobates pipiens* expuestas a diferentes magnitudes de radiación UV presentaron anomalías en dedos y extremidades completas, en algunos casos de forma bilateral y simétrica. También se han reportado lesiones en piel, ojos, cuerpo y extremidades en *Lithobates pipiens*, *L. clamitans*, *L. septentrionalis* y *L. catesbeianus* (Blaustein et al., 1997; Burkhart et al., 2000; Blaustein y Johnson, 2003).

Magnetismo

En 1969, Levengood expuso embriones de *Lithobates sylvaticus*

Anomalia:	Definición*:
Anoftalmia	Ausencia de uno o de ambos ojos
Hipoplasia mandibular	Mandíbula incompleta o subdesarrollada
Displasia mandibular	Detención localizada del desarrollo
Herida abierta	Lesión producida en los tejidos exteriores del cuerpo
Hemimelia	Deficiencia longitudinal de una extremidad, caracterizada por la ausencia total o parcial de un hueso
Micromelia/Braquimelia	Extremidad más corta de lo normal
Ectromelia	Ausencia o subdesarrollo de extremidades
Polimelia	Presencia de un número de extremidades mayor al normal
Taumelia	Anomalia en el plano óseo
Braquidactilia	Dedos desproporcionadamente cortos
Ectrodactilia	Ausencia de partes o de dedos completos
Polidactilia	Presencia de dedos extra o supernumerarios
Sindactilia	Fusión de dos o más dedos entre sí
Apodia	Ausencia congénita de uno o ambos pies
Polipodia	Presencia de pies supernumerarios
Hiperextensión de la extremidad	Extensión de un miembro o parte más allá de su límite normal
Proyección femoral	Apéndice parecido a un dedo que crece del tejido dorsal del fémur

Tabla 1. Anomalías macroscópicas ocasionadas por *Ribeiroia ondatrae* en larvas de *Pseudacris regilla*, *Anaxyrus boreas* y *Lithobates catesbeianus* *(Runnells et al., 1977; Smith y Jones, 1980; Blood y Studdert, 1993; Trigo-Tavera y Mateos-Poumián, 1993; Trigo-Tavera, 2006; Kumar et al., 2007; Pérez-Tamayo y López-Corella, 2007).

Table 1. Macroscopic anomalies caused by *Ribeiroia ondatrae* in larvae of *Pseudacris regilla*, *Anaxyrus boreas* and *Lithobates catesbeianus* *(Runnells et al., 1977; Smith y Jones, 1980; Blood y Studdert, 1993; Trigo-Tavera y Mateos-Poumián, 1993; Trigo-Tavera, 2006; Kumar et al., 2007; Pérez-Tamayo y López-Corella, 2007).

a dispositivos de sonda magnética (magnetismo), obteniendo como resultado individuos que al llegar a la etapa larvaria presentaron las siguientes anomalías: escoliosis (curvatura lateral de la columna), bradigenesis (crecimiento retardado), extremidades supernumerarias, anoftalmia (ausencia de un ojo), edema (acumulación de líquido en el cuerpo), abrasión (herida causada por fricción) y espina bífida (malformación congénita del tubo neural, en el cual hay un cierre defectuoso de los arcos vertebrales, a través del cual la médula espinal y las meninges pueden sobresalir [Blood y Studdert, 1993]). Según la OMS, las fuentes antropogénicas de radiaciones electromagnéticas las constituyen las antenas utilizadas para la transmisión de señales de televisión, de radio y de telefonía celular, por lo tanto, poblaciones de anfibios que habiten cerca de este tipo de estructuras, podrían verse afectadas.

Temperatura

Anfibios sometidos a estrés térmico también presentan anomalías. Por ejemplo, Elsdale et al. (1976) reportan que larvas de *Xenopus* que fueron puestas por diferentes periodos de tiempo en agua a 37°C sufrieron anomalías visibles en la segmentación de las somitas.

Depredación

Sessions y Ballengeé (2010) mencionan que los intentos de depredación por parte de larvas de libélulas hacia larvas de anfibios son también un factor que ocasiona anomalías, en este caso, la ausencia de una extremidad que fue arrancada de la larva del anfibio, dejándolo vulnerable a depredadores por la incapacidad de nadar correctamente, hecho que reportan a partir del análisis de poblaciones naturales de *Rana cascadae*.

Anomalías por exposición a contaminantes

La contaminación es la entrada, acumulación y aumento de una gran cantidad de sustancias que entran al ambiente o a un ser vivo y que sobrepasan la capacidad de éste para deshacerse de ellas, por lo que lo convierten en inseguro o en no apto para su uso (Senent, 1973; Orozco-Barrenetxea, 2003; Albert, 2008). Existen muchos tipos de contaminantes y en consecuencia muchos tipos de contaminación, por lo que también hay muchas maneras de medirla en los seres vivos. En esta sección se abordan dos tipos de contaminantes químicos, los interruptores endócrinos y los metales pesados. Dentro de las principales herramientas para medir la concentración, acumulación y efectos de contaminantes químicos en un ser vivo están la morfometría, la histoquímica y la espectroscopía. Puesto que este capítulo se enfoca en las anomalías macroscópicas, la herramienta más útil en este caso es la morfometría que puede ser de gran ayuda en estadios tempranos del desarrollo para conocer si determinado

contaminante ocasiona o no un cambio en el tamaño de una estructura anatómica o bien de todo el organismo (Severtsova et al., 2012a).

Interruptores endócrinos

Un interruptor endócrino es aquella sustancia química, ajena al organismo, capaz de alterar el equilibrio hormonal del individuo afectado, pudiendo ocasionar defectos durante el desarrollo (Gilbert y Epel, 2009). Estas sustancias pueden ser herbicidas, fungicidas, insecticidas, nematocidas o sustancias químicas de uso industrial como algunos metales, y debido a que son arrojados al ambiente se les puede encontrar en el aire, agua, suelo o alimentos (Colborn et al., 1993).

En 2003, Bevan et al, investigaron el efecto de los estrógenos ambientales a diferentes dosis en el desarrollo temprano de *Xenopus laevis*. Los autores encontraron individuos con curvatura de la espina, cola incompleta, con glándulas con forma de “pico de pollo” en la cabeza, somitas subdesarrolladas, abdomen hinchado y desprendimiento de la epidermis.

La Atrazina, 2-cloro-4-(etilamina)-6-(isopropilamina)-1,3,5-triazina, es un herbicida artificial ampliamente utilizado para controlar el crecimiento de malas hierbas en la agricultura, interfiriendo en el transporte de electrones durante el proceso de la fotosíntesis. Larvas de *X. laevis* que están en contacto con este producto químico desarrollan anomalías en las extremidades, intestinos y cabeza, además de daños en cerebro (Lenkowski et al., 2008).

El triclosán es un antibiótico y antimicótico usado en cosméticos, jabones, pastas dentales, desodorantes, enjuagues bucales y desinfectantes que actúa como interruptor endócrino y que afecta a larvas de *Pelophylax perezi* cuando entran en contacto con esta sustancia. Las larvas presentan retardo en el desarrollo ocular y en el desarrollo en general (Martins et al., 2017).

Metales pesados

No hay una definición universal de metales pesados, sin embargo, en general, se consideran metales pesados aquellos que tienen una densidad mayor a 5 g/ml, pero también aquellos que podrían causar daños en la salud de los organismos. Ejemplos de metales pesados son plomo (Pb), hierro (Fe), mercurio (Hg), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobalto (Co), arsénico (As) (metaloide), antimonio (Sb), níquel (Ni), zinc (Zn), cobre (Cu), plata (Ag), estaño (Sn), berilio (Be), bario (Ba), selenio (Se), manganeso (Mn), magnesio (Mg), talio (Tl), vanadio (V) y aluminio (Al) (Moreno-Sánchez y Devars, 1999).

Larvas de *Lithobates catesbeianus* que viven en cuerpos acuáticos contaminados con metales pesados como As, Cd, Cr, Cu y Se, además de cenizas de carbón, sufren de anomalías en la cavidad oral, impidiéndoles alimentarse adecuadamente. Las anomalías reportadas son ausencia de algunos dientes y anomalías en las papilas labiales (Rowe et al., 1996). En 1998, Burkhart et al. hicieron un estudio exhaustivo, en el cual tomaron muestras de agua de varios lagos de Minnesota, Estados Unidos, y vieron la capacidad de esta agua de generar anomalías en embriones y larvas de *X. laevis*. Los análisis químicos del agua mostraron que contenía una gran cantidad de metales pesados (Al, Sb, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mn, Mg, Hg, Ni, Se, Ag, Zn, Tl y V), además de otros metales como calcio (Ca), potasio (K) y sodio (Na). Registraron anomalías en ojos, cara, cerebro, notocorda, cola e intestinos, además de edema, subdesarrollo general,

hiperplasia, evisceración e hipognatia (mandíbula inferior subdesarrollada).

La contaminación por plomo es un problema mundial, ya que el plomo es un metal natural, sin rol biológico conocido, y un contaminante muy común, del cual 4 millones de toneladas métricas se usan cada año para fabricar baterías, aleaciones, municiones, pigmentos, entre otras cosas, además, el plomo tiende a bioacumularse en el organismo causando daños en el sistema nervioso, circulatorio, renal y reproductivo (Eisler, 2000). Se ha demostrado que el contacto con plomo ocasiona anomalías esqueléticas en larvas de *Lithobates sphenoccephalus*, tales como acortamiento de huesos como el fémur y el húmero, escoliosis (desviaciones laterales de la columna), clinodactilia (dedos deformes o retorcidos), braquimelia y ectromelia

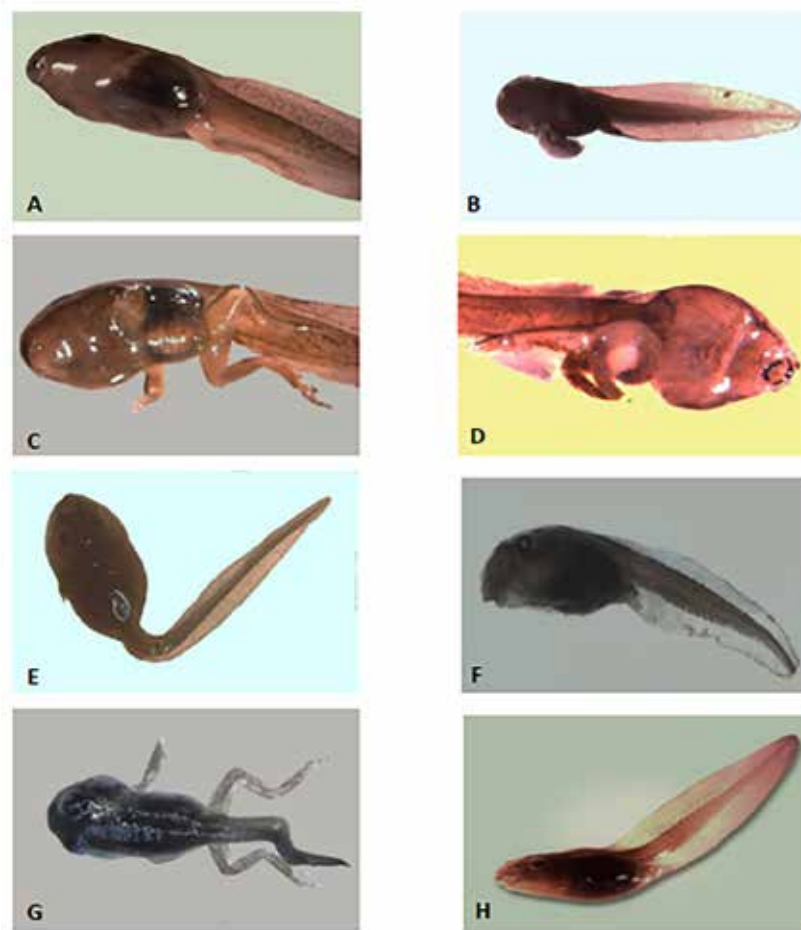


Figura 1. Anomalías en larvas de *Rana arvalis*. A, C) Ausencia de extremidades. B, D) Intestinos fuera de la cavidad abdominal. E, G) Curvatura lateral de la cola. F, H) Curvatura dorso-ventral de la espina (Tomado de Aguillón-Gutiérrez, 2012).

Figure 1. Anomalies in larvae of *Rana arvalis*. A, C) Absence of limbs. B, D) Bowels outside the abdominal cavity (gastroschisis). E, G) Lateral curvature of the tail. F, H) Dorso-ventral curvature of the spine (Taken from Aguillón-Gutiérrez, 2012).

(Sparling et al., 2006).

Aguillón-Gutiérrez (2012) reporta diversas anomalías en larvas de *Rana arvalis* que fueron expuestas a plomo y hierro (6 g/l cada metal). Las anomalías registradas fueron la ausencia de la extremidad posterior izquierda (Fig. 1A), la ausencia de la extremidad anterior izquierda (Fig. 1C), intestinos fuera de la cavidad abdominal (vista lateral) (Fig. 1B), intestinos fuera de la cavidad abdominal (vista ventral) (Fig. 1D), curvatura en la base de la cola (Fig. 1E), curvatura en la parte media de la cola (Fig. 1G), curvatura de la espina en dirección ventral (Fig. 1F) y curvatura de la espina en dirección dorsal (Fig. 1H).

En la ciudad de Moscú, Rusia, y en sus alrededores se analizaron larvas de *Rana temporaria* y de *R. arvalis* que se desarrollaron en ambientes contaminados por metales pesados. En ellas se encontraron una gama muy diversa de anomalías y diferentes combinaciones de éstas. Estas larvas presentaron curvatura de la espina, desarrollo lento, daños en la piel, edema, desordenes de la pigmentación y anomalías en agallas. Cabe

mencionar que algunos individuos tuvieron varias anomalías, y en ocasiones no era posible distinguir cada una de ellas (Severtsova et al., 2012b). Larvas de *Bufo bufo* y de *R. temporaria* que fueron puestas en contacto con plomo y hierro, mostraron una coloración gris y rojiza respectivamente de las vísceras, en particular del intestino, condición que puede ser observada macromorfológicamente (Severtsova et al., 2013). En el caso de larvas de *R. temporaria*, *R. arvalis* y *B. bufo* que igualmente fueron puestas en contacto con plomo y hierro, se observó que algunos individuos mostraron un desarrollo lento y en promedio alcanzaron un menor tamaño a los individuos del grupo control (Severtsova y Aguillón-Gutiérrez, 2013).

Aguillón-Gutiérrez y Ramírez-Bautista (2015) realizaron un bioensayo en el cual colocaron larvas de *Dryophytes plicatus* en contacto con agua sin metales pesados (grupo control), donde la mayoría de los individuos resultaron sin anomalía alguna (Fig. 2A), y en contacto con agua con metales pesados (plomo y hierro a una concentración de 3.7 g/l cada metal) (grupos experimentales), donde se observaron las siguientes anomalías

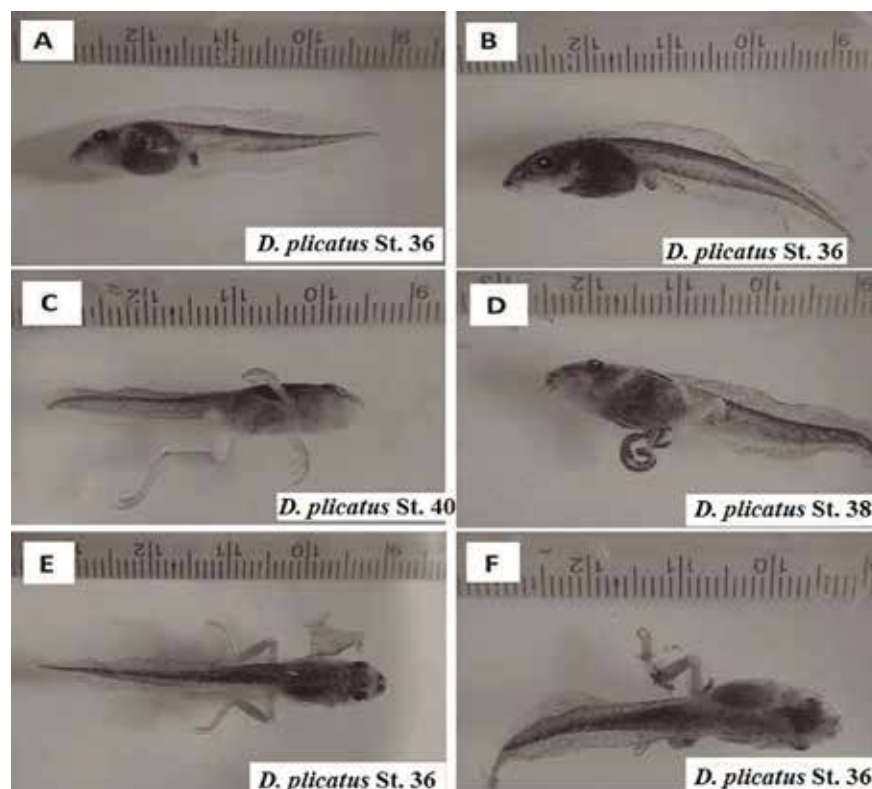


Figura 2. Larvas de *Dryophytes plicatus* A) Individuo normal, B) Curvatura de la espina, C) Ausencia de la extremidad posterior derecha, D) Intestinos fuera de la cavidad abdominal, E) Anomalía cutánea, desprendimiento de piel, F) Anomalía en la pigmentación. Tomado de Aguillón-Gutiérrez y Ramírez-Bautista (2015).

Figure 2. Larvae of *Dryophytes plicatus* A) Normal individual, B) Curvature of the spine, C) Absence of the right hind limb, D) Intestines outside the abdominal cavity, E) Cutaneous anomaly, skin detachment, F) Abnormality in pigmentation. Taken from Aguillón-Gutiérrez and Ramírez-Bautista (2015).

en algunos de los individuos: curvatura de la espina (Fig. 2B), ausencia de extremidades (Fig. 2C), intestinos fuera de la cavidad abdominal (Fig. 2D), así como anomalías cutáneas (Fig. 2E) y de la pigmentación (Fig. 2F).

El cromo es un metal pesado tóxico usado en la industria de la peletería, del cemento, de los pigmentos y de los preservadores de madera. Los efectos del cromo en animales incluyen retraso en el crecimiento y en el desarrollo, efectos hematológicos, histológicos, genotóxicos y la muerte. Larvas del sapo común asiático *Duttaphrynus melanostictus* que fueron expuestas a cromo presentaron retraso en el crecimiento, cifosis (curvatura de la columna en un plano dorso-ventral) y escoliosis (Fernando et al., 2016).

Anomalías por exposición a factores desconocidos

Anomalía P

Rostand y Tetry (1972) investigaron larvas de anfibios con una anomalía a la cual llamaron “P”. Esta anomalía es un síndrome polimórfico que afecta ranas paleárticas del género *Pelophylax*. Esta condición es en realidad un conjunto de anomalías entre las cuales se encuentran la polidactilia, la braquimelia, tumores inguinales, excrecencias óseas y polimelia. Al parecer no existen factores genéticos involucrados en esta anomalía, ni ha sido comprobado que la cause un organismo infeccioso o algún factor ambiental (Rostand y Tetry, 1972; Dubois, 2017).

Síndrome de miembros débiles

Aguilar et al. (2005) reportaron un síndrome llamado “Síndrome de los miembros débiles” en larvas de anuros de las familias Dendrobatidae e Hylidae criadas en cautiverio. En este síndrome las extremidades son muy delgadas, por lo que no son funcionales y limitan el movimiento de los renacuajos. Los autores mencionan que la probable etiología son factores nutricionales.

CONCLUSIONES

Como se pudo apreciar a lo largo del presente artículo, las anomalías macroscópicas en larvas de anfibios anuros tienen diversas etiologías y son muy variadas en cuanto su efecto en el individuo y en cuanto a la estructura morfológica que afectan. Algunas anomalías probablemente no tienen solamente una etiología, sino una combinación de factores que las propicia, por ejemplo, factores genéticos, ambientales, infecciosos o antrópicos (contaminación). También existen anomalías cuya etiología es desconocida, por lo que se debe hacer un esfuerzo por investigar sus causas. Son aun relativamente pocas especies

de anuros las estudiadas desde este aspecto que combina áreas como la herpetología, ecología, embriología (biología del desarrollo), morfología, ecotoxicología y patología. Conocer las anomalías que presentan los anuros en etapas tempranas del desarrollo, puede ser de ayuda significativa en los programas de conservación para estas especies, pues gran parte de la mortalidad en este grupo biológico se da precisamente en estas etapas. Es importante mencionar también la relevancia que tiene lo anfibios como bioindicadores de la calidad y salud ambiental, pues por sus características biológicas, son particularmente vulnerables a alteraciones en su medio. Otro aspecto a destacar es el uso que se le da a los anfibios como modelos de investigación biomédica y ecotoxicológica, pues al ser vertebrados permiten un conocimiento más profundo de anomalías y patologías del desarrollo, sin la necesidad de experimentar con vertebrados superiores. Sin duda, un entendimiento mejor de las anomalías en anfibios, sus causas y sus efectos, nos ayudará a tener un panorama más amplio de la naturaleza de estos organismos, de sus historias de vida, de sus dinámicas poblacionales, de su interacción con otros seres vivos, y del impacto, que nosotros como seres humanos hemos tenido sobre ellos.

Acknowledgements.— Al Laboratorio de Ontogénesis Evolutiva del Departamento de Biología Evolutiva de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Estatal de Moscú M. V. Lomonosov. Al Dr. Aurelio Ramírez Bautista y a todo su equipo de trabajo del Laboratorio de Ecología de Poblaciones del Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Al CONACYT por la beca otorgada durante el postdoctorado.

El número de permiso de colecta para el caso de *Hyla plicata* (*Dryophytes plicatus*) es el siguiente: SGPA/DGVS/02419/13.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, R., S.M. Hernández-Divers, y S.J. Hernández-Divers. 2005. Atlas de medicina, terapéutica y patología de animales exóticos. Intermédica. Buenos Aires, Argentina.
- Aguillón-Gutiérrez, D. R. 2012. Investigación sobre la influencia de contaminación antropogénica en cuerpos acuáticos de desove en el desarrollo postembrionario de tres especies de anfibios anuros. Tesis de doctorado. Universidad Estatal de Moscú M. V. Lomonosov, Moscú, Rusia.
- Aguillón-Gutiérrez, D.R. 2018. Anfibios en ambientes antropizados.

- Pp: 373–390. En: A. Ramírez-Bautista y R. Pineda-López (Eds.), Ecología y conservación de fauna en ambientes antropizados. REFAMA. Querétaro, México.
- Aguillón-Gutiérrez, D.R., D. Lazcano-Villarreal, R. Ramírez-Romero, A. Aguirre-Ramos, J.J. Zarate-Ramos, y A. Wong-González. 2007. Bacterias cloacales y evaluación física de la herpetofauna del Parque Ecológico Chipinque. *Ciencia UANL* 10:168–174.
- Aguillón-Gutiérrez, D.R. y A. Ramírez-Bautista. 2015. Anomalías frecuentes en una población de *Hyla plicata* (Anura: Hylidae) expuesta a plomo y hierro durante el desarrollo postembrionario. *Biocyt* 8:515–529.
- Albert, L.A. 2008. Curso básico de toxicología ambiental. Limusa. Ciudad de México, México.
- Allentoft, M.E. y J. O'Brien. 2010. Global amphibian declines, loss of genetic diversity and fitness: a review. *Diversity* 2:47–71.
- Balinsky, B.I. 1978. Introducción a la embriología. Omega. Barcelona, España.
- Becerril-Flores, M.A. 2014. Parasitología médica. 4ª edición. McGrawHill. Ciudad de México, México.
- Bevan, C.L., D.M. Porter, A. Prasad, M.J. Howard, y L.P. Henderson. 2003. Environmental estrogens alter early development in *Xenopus laevis*. *Environmental Health Perspectives* 111:488–496.
- Blaustein, A.R., D.G. Hokit, y R.K. O'Hara. 1994. Pathogenic fungus contributes to amphibian losses in the Pacific Northwest. *Biological Conservation* 67:251–254.
- Blaustein, A.R., y P.T.J. Johnson. 2003. The complexity of deformed amphibians. *Frontiers in Ecology and Environment* 1:87–94.
- Blaustein, A.R., J.M. Kiesecker, D.P. Chivers, y R.G. Anthony. 1997. Ambient UV-B radiation causes deformities in amphibian embryos. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 94:13735–13737.
- Blaustein, A.R., J.M. Romansic, E.A. Scheessele, B.A. Han, A.P. Pessier, y J.E. Longcore. 2005. Interspecific variation in susceptibility of frog tadpoles to the pathogenic fungus *Batrachochytrium dendrobatidis*. *Conservation Biology* 19:1–9.
- Blaustein, A.R. y D.B. Wake. 1995. The puzzle of declining amphibian populations. *Scientific American* 272:52–57.
- Blood, D.C. y V.P. Studdert. 1993. Diccionario de veterinaria. Interamericana-McGraw-Hill. Madrid, España.
- Bradford, D.F. 1991. Mass mortality and extinction in a high-elevation population of *Rana muscosa*. *Journal of Herpetology* 25:174–177.
- Burkhart, J.G., G. Ankley, H. Bell, H. Carpenter, D. Fort, D. Gardiner, H. Gardner, R. Hale, J.C. Helgen, P. Jepson, D. Johnson, M. Lannoo, D. Lee, J. Lary, R. Levey, J. Magner, C. Meteyer, M.D. Shelby, y G. Lucier. 2000. Strategies for assessing the implications of malformed frogs for environmental health. *Environmental Health Perspectives* 108:83–90.
- Burkhart, J.G., J.C. Helgen, D.J. Fort, K. Gallagher, D. Bowers, T.L. Propst, M. Gernes, J. Magner, M.D. Shelby, y G. Lucier. 1998. Induction of mortality and malformation in *Xenopus laevis* embryos by water sources, associated with field frog deformities. *Environmental Health Perspectives* 106:841–848.
- Carter, G.R., y M.M. Chengappa. 1994. Bacteriología y micología veterinarias: Aspectos esenciales. 2ª edición. Manual Moderno. Ciudad de México, México.
- Cogger, H.G. y R.G. Zweifel. 1992. Reptiles y anfibios. Lunwergr. Barcelona, España.
- Colborn T., F.S. Saal y Soto A.M. 1993. Developmental effects of endocrine disrupting chemicals in wildlife and humans. *Environmental Health Perspectives*. 101:378–394.
- Crump, M.L. y L.O. Rodríguez. 2001. Los anfibios están desapareciendo de América Latina. Pp. 170–171. En R. Primack, R. Rozzi, P. Feinsinger, R. Dirzo y F. Massardo (Eds.), *Fundamentos de conservación biológica. Perspectivas latinoamericanas*. Fondo de Cultura Económica. Ciudad de México, México.
- Cruz-Elizalde, R., A. Ramírez-Bautista, D.R. Aguillón-Gutiérrez, I. Magno-Benítez, y R. Hernández-Austria. 2017. Principales amenazas para la biodiversidad y perspectivas para su manejo y conservación en el estado de Hidalgo: El caso de los anfibios y reptiles. Pp. 577–590 En: A. Ramírez-Bautista, A. Sánchez-González, G. Sánchez-Rojas, y C. Cuevas-Cardona. *Biodiversidad del Estado de Hidalgo Tomo II*. UAEH. Hidalgo, México.
- Dabagyan, N.V. y L.A. Sleptzova. 1975. Common frog (*Rana temporaria* L.). Pp. 442–462. En Astaurov B.L. (Ed.), *Modelos en*

- biología del desarrollo. Nauka. Moscú, Rusia. (En ruso).
- Daszak, P., L. Berger, A.A. Cunningham, A.D. Hyatt, D.E. Green, y R. Speare. 1999. Emerging infectious diseases and amphibian population declines. *Emerging Infectious Diseases* 5:735–748
- Dubois, A. 2017. Rostand's anomaly P in Palaearctic green frogs (Pelophylax) and similar anomalies in amphibians. Pp. 49–56. En: K. Henle, y A. Dubois (Eds.), *Studies on anomalies in natural populations of amphibians*. Mertensiella 25: 9–48. Frankfurt, Alemania.
- Ellinger, M.S. 1980. Genetic and experimental studies on a pigment mutation, Pale (Pa), in the frog, *Bombina orientalis*. *Journal of Embryology and Experimental Morphology* 56:125–137.
- Elsdale, T., M. Pearson, y M. Whitehead. 1976. Abnormalities in somite segmentation following heat shock to *Xenopus* embryos. *Journal of Embryology and Experimental Morphology* 35:625–635.
- Emerson, H. y C. Norris. 1905. Red leg, an infectious disease of frogs. *Journal of Experimental Medicine* 7:32–58.
- Eisler R. 2000. Handbook of chemical risk assessment health hazards to humans, plants and animals. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 51:458–466.
- Fernando, V.A., J. Weerasena, G.P. Lakrai, I.C. Perera, C.D. Dangalle, S. handunnetti, S. Premawansa, M.R. Wijesinghe. 2016. Lethal and sub-lethal effects on the Asian common toad *Duttaphrynus melanostictus* from exposure to hexavalent chromium. *Aquatic Toxicology* 177:98–105.
- Frost, D.R. 2017. *Amphibian Species of the World: an Online Reference*. Version 6.0. <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html>. American Museum of Natural History, New York, USA. [Consultado el 31 de enero de 2018].
- Garner, T.W.J., C.J. Briggs, J. Bielby, y M.C. Fisher. 2012. Determining when parasites of amphibians are conservation threats to their hosts: Methods and perspectives. Pp. 521–537. En: A.A. Aguirre, R.S. Ostfeld, y P. Daszak (Eds.) *New directions in conservation medicine. Applied cases of ecological health in practice*. Oxford. New York, USA.
- Gilbert, S.F. 2000. *Developmental biology*, 6th edition. Sinauer. Massachusetts, USA.
- Gilbert, S.F. y D. Epel. 2009. *Ecological developmental biology: Integrating epigenetics, medicine and evolution*. Sinauer. Massachusetts, USA.
- Gosner, K.L. 1960. A Simplified Table for Staging Anuran Embryos and Larvae with Notes on Identification. *Herpetologica* 16:183–190.
- Gratzek, J.B. 1980. Características generales de los virus. Pp. 585–598. En: I.A. Merchant, y R.A. Packer (Eds.) *Bacteriología y virología veterinarias*. Editorial Acribia. 3ª edición. Zaragoza, España.
- Gray M.J. y V.G Chinchar. 2015. *Ranaviruses. Lethal pathogens of ectothermic vertebrates*. Springer. Heidelberg, Alemania.
- Gray, M.J., D.L. Miller, y J.T. Hoverman. 2009. Ecology and pathology of amphibian Ranaviruses. *Diseases of Aquatic Organisms* 87:243–266.
- Griffiths, A.J.F., J.H. Miller, D.T. Suzuki, R.C. Lewontin, y W.M. Gelbart. 1998. *Genética*. 5ª edición. McGrawHill-Interamericana. 1998. Madrid, España.
- Halliday, T. y K. Adler. 2007. *La gran enciclopedia de los anfibios y reptiles*. Libsa. Madrid, España.
- Henle, K., A. Dubois, y V. Vershinin. 2017. Commented glossary, terminology and synonymies of anomalies in natural populations of amphibians. Pp. 9–48. En: K. Henle, y A. Dubois (Eds.), *Studies on anomalies in natural populations of amphibians*. Mertensiella 25: 9–48. Frankfurt, Alemania.
- Henle, K., B. Mester, S. Lengyel y M. Puky. 2012. A review of a rare type of anomaly in amphibians, tail duplication and bifurcation, with description of three new cases in European species (*Triturus dobrogicus*, *Triturus carnifex* and *Hyla arborea*). *Journal of Herpetology* 46:451–455.
- Hird, D.W., S.L. Diesch, R.G. McKinnell, E. Gorham, F.B. Martin, S.W. Kurtz, y C. Dubrovlny. 1981. *Aeromonas hydrophila* in wild-caught frogs and tadpoles (*Rana pipiens*) in Minnesota. *Laboratory Animal Science* 31:166–169.
- Hird, D.W., S.L. Diesch, R.G. McKinnell, E. Gorham, F.B. Martin, C.A. Meadows, y M. Gasiorowski. 1983. *Enterobacteriaceae* and *Aeromonas hydrophila* in Minnesota frogs and tadpoles (*Rana pipiens*). *Applied and Environmental Microbiology* 46:1423–1425.

- Hulvey, J.P., D.E. Padgett, y J.C. Bailey. 2007. Species boundaries within Saprolegnia (Saprolegniales, Oomycota) based on morphological and DNA sequence data. *Mycologia* 99:421–429.
- Johnson, P.T.J., K.B. Lunde, E.G. Ritchie, y A.E. Launer. 1999. The effect of trematode infection on amphibian limb development and survivorship. *Science* 284:802–804.
- Johnson, P.T.J., K.B. Lunde, E.G. Ritchie, J.K. Reaser y A.E. Launer. 2001. Morphological abnormality patterns in a California amphibian community. *Herpetologica* 57:336–352.
- Johnson, P.T.J., K.B. Lunde, M. Thurman, E.G. Ritchie, S.N. Wray, D.R. Sutherland, J.M. Kapfer, T.J. Frest, J. Bowerman y A.R. Blaustein. 2002. Parasite (Ribeiroia ondatrae) infection linked to amphibian malformations in the western United States. *Ecological Monographs* 72:151–168.
- Kamaraj B. y R. Purohit. 2014. Mutational analysis of oculocutaneous albinism: A compact review. *Bio Med research International* 1–10.
- Ke, X.L., J.G. Wang, Z.M. Gu., M. Li, y X.N. Gong. 2009. Morphological and molecular phylogenetic analysis of two Saprolegnia sp. (Oomycetes) isolated from silver crucian carp and zebra fish. *Mycological Research* 113:637–644.
- Kiesecker, J.M. y A.R. Blaustein. 1999. Pathogen reverses competition between larval amphibians. *Ecology* 80:2442–2448.
- Kumar, V., A.K. Abbas, y N. Fausto. 2007. Robbins y Cotran Patología estructural y funcional. 7ª edición. Elsevier. Madrid, España.
- Langman, J. 1976. Embriología médica. Interamericana. Ciudad de México, México.
- Lenkowski, J.R., J.M. Reed, L. Deininger, y K.A. McLaughlin. 2008. Perturbation of organogenesis by the herbicide atrazine in the amphibian Xenopus laevis. *Environmental Health Perspectives* 116:223–230.
- Levengood, W.C. 1969. A new teratogenic agent applied to amphibian embryos. *Journal of Embryology and Experimental Morphology* 21:23–31.
- Martins, D., M.S. Monteiro, A.M.V.M. Soares, y C. Quintaneiro. 2017. Effects of 4-MBC and triclosan in embryos of the frog Pelophylax perezi. *Chemosphere* 178:325–332.
- McDiarmid, R.W. y R. Altig. 1999. Tadpoles: The biology of anuran larvae. The University of Chicago press. Chicago, USA.
- Merchant, y R.A. Packer (Eds.) Bacteriología y virología veterinarias. Editorial Acribia. 3ª edición. Zaragoza, España.
- Miller, D., M. Gray, y A. Storfer. 2011. Ecopathology of Ranaviruses infecting amphibians. *Viruses* 3:2351–2373.
- Mohanty, S.B. y S.K. Dutta. 1988. Virología veterinaria. Interamericana. Ciudad de México, México.
- Moore, K.L. y T.V.N. Persaud. 1999. Embriología clínica. 6a edición. Mgraw Hill-Interamericana. Ciudad de México, México.
- Moreno-Sánchez, R. y S. Devars. 1999. Abundancia de los metales pesados en la biosfera. Pp. 1–10. En: C. Cervantes, y R. Moreno-Sánchez (Eds). Contaminación ambiental por metales pesados: Impacto en los seres vivos. AGT. Ciudad de México, México.
- Muller, E. y W. Loeffler. 1976. Micología, manual para naturalistas y médicos. Omega. Barcelona, España.
- Nieuwkoop, P.D. y J. Faber. 1956. Normal table of Xenopus laevis (Daudin): A systematical and chronological survey of the development from the fertilized egg till the end of metamorphosis. North-Holland, Amsterdam.
- Organización Mundial de la Salud. 2003. Índice UV solar mundial: Guía práctica. Documento PDF.
- Organización Mundial de la Salud. Página de internet: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatIsEMF/en/>. Consultada en mayo de 2018.
- Orozco-Barrenetxea, C., A. Pérez-Serrano, M.N. González-Delgado., F.J. Rodríguez-Vidal, y J.M. Alfayate-Blanco. 2003. Contaminación ambiental: Una visión desde la química. Thomson. Madrid, España.
- Pérez-Tamayo, R. y E. López-Corella. 2007. Principios de patología. 4ª edición. Panamericana. Ciudad de México, México.
- Perotti, M.G., Basanta M.D., Steciow M.M., Sandoval-Sierra J.V., y Diéguez-Urbeondo J. 2013. Early beeding protects anuran eggs from Saprolegnia infection. *Austral Ecology* 38:672–679.
- Romansic, J.M., K.A. Diez., E.M. Higashil, J.E. Johnson, y A.R. Blaustein. 2009. Effects of the pathogenic water mold Saprolegnia ferax on survival of amphibian larvae. *Diseases of Aquatic Organisms* 83:187–193.

- Rostand, J. y A. Tetry. 1972. La vida. Labor. Barcelona, España.
- Rowe, C.L., O.M. Kinney., A.O. Fiori, y J.D. Congdon. 1996. Oral deformities in tadpoles (*Rana catesbeiana*) associated with coal ash deposition: effects on grazing ability and growth. *Freshwater Biology* 36:723–730.
- Runnells, R.A., W.S. Monlux, y A.W. Monlux. 1977. Principios de patología veterinaria: Anatomía patológica. CECSA. Ciudad de México, México.
- Sandoval-Sierra, J.V., M.P. Martín, y J. Diéguez-Urbeondo. 2014. Species identification in the genus *Saprolegnia* (Oomycetes): Defining DNA-based molecular operational taxonomic units. *Fungal Biology* 118:559–578.
- Senent, J. 1973. La Contaminación. Salvat. Navarra, España.
- Sessions, S.K. y B. Ballengée. 2010. Developmental deformities in amphibians. Pp. 62–71. En: B. Ballengée (Ed.), *Malamp: The occurrence of deformities in amphibians*. Arts catalyst. London and Yorkshire sculpture park. Wakefield, England
- Severtsova, E.A. y D.R. Aguillón-Gutiérrez. 2013. Postembryonic development of anurans in ponds littered with metal-containing refuse (simulation experiments). *Biology Bulletin* 40:738–747.
- Severtsova, E.A., D.R. Aguillón-Gutiérrez y A.S. Severtsov. 2012a. Morphometry as a method of studying adaptive regulation of embryogenesis in polluted environments. Pp. 555–572. En K.I. Sato (Ed.), *Embryogenesis*. InTech. Croacia.
- Severtsova, E.A., D.R. Aguillón-Gutiérrez, y A.S. Severtsov. 2012b. Frequent anomalies in larvae of common and moor frogs in Moscow area and in the Suburbs of Moscow, Russia. *Russian Journal of Herpetology* 19:337–348.
- Severtsova, E.A., A.I. Nikiforova, y D.R. Aguillón-Gutiérrez. 2013. Spectrochemical and histochemical analyses of tissues of grass frog and gray toad tadpoles developing under simulation of pollution by plumbum and ferrum. *Moscow University Biological Sciences Bulletin* 68:186–191.
- Scherff-Norris K.L., L.J. Livo, A. Pessier, C. Fetkavich, M. Jones, M. Kombert, A. Goebel, y B. Spencer. 2002. *Boreal toad husbandry manual*. USA.
- Sinnott E.W., L. C. Dunn y Dobzhansky T. 1961. Principios de genética. Barcelona, España.
- Smith, H.A. y T.C. Jones. 1980. Patología veterinaria. UTEHA. Ciudad de México, México.
- Sparling, D.W., S. Krest, y M. Ortiz-Santaliestra. 2006. Effects of Lead-Contaminated Sediment on *Rana sphenoccephala* Tadpoles. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 51:458–466.
- Stuart, S.N., J.S. Chanson, N.A. Cox, B.E. Young, A.S. Rodrigues, D.L. Fischman y R.W. Waller. 2004. Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science* 306:1783–1786.
- Thompson M.W., McInnes R.R. y Willard H.F. 1996. Genética en medicina. Masson. Ciudad de México, México.
- Tiberti, R. 2011. Widespread bacterial infection affecting *Rana temporaria* tadpoles in mountain areas. *Acta Herpetologica* 6:1–10.
- Trigo-Tavera, F.J. 2006. Patología sistémica veterinaria. McGraw-Hill-Interamericana. Ciudad de México, México.
- Trigo-Tavera, F.J. y A. Mateos-Poumián. 1993. Patología general veterinaria. 2ª edición. Interamericana-McGraw-Hill. Ciudad de México, México.
- Vázquez-Cervantes, S. 1999. Protozoarios de importancia médica y veterinaria. Universidad Autónoma de Chapingo. Ciudad de México, México.
- Vershinin, V.L. 1989. Morphological abnormalities of amphibians of the urban environment. *Russian Journal of Ecology* 3:58–65.
- Vosjoli, P. 2004. Popular amphibians. Herpetocultural library. Singapore.
- Wells, K.D. 2007. The ecology and behavior of amphibians. The University of Chicago Press. Chicago, USA.
- Williams, D.L. 1997. Dermatología en anfibios. Pp. 1484–1487. En: J.D. Bonagura Kirk terapéutica veterinaria de pequeños animales XII. McGrawHill-Interamericana. Ciudad de México, México.
- Williams, D.L. 1999. Anfibios. Pp. 293–304. En: P.H. Beynon y J.E. Cooper (Eds.), *Manual de animales exóticos*. Ediciones S. Barcelona, España.
- Wright K.N. y B.R. Whitaker. 2001. *Amphibian Medicine and Captive Husbandry*. Krieger. USA.

Young, B.E., K.R. Lips, J.K. Reaser, R. Ibañez, A.W. Salas, J.R. Cedeño, L.A. Coloma, S. Ron, E.L. Marca, J.R. Meyer, A. Muñoz, F. Bolaños, G. Chavez y D. Romo. 2001. Population declines and priorities for amphibian conservation in Latin America. *Conservation Biology* 15:1213–1223.

GLOSARIO

Es importante mencionar que no existe una clasificación universal de las anomalías, que un gran número de ellas aún no tiene una causa conocida y que muchas otras se considera que tienen causas multifactoriales (Moore y Persaud, 1999).

Terminología básica (Langman, 1976; Moore y Persaud, 1999):

Teratología: Es la ciencia encargada del estudio de las causas, mecanismos y patrones del desarrollo anormal.

Dismorfología: Área de la genética clínica que se encarga del diagnóstico e interpretación de patrones de defectos estructurales.

Anomalía congénita: (Congenitus, nacido con) Anormalidad estructural macroscópica. Se dividen en malformaciones, desorganización, deformaciones y displasia.

Malformación: Defecto morfológico de un órgano, parte de éste o región mayor del cuerpo que resulta de un proceso de desarrollo intrínsecamente anormal.

Desorganización: Defecto morfológico de un órgano, parte de éste o región mayor del cuerpo, que resulta de una alteración extrínseca del proceso de desarrollo normal. No es hereditaria.

Deformación: Forma, aspecto o posición anormal de una parte del cuerpo que resulta de fuerzas mecánicas.

Displasia: Organización anormal de las células y de tejidos, y de su resultado morfológico.

Herencia multifactorial: Anomalías congénitas que dependen de factores genéticos y ambientales que actúan en conjunto.



BORRELIA SPP. ASOCIADAS CON ANFIBIOS Y REPTILES: HOSPEDEROS Y DISTRIBUCIÓN MUNDIAL

BORRELIA SPP. ASSOCIATED TO AMPHIBIANS AND REPTILES: HOSTS AND GLOBAL DISTRIBUTION

PABLO COLUNGA-SALAS¹, Y. CAMILO BETANCUR-GARCÉS^{2*}, LETICIA M. OCHOA-OCHOA³, CARMEN GUZMÁN-CORNEJO⁴, SOKANI SÁNCHEZ-MONTES¹ E INGEBORG BECKER^{1*}

¹Centro de Medicina Tropical, Unidad de Investigación en Medicina Experimental, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México 04510, México.

²Laboratorio de Parasitología Especial, Unidad de Diagnóstico, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín 050034, Colombia.

³Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera", Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México 04510, México.

⁴Laboratorio de Acarología, Departamento de Biología Comparada, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México 04510, México.

de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Av. Universidad S/N, Fracc. Filadelfia, 35010 Gómez Palacio, Durango, México

*Correspondence author: ycamilo.betancur@udea.edu.co

Abstract.— Genus *Borrelia* is a group of bacteria transmitted by ticks, composed by three main clades, the Relapsing Fever, Lyme Borreliosis, and *Borrelia* Associated with Reptiles groups. Given the importance in public health of some species of *Borrelia*, the aim of this study was to explain the role of amphibians and reptiles in the cycle of this bacterium, through the analysis of published works on *Borrelia* associated with reptiles and their ticks. So far, 25 reptiles and only one amphibian species have been reported as hosts of seven *Borrelia* species, primarily from the Lyme Borreliosis group. Additionally, 11 species of ticks associated with 18 species of reptiles have been positive for the 7 species of *Borrelia*. Geographically, the records of *borrelia* associated with reptiles are concentrated in Europe and E.U.A. These records show a close association with areas where human cases have been reported. Despite the importance of reptiles in the *Borrelia* sylvatic cycle, the role of some species of reptiles as hosts remains in doubt, since it has been observed that complement system has a borrelicidal effect, so its zooprophylactic paper could be used to generate new drugs. We highlight the importance of forming interdisciplinary groups to increase the knowledge of amphibians and reptiles as hosts of *Borrelia* and its role in the cycle of this bacteria.

Keywords.— borreliosis, Lyme disease, ticks, vector-borne diseases, zoonotic diseases.

Resumen.— El género *Borrelia* es un grupo de bacterias transmitidas por garrapatas, el cual está compuesto por tres clados principales, el de Fiebre Recurrente, el de Borreliosis de Lyme y las *Borrelias* Asociadas con Reptiles. Dada la importancia en salud pública de algunas especies de *Borrelia*, el objetivo fue explicar el papel de los anfibios y reptiles en el ciclo de esta bacteria, a través del análisis de los trabajos publicados sobre *borrelias* asociadas con reptiles y sus garrapatas. Hasta el momento, 25 especies de reptiles y sólo una de anfibio han sido reportadas como hospederos de siete especies de *borrelias*, principalmente del grupo de borreliosis de Lyme. Por otro lado, 11 especies de garrapatas asociadas con 18 especies de reptiles han sido positivas para las 7 especies de *Borrelia*. Geográficamente, los reportes de *borrelias* asociadas con reptiles se concentran en Europa y E.U.A. Los registros presentan una asociación estrecha con las zonas donde se han reportado casos humanos. A pesar de la importancia de los reptiles en ciclo selvático de *Borrelia*, el papel de algunas especies de reptiles como hospederos sigue en duda, ya que se ha observado que el sistema del complemento tiene un efecto borrelicida, por lo que es probable que dichas especies tengan un papel zooprofiláctico y puedan ser utilizadas como modelos para generar nuevos fármacos. Resalta la importancia de formar grupos interdisciplinarios para aumentar el conocimiento de los anfibios y reptiles como hospederos de *Borrelia* y su papel en el ciclo de dicha bacteria.

Palabras clave.— borreliosis, Enfermedad de Lyme, garrapatas, enfermedades transmitidas por vector, enfermedades zoonóticas.

INTRODUCCIÓN

El género *Borrelia* es un grupo de bacterias helicoidales transmitidas tanto al humano como a animales silvestres por artrópodos hematófagos. Este género se divide filogenéticamente en tres clados principales: 1) el grupo FR, en el que se incluye al agente causal de la Fiebre Recurrente (*Borrelia recurrentis*), 2) el grupo BL, en el que se ubican las borrelias causantes de la Borreliosis de Lyme [BL] (*Borrelia burgdorferi* s.l.) y 3) el que comprende a aquellas borrelias asociadas con reptiles (BAR) [Fig. 1] (Kurtenbach et al., 2006; Takano et al., 2010; Takano et al., 2011).

El grupo de FR comprende 11 especies, de las cuales, *B. recurrentis*, *B. hermsii*, *B. parkerii*, *B. duttoni* y *B. miyamotoi* han

sido confirmadas como patógenas para el humano (Fukunaga et al., 1995; Scoles et al., 2001). Históricamente, la transmisión de estos patógenos hacia poblaciones humanas en África, Eurasia y Norteamérica se ha asociado con garrapatas blandas (aquellas que carecen de escudo dorsal) de la familia Argasidae, principalmente aquellas del género *Ornithodoros* y *Argas*, así como por piojos del cuerpo [*Pediculus humanus humanus*] (Fukunaga et al., 1995; Scoles et al., 2001; Hayes y Dennis, 2004; Cutler et al., 2009). La Fiebre Recurrente es una enfermedad en la cual se alternan periodos febriles que duran de dos a siete días con lapsos afebriles de siete días (Hayes y Dennis, 2004; Benenson, 2011). La letalidad de estos patógenos en humanos cuando el tratamiento no se aplica durante los primeros siete días, ha sido registrada entre un 5 y 10% dependiendo de la especie de borrelia (Hayes y Dennis, 2004; Benenson, 2011). Por otro

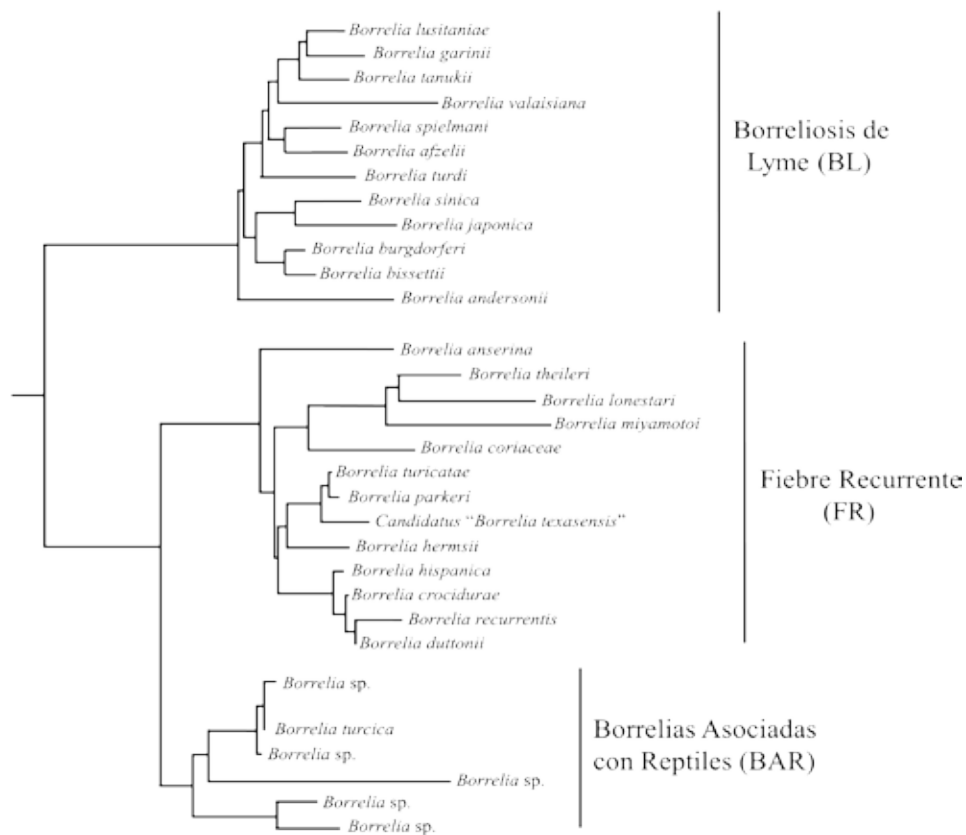


Figura 1. Dendrograma del género *Borrelia*. Análisis realizado a partir del gen 16 rDNA mediante Neighbor Joining, con 10,000 iteraciones de acuerdo con el método de distancias de Kimura 2 parámetros. Modificado de Takano et al. (2011).

Figure 1. Dendrogram of the genus *Borrelia*. Analysis based on 16 rDNA using Neighbor Joining and 10,000 bootstraps, with Kimura 2 parameters as substitution model. Modified of Takano et al. (2011).

lado, cuando el tratamiento es aplicado en tiempo y forma, las posibilidades de secuelas o daños sistémicos son muy bajas. Es importante mencionar que puede existir daño hepático cuando el tratamiento es tardío (Hayes y Dennis, 2004; Benenson, 2011).

El grupo BL comprende alrededor de 12 especies de las cuales *B. burgdorferi* s.s., *B. garinii*, *B. afzelii*, *B. lusitaniae* y *B. valaisiana* han sido referidas como agentes etiológicos de la enfermedad de Lyme (Collares-Pereira et al., 2004; Diza et al., 2004; Kurtenbach et al., 2006; Clark et al., 2013). Especies de Ixodidae (garrapatas duras, aquellas que sí presentan un escudo dorsal) de los géneros *Amblyomma* e *Ixodes* han sido identificadas como los vectores principales de este complejo de borrelias (Barbour et al., 1996; Kurtenbach et al., 2006; Colunga-Salas et al., datos no publicados). La enfermedad de Lyme se caracteriza por un eritema migratorio, síntomas generalizados como cefalea y fiebre. Si el paciente no recibe el tratamiento, pueden presentarse afecciones neuronales, reumáticas y/o cardíacas en combinaciones diversas que aparecen en el lapso de varios meses o años (Benenson, 2011; Steree et al., 2004).

No obstante, en el caso específico de la enfermedad de Lyme, la mayoría de los casos se resuelven favorablemente y sin secuelas

con el tratamiento adecuado. Sin embargo, existen algunos reportes en los cuales el paciente puede reincidir incluso después de algunos años, esto cuando las borrelias invaden el sistema nervioso (Colunga-Salas et al., datos no publicados).

Finalmente, el grupo conocido como “borrelias asociadas con reptiles” ha sido propuesto por Takano et al. (2010; 2011) como el grupo ancestral del género *Borrelia*, el cual se cree que debe ser transmitido por garrapatas duras (Takano et al., 2010; Takano et al., 2011; Trinachartvanit et al., 2016). Hasta el momento, éste es un grupo monotípico, ya que incluye sólo a la especie *Borrelia turcica*, sin embargo, se ha referido la existencia de por lo menos tres especies más que aún no han sido descritas (Fig. 1) y cuya patogenicidad hacia el humano aún no ha sido comprobada (Takano et al., 2010; Takano et al., 2011).

Dada la importancia en salud pública de las especies incluidas en el género *Borrelia*, el objetivo del trabajo fue explicar el papel de los reptiles en el ciclo de vida selvático de *Borrelia* y su importancia como reservorios potenciales de la bacteria, analizando los trabajos publicados hasta 2017 sobre infecciones de esta bacteria en reptiles y sus garrapatas asociadas.

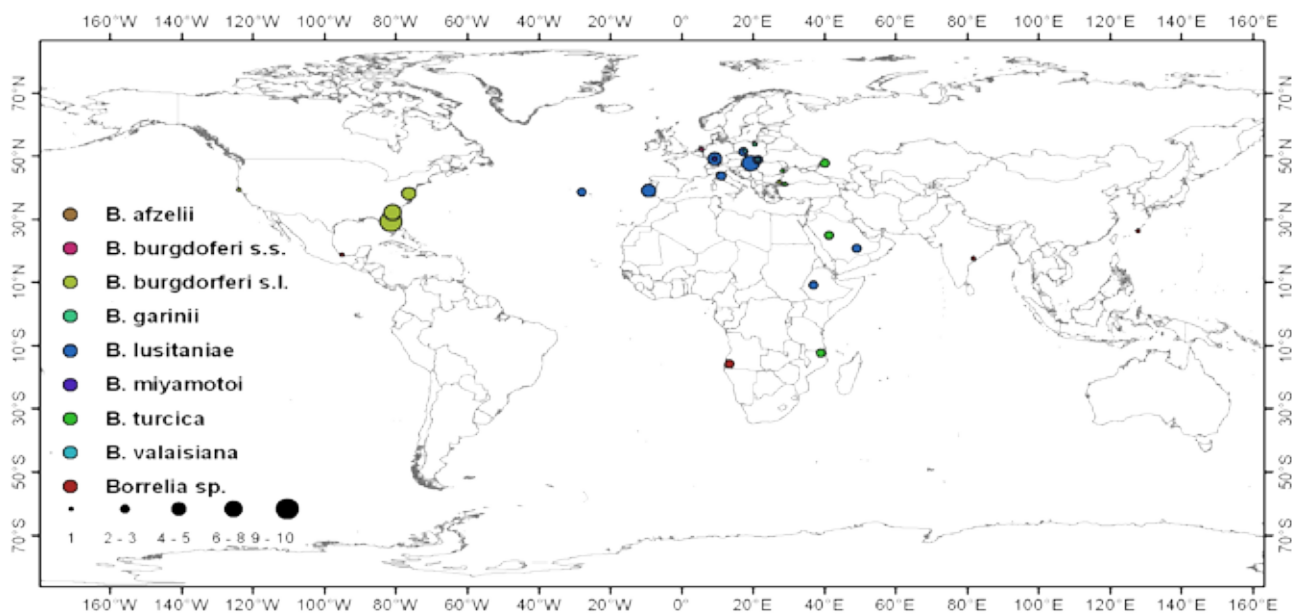


Figura 2. Ubicación geográfica de estudios herpetológicos y sus garrapatas asociadas en los que se ha detectado la presencia de *Borrelia*. El tamaño de los círculos representa el número de estudios por zona geográfica.

Figure 2. Geographic location of studies with herpetofauna and their associated ticks where *Borrelia* has been identified. Circle sizes represent the number of studies in each geographic zone.

Hospederos reptiles

Históricamente, los reptiles han sido considerados hospederos de garrapatas duras, ayudando a mantener las poblaciones de garrapatas en el medio silvestre, por lo cual, si el hospedero reptil presenta una infección por borrelias, éstas pueden ser adquiridas a través de garrapatas, incrementando la posibilidad de infectar otros hospederos, incluyendo al humano (Casher et al., 2002; Durden et al., 2002; Giery y Ostfeld, 2007).

A pesar de la importante función de los reptiles para mantener las borrelias en el ciclo selvático, existe controversia acerca del papel de algunas especies de reptiles como hospederos de *Borrelia* ya que se ha observado que el complemento (parte del sistema inmune innato de los organismos que se compone de un conjunto de proteínas las cuales reconocen y se unen a antígenos externos para crear poros en la membrana e inducir la lisis de la bacteria) de algunas especies de reptiles posee actividad borrelcida, con lo cual se elimina la bacteria del hospedero reptil, sin embargo, es importante mencionar que durante la etapa inicial de la infección (antes que el complemento actúe) es posible detectar la presencia de borrelias en los reptiles (Lane y Loye, 1989; Matuschka et al., 1992). Dada esta actividad borrelcida, se ha propuesto que algunas especies de reptiles son importantes dado el rol zooprofiláctico, ya que pueden prevenir la infección de borrelias en las garrapatas y con ello evitar la transmisión a otros hospederos (Lane y Loye, 1989; Matuschka et al. 1992; Wright et al., 1998). Específicamente, la lagartija del sureste (*Elgaria multicarinata*, habitante de California, E.U.A. y Baja California, México) ha sido considerada como hospedero no competente para mantener especies del complejo *B. burgdorferi* ya que presenta actividad borrelcida (Wright et al., 1998; Kuo et al., 2000), mientras que en el lagarto verde nativo de Europa (*Lacerta agilis*) y en la lagartija de cerco occidental (*S. occidentalis*), no se ha podido comprobar in vitro su papel como reservorios competentes de especies para el mismo complejo de *B. burgdorferi* (Matuschka et al., 1992; Kuo et al., 2000).

Hasta el momento, el orden Squamata es el que presenta la mayor cantidad de especies referidas como potenciales reservorios para alguna especie de *Borrelia*. Dentro de este grupo de reptiles, las lagartijas son las que cuentan con la mayor cantidad de registros, con un total de 16 especies positivas a alguna especie de *Borrelia* del grupo de BL, seguido por el suborden Serpentes con sólo una especie del mismo grupo de borrelias (Tabla 1). El siguiente orden de reptiles con mayor cantidad de registros es Testudines con tres especies positivas tanto por *B. burgdorferi* s.l., del grupo de BL y *B. turcica* del complejo de FR (Tabla 1).

La detección de cuatro especies de *Borrelia*, asociadas con 20 especies de reptiles en localidades cercanas a zonas donde se han reportado casos humanos de enfermedad de Lyme, mantiene la posibilidad de que este grupo de vertebrados puedan ser hospederos competentes que participan en el mantenimiento del ciclo silvestre de dichos patógenos (Diza et al., 2004; Kurtenbach et al., 2006; Clark et al., 2013). Ante lo cual, resulta necesario no descartar la búsqueda intencionada de hospederos reptiles (principalmente lagartijas) de especies de este género de bacterias helicoidales, así como, incluir a los anfibios para descartar o confirmar su rol como potenciales reservorios silvestres de estas bacterias.

Vectores de *Borrelia* spp. asociadas con reptiles.

Como se mencionó anteriormente, las garrapatas son los principales vectores asociados con la transmisión de especies del género *Borrelia*, esto se debe a sus hábitos alimenticios (hematófagos), así como a su preferencia hospedatoria hacia vertebrados terrestres silvestres, por lo que han sido reconocidos como vectores potenciales de diversos patógenos, al transmitirlos durante la alimentación (Scoles et al., 2004; Kurtenbach et al., 2006; Takano et al., 2010; Takano et al., 2011). En el caso específico de bacterias del género *Borrelia*, éstas se alojan en el intestino medio de la garrapata, donde se reproducen. Posteriormente viajan a las glándulas salivales, para ser transmitidas al hospedero mediante la saliva (Cook, 2015).

En los grupos de las BAR y BL, cuyos vectores principales son garrapatas de la familia Ixodidae, son 11 las especies que han sido reconocidas y/o confirmadas como vectores de borrelias y que a su vez, se alimentan de reptiles en alguno de sus estadios de desarrollo (larva y/o ninfa y/o adulto), las cuales corresponden a siete especies del género *Amblyomma*, una de los géneros *Dermacentor* e *Hyalomma*, así como tres especies del género *Ixodes* (Tabla 1). Por otro lado, únicamente *Ixodes ricinus* ha sido registrada como vector potencial de *B. miyamotoi* (Richter y Matuschka, 2006). Este registro sugiere que especies de garrapatas duras pueden ser vectores de borrelias del grupo FR, además de las especies previamente referidas de garrapatas blandas (Hayes y Dennis, 2004; Scoles et al., 2004; Cutler et al., 2009).

Resalta la importancia de la familia Ixodidae, como la única en la cual se han registrado borrelias de los grupos BL y BAR, que a su vez han estado asociadas con anfibios y reptiles (Tabla 1), mientras que las garrapatas blandas, han sido poco estudiadas en este sentido, debido probablemente a la dificultad para recolectarlas y para su identificación taxonómica. Sin embargo, es necesario resaltar que la importancia de este grupo

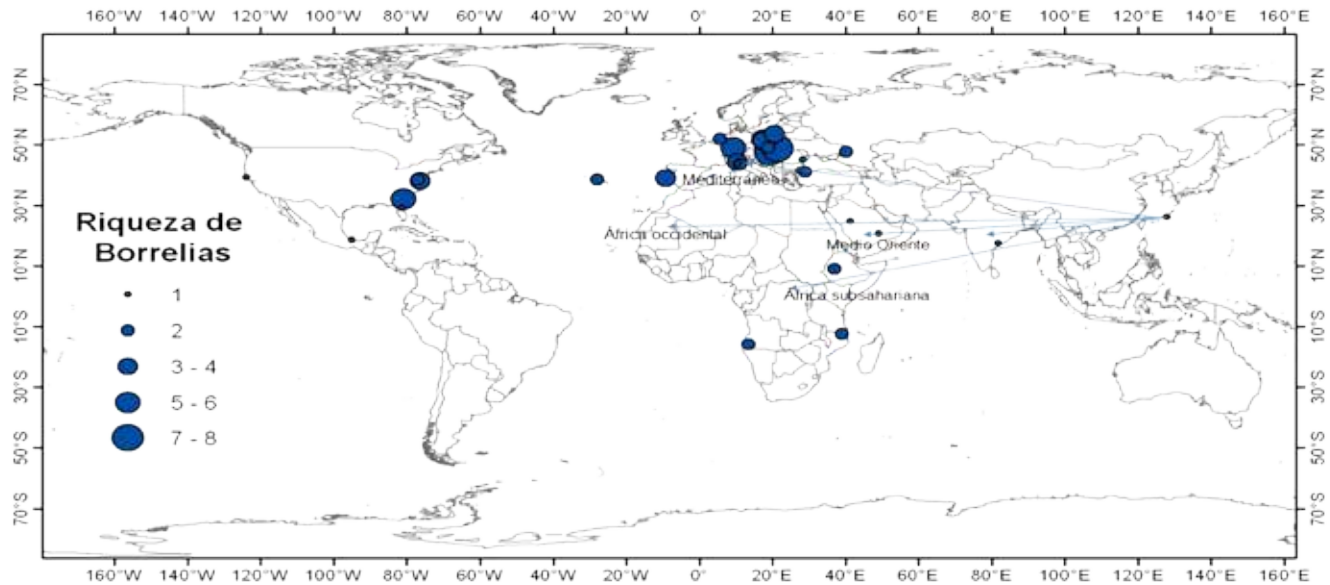


Figura 3. Riqueza de especies de *Borrelia*. El tamaño de los círculos representa el número de especies por localidad. Las flechas representan las zonas originarias de los registros importados.

Figure 3. Geographic Species richness of *Borrelia* genus. Circle sizes represent the number of species recorded per locality. Blue arrows represent the origin where are from.

de garrapatas radica en que son vectores del grupo de FR, el cual puede provocar graves problemas de salud en poblaciones humanas (Fukunaga et al., 1995; Scoles et al., 2001; Hayes y Dennis, 2004; Cutler et al., 2009). Por lo anterior, es necesario continuar con los estudios de argásidos como vectores de borrelias, así como de sus hospederos reptiles.

Es importante resaltar que de las siete especies de *Borrelia* que han sido registradas en garrapatas asociadas con anfibios y reptiles, tres de ellas, *B. garinii*, *B. miyamotoi* y *B. valaisiana* se reportaron sólo en garrapatas (asociadas con reptiles) y no en sus huéspedes. Mientras que *B. afzelii*, *B. burgdorferi* s.s. y s.l., *B. lusitaniae* y *B. turcica* han sido registradas tanto en reptiles como en sus garrapatas asociadas (Tabla 1).

De las siete especies de *Borrelia* registradas en garrapatas asociadas con reptiles, el 71% (cinco especies) corresponden a especies del grupo de BL, mientras que el restante 29% de las especies está repartido de manera uniforme entre el grupo de FR y de las BAR (Tabla 1), por lo cual, los reptiles podrían ser un buen grupo para monitorear especies del grupo de BL en zonas endémicas de la Enfermedad de Lyme y con ello planear acciones de vigilancia epidemiológica en fauna silvestre con el fin de mitigar o reducir el número de casos humanos (Takano et al., 2010 y 2011).

A pesar de que son 11 las especies de garrapatas asociadas con reptiles que han sido consideradas como vectores de *Borrelia*, es importante mencionar que existen otras especies de garrapatas duras (Ixodidae) que se alimentan de reptiles y por ende deben ser consideradas como vectores potenciales para este género de bacterias tomando en cuenta la capacidad de algunas especies de reptiles como reservorios potenciales de borrelias.

Otro punto importante de resaltar es que el trabajo realizado por Colunga-Salas et al. (datos sin publicar), es el único trabajo en el cual se registra una especie de *Borrelia* en garrapatas asociadas con anfibios en el Mundo, lo cual abre la posibilidad de este grupo de vertebrados como posibles reservorios de estas bacterias y por ende la necesidad de incluirlos en estudios enfocados al registro y mantenimiento de borrelias tanto en las garrapatas asociadas, como su posible rol de hospederos.

Distribución geográfica de *Borrelia* spp. potencialmente zoonóticas asociadas con reptiles y/o vectores

Los principales estudios en los cuales se han obtenido evidencias acerca de la presencia de *Borrelia* en reptiles se concentran en la zona centro de Europa y Portugal, así como en el Este y Oeste de E.U.A., lugares que a su vez concentran la mayor riqueza de especies de *Borrelia* asociadas a reptiles (Figs. 2 y 3; Tabla 1).

Es importante resaltar que la región de Eurasia presenta la mayor riqueza del género *Borrelia* registrada en reptiles [Fig. 3] (Majláthová et al., 2006; Kurtenbach et al., 2006; Richter y Matuschka, 2006; Földvári et al., 2009; Ekner et al., 2011; De Sousa et al., 2012; Norte et al., 2015), mientras que E.U.A. es el país que posee el mayor número de casos reportados a nivel mundial causados principalmente por *B. burgdorferi* s.s. [Figs. 3 y 4] (Clark et al. 2005; Kurtenbach et al., 2006; Giery y Ostfeld, 2007; Swanson y Norris, 2007).

Por otro lado, las especies del género *Borrelia* registradas hasta el momento tanto en garrapatas como en reptiles presentan una asociación estrecha con los casos humanos referidos, ya que en zonas donde se refieren casos humanos también existen reptiles positivos a especies de borrelias del grupo de BL; sin embargo, esta relación está más acentuada en el centro de Europa (Fig. 3). A pesar de esta relación, existen registros de *Borrelia* en África, en zonas sin casos humanos documentados. Lo anterior, probablemente sea causado por la escasa notificación de casos humanos y los nulos estudios en fauna silvestre (Figs. 2 y 4). Otra zona importante de resaltar es América del Sur, donde existen

casos humanos documentados, pero no existe ningún estudio de *Borrelia* detectadas en reptiles ni sus garrapatas asociadas (Figs. 2 y 4).

Japón destaca como el único país en el cual la totalidad de registros de borrelias asociadas con reptiles y en sus garrapatas son importados, principalmente del área de África, Medio Oriente (incluyendo a la India) y del Mediterráneo (Fig. 2), lo cual denota la importancia de los animales exóticos como dispersores de patógenos y ectoparásitos que pueden fungir como fuente de infecciones y favorecer la generación de casos humanos en sitios donde previamente no se habían detectado. Por ello resulta necesario implementar medidas de vigilancia epidemiológica activa, como pruebas serológicas o de biología molecular (PCR) en las principales zonas de comercio de herpetofauna, así como en las zonas de exportación (Takano et al., 2010 y 2011).

Finalmente, es importante resaltar que, en América Latina, las borrelias son un grupo de bacterias escasamente estudiado y a pesar de que en México, Venezuela y Brasil hay casos confirmados de borreliosis (Fig. 3), actualmente, en México

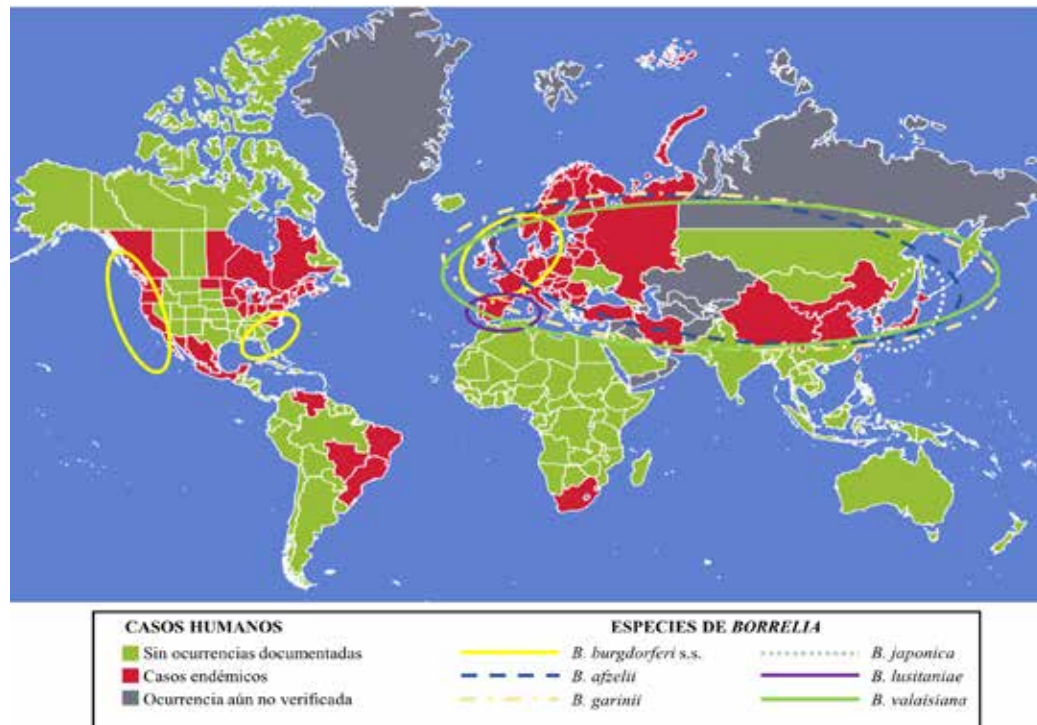


Figura 4. Mapa de ocurrencia de la Enfermedad de Lyme en humanos. En círculos se representan las especies del grupo de BL confirmadas como patógenas para el ser humano. Tomado y modificado de Kurtenbach et al. (2006) y de la Compañía de Enfermedades Transmitidas por Vector (CVBD, por sus siglas en inglés), disponible en: <http://www.cvbd.org>. Consultado el: 11-05-2018.

Figure 4. Lyme disease occurrence map. Circles represent species from BL group confirmed as human pathogens. Taken and modified from Kurtenbach et al. (2006) and Company of Vector-Borne Diseases (CVBD), available: <http://www.cvbd.org>. Consulted 05-11-2018.

Orden	Suborden	Especie hospedera	Especie de garrapata	Especie de Borrelia	País	Nombre de la enfermedad en humanos		Referencia
Anura		Rhinella marina	Amblyomma dissimile	Borrelia sp.	México	ND		Colunga-Salas et al. (datos no publicados)
Squamata		Anolis carolinensis	—	B. burgdorferi s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme		Clark et al. 2005
		Anolis sagrei	—	B. burgdorferi s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme		Clark et al. 2005
	Lacertilia	Aspidoscelis sexlineatus	—	B. burgdorferi s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme		Clark et al. 2005
		Lacerta agilis	Ixodes ricinus	B. afzelii	Polonia	Enfermedad de Lyme		Gryczyńska-Sieniąg tkowska et al. 2007
				B. burgdorferi s.s.	Polonia	Enfermedad de Lyme		Gryczyńska-Sieniąg tkowska et al. 2007
				B. burgdorferi s.l.	Polonia	Enfermedad de Lyme		Ekner et al. 2011
				B. burgdorferi s.l.	Polonia	Enfermedad de Lyme		Ekner et al. 2011
				B. garinii	Polonia	Enfermedad de Lyme		Gryczyńska-Sieniąg tkowska et al. 2007
				B. lusitaniae	Polonia	Enfermedad de Lyme		Ekner et al. 2011
			—	B. afzelii	Países Bajos	Enfermedad de Lyme		Tijssse-Klasen et al. 2010
				B. burgdorferi s.s.	Países Bajos	Enfermedad de Lyme		Tijssse-Klasen et al. 2010
				B. lusitaniae	Polonia	Enfermedad de Lyme		Ekner et al. 2011
				B. lusitaniae	Hungría	Enfermedad de Lyme		Földvári et al. 2009
				B. lusitaniae	Alemania	Enfermedad de Lyme		Richter y Matuschka 2006
		Lacerta agilis agilis	Ixodes ricinus	B. afzelii	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme		Majláthová et al. 2008
				B. afzelii	Polonia	Enfermedad de Lyme		Majláthová et al. 2008
				B. burgdorferi s.s.	Polonia	Enfermedad de Lyme		Majláthová et al. 2008
				B. garinii	Polonia	Enfermedad de Lyme		Majláthová et al. 2008
				B. lusitaniae	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme		Majláthová et al. 2008
				B. lusitaniae	Polonia	Enfermedad de Lyme		Majláthová et al. 2008
				B. valaisiana	Polonia	Enfermedad de Lyme		Majláthová et al. 2008
		Lacerta schreiberi	Ixodes ricinus	B. lusitaniae	Portugal	Enfermedad de Lyme		Norte et al. 2015
		Lacerta viridis	Dermacentor marginatus	B. lusitaniae	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme		Václav et al. 2011
			Ixodes ricinus	B. afzelii	Hungría	Enfermedad de Lyme		Földvári et al. 2009
				B. afzelii	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme		Majláthová et al. 2006
				B. burgdorferi s.s.	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme		Majláthová et al. 2006
				B. garinii	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme		Majláthová et al. 2006

Orden	Suborden	Especie hospedera	Especie de garrapata	Especie de Borrelia	País	Nombre de la enfermedad en humanos	Referencia
				B. lusitaniae	Hungría	Enfermedad de Lyme	Földvári et al. 2009
				B. lusitaniae	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme	Majláthová et al. 2006
				B. lusitaniae	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme	Václav et al. 2011
			—	B. garinii	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme	Majláthová et al. 2006
				B. lusitaniae	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme	Majláthová et al. 2006
				B. valaisiana	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme	Majláthová et al. 2006
				B. lusitaniae	Eslovaquia	Enfermedad de Lyme	Václav et al. 2011
		Ophisaurus ventralis	—	B. burgdorferi s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Clark et al. 2005
		Plestiodon fasciatus	Ixodes scapularis	B. burgdorferi s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Swanson y Norris 2007
				B. burgdorferi s.s.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Swanson y Norris 2007
			—	B. burgdorferi s.s.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Swanson y Norris 2007
		Plestiodon inexpectatus	—	B. burgdorferi s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Clark et al. 2005
		Plestiodon laticeps	Ixodes scapularis	B. burgdorferi s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Clark et al. 2005
			—	B. burgdorferi s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Clark et al. 2005
				B. burgdorferi s.s.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Swanson y Norris 2007
		Podarcis hispanicus	Ixodes ricinus	B. lusitaniae	Portugal	Enfermedad de Lyme	Norte et al. 2015
			—	B. lusitaniae	Portugal	Enfermedad de Lyme	Norte et al. 2015
		Podarcis muralis	Ixodes ricinus	B. afzelii	Italia	Enfermedad de Lyme	Tomassone et al. 2017
				B. garinii	Italia	Enfermedad de Lyme	Tomassone et al. 2017
				B. lusitaniae	Italia	Enfermedad de Lyme	Amore et al. 2007
				B. lusitaniae	Italia	Enfermedad de Lyme	Grego et al. 2007
				B. lusitaniae	Alemania	Enfermedad de Lyme	Richter y Matuschka 2006
				B. lusitaniae	Italia	Enfermedad de Lyme	Tomassone et al. 2017
				B. miyamotoi	Alemania	Fiebre Recurrente	Richter y Matuschka 2006
				B. valaisiana	Alemania	Enfermedad de Lyme	Richter y Matuschka 2006
				B. valaisiana	Italia	Enfermedad de Lyme	Tomassone et al. 2017
			—	B. lusitaniae	Alemania	Enfermedad de Lyme	Richter y Matuschka 2006
		Podarcis sp	Ixodes ricinus	B. lusitaniae	Italia	Enfermedad de Lyme	Ragagli et al. 2011

Orden	Suborden	Especie hospedera	Especie de garrapata	Especie de Borrelia	País	Nombre de la enfermedad en humanos	Referencia
		Podarcis tauricus	Ixodes ricinus	B. afzelii	Hungría	Enfermedad de Lyme	Földvári et al. 2009
				B. burgdorferi s.s.	Hungría	Enfermedad de Lyme	Földvári et al. 2009
				B. lusitaniae	Hungría	Enfermedad de Lyme	Földvári et al. 2009
			—	B. lusitaniae	Hungría	Enfermedad de Lyme	Földvári et al. 2009
		Psammmodromus algirus	Ixodes ricinus	B. lusitaniae	Túnez	Enfermedad de Lyme	Dsouli et al. 2006
				B. lusitaniae	Portugal	Enfermedad de Lyme	Norte et al. 2015
			—	B. lusitaniae	Túnez	Enfermedad de Lyme	Dsouli et al. 2006
		Sceloporus occidentalis	Ixodes pacificus	B. burgdorferi s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Lane y Loye 1989
		Sceloporus undulatus	—	B. burgdorferi s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Clark et al. 2005
		Sceloporus woodi	—	B. burgdorferi s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Giery y Ostfeld 2007
				B. burgdorferi s.s.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Swanson y Norris 2007
				B. burgdorferi s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Clark et al. 2005
		Scincella lateralis	—	B. burgdorferi s.l.	E.U.A.	Enfermedad de Lyme	Clark et al. 2005
		Teira dugesii	Ixodes ricinus	B. lusitaniae	Portugal	Enfermedad de Lyme	De Sousa et al. 2012
		Boiga forsteni	—	B. lusitaniae	Portugal	Enfermedad de Lyme	De Sousa et al. 2012
Squamata	Serpentes		Amblyomma trimaclatum	Borrelia sp.	Japón	ND	Takano et al. 2010
		Python regius	Amblyomma latum	Borrelia sp.	Japón	ND	Takano et al. 2010
			Amblyomma transversale	Borrelia sp.	Japón	ND	Takano et al. 2010
Testudines	Cryptodira	Cuora flavomarginata evelynae	Amblyomma geomydae	Borrelia sp.	Japón	ND	Takano et al. 2011
		Stigmochelys pardalis	Amblyomma sparsum	B. turcica	Japón	ND	Takano et al. 2010
			—	B. turcica	Japón	ND	Takano et al. 2010
		Testudo graeca	Hyalomma aegyptium	B. burgdorferi s.l.	Turquía	Enfermedad de Lyme	Kar et al. 2011
				B. turcica	Turquía	ND	Güner et al. 2004
				B. turcica	Rumania	ND	Kalmár et al. 2010
				B. turcica	Japón	ND	Takano et al. 2010
			—	B. turcica	Japón	ND	Takano et al. 2010
		Testudo horsfieldii	Hyalomma aegyptium	B. turcica	Japón	ND	Takano et al. 2010
			—	B. turcica	Japón	ND	Takano et al. 2010

existe sólo un equipo multidisciplinario activo trabajando con vertebrados terrestres, sus garrapatas asociadas y su infección por este grupo de bacterias en el Centro de Medicina Tropical de la Facultad de Medicina, UNAM (en la Unidad de Medicina Experimental, Hospital General de México, institución que también ofrece pruebas de detección para estas bacterias) en conjunto con el Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” de la Facultad de Ciencias, en el campus central de la UNAM. Sin embargo, es importante mencionar que anteriormente, el grupo de la Dra. María Guadalupe Gordillo Pérez (en la Unidad de Investigación Médica de Enfermedades Infecciosas y Parasitarias) fue pionero en la rama de la borreliosis en México (Gordillo et al., 1999 y 2007).

Por lo anterior, en este trabajo resaltamos la necesidad e importancia de formar grupos interdisciplinarios que se dediquen al estudio de estas bacterias, con lo cual se incrementaría el conocimiento acerca de esta relación parásito-hospedero y sobre diferentes aspectos tales como su biología, ecología, epidemiología, entre otros.

CONCLUSIONES

El género *Borrelia* está dividido en tres principales grupos, el grupo causante de la Enfermedad de Lyme, el causante de la Fiebre Recurrente y el grupo de Borrelias asociadas con reptiles, el cual se considera actualmente como el grupo ancestral. Este último ha sido poco estudiado y no incluye especies consideradas patógenas para el humano, sin embargo, esto último no debe ser descartado.

Se ha observado un efecto borrelícida en algunas especies de reptiles, esta característica puede ser importante para futuras investigaciones inmunológicas que puedan resultar en nuevos fármacos para estos padecimientos. A nivel mundial se han encontrado 32 registros de cuatro especies del género *Borrelia* de los tres grupos principales asociadas con reptiles y sus garrapatas (BL, FR y BAR). Un total de 11 especies de garrapatas asociadas a reptiles, han sido registradas positivas a siete especies descritas de *Borrelia*.

La mayoría de las especies que circulan en reptiles y sus garrapatas corresponden a especies del complejo *B. burgdorferi* s.l., debido probablemente a la gran diversidad de especies dentro de ese grupo de borrelias. *Borrelia afzelii*, *B. burgdorferi* s.s., *B. lusitaniae* y *B. turcica* son las únicas especies que han sido reportadas tanto en reptiles como en sus garrapatas asociadas.

Sólo existe un estudio en el cuales se registran garrapatas

asociadas con anfibios positivas a alguna especie de *Borrelia*, por lo cual se sugiere incrementar el estudio en este grupo de vertebrados. Únicamente en el centro de Europa se observa una relación geográfica entre el número de registros de *Borrelia* en reptiles y sus garrapatas, con la riqueza de especies de *Borrelia* y con casos humanos.

A pesar que el número de especies del género *Borrelia* de importancia médica es alto, poco se ha trabajado a nivel mundial en relación con el estudio de los reservorios herpetológicos y de los vectores asociados con este grupo de vertebrados, por lo que los estudios resultan escasos y están limitados a zonas donde los casos de borreliosis son altos.

Resulta necesario formar grupos interdisciplinarios para aumentar los estudios sobre las relaciones entre reptiles, sus ectoparásitos asociados y patógenos, con el fin de generar conocimiento que pueda ser de ayuda para la vigilancia epidemiológica en fauna silvestre y su relación con casos humanos.

Agradecimientos.— Agradecemos los comentarios en la redacción del manuscrito a Rafa de Villa y a los comentarios de los revisores que ayudaron a mejorar el escrito.

LITERATURA CITADA

- Amore, G., L. Tomssone, E. Grego, C. Ragagli, L. Bertolotti, P. Nebbia, S. Rosati, y A. Mannelli. 2007. *Borrelia lusitaniae* in Immature *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) Feeding on Common Wall Lizards in Tuscany, Central Italy. *Journal of Medical Entomology* 44: 303–307.
- Barbour, A.G., G.O. Maupin, G.J. Teltow, C.J. Carter, y J. Piesman. 1996. Identification of an Uncultivable *Borrelia* Species in the Hard Tick *Amblyomma americanum*: Possible Agent of a Lyme Disease-like Illness. *The Journal of Infectious Diseases* 173: 403–409.
- Benenson, A.S. 2011. Manual para el Control de las Enfermedades transmisibles. 19 edición. Organización Panamericana de la Salud.
- Casher, L., R. Lane, R. Barrett, y L. Eisen. 2002. Relative importance of lizards and mammals as hosts for Ixodid ticks in Northern California. *Experimental and Applied Acarology* 26: 127–143.
- Clark, K.L., A. Hendricks, y D. Burge. 2005. Molecular identification and analysis of *Borrelia burgdorferi sensu lato* in lizards in the Southeastern United States. *Applied and Environmental*

- Microbiology 71: 2616–2625.
- Clark, K.L., B. Leydet, y S. Hartman. 2013. Lyme Borreliosis in Human Patients in Florida and Georgia, USA. International Journal of Medical Sciences 10: 915–931.
- Collares-Pereira, M. et al. 2004. First Isolation of *Borrelia lusitaniae* from a Human Patient. Journal of Clinical Microbiology 42: 1316–1318.
- Cook, M.J. 2015. Lyme borreliosis: a review of data on transmission time after tick attachment. International Journal of General Medicine 8: 1–8.
- Cutler, S.J., A. Abdissa, y J.F. Trape. 2009. New concepts for the old challenges of African relapsing fever borreliosis. Clinical Microbiology and Infection 15: 400–406.
- De Sousa, R., I. Lopes de Carvalho, A.S. Santos, C. Bernardes, N. Milhano, J. Jesus, D. Menezes, y M.S. Nuncio. 2012. Role of the Lizard *Teira dugesii* as a Potential Host for *Ixodes ricinus* Tick-Borne Pathogens. Applied and Environmental Microbiology 78: 3767–3769.
- Diza, E., A. Papa, E. Vezyri, S. Tsounis, I. Milonas, y A. Antoniadis. 2004. *Borrelia valaisiana* in Cerebrospinal Fluid. Emerging Infectious Diseases 9: 1692–1693.
- Dsouli, N., H. Younsi-Kabachii, D. Postic, S. Nouira, L. Gern, y A. Bouattour. 2006. Reservoir Role of Lizard *Psammotomus algirus* in Transmission Cycle of *Borrelia burgdorferi* *Sensu Lato* (Spirochaetaceae) in Tunisia. Journal of Medical Entomology 43: 737–742.
- Durden, L., J.H. Oliver, C.W. Banks, y G.N. Vogel. 2002. Parasitism of lizards by immature stages of the blacklegged tick, *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae). Experimental and Applied Acarology 26: 257–266.
- Ekner, A., K. Ducek, Z. Sajkowska, V. Majláthová, I. Majláth, y P. Tryjanowski. 2011. Anaplasmatidae and *Borrelia burgdorferi* *sensu lato* in the sand lizard *Lacerta agilis* and co-infection of these bacteria in hosted *Ixodes ricinus* ticks. Parasites and Vectors 4: 182.
- Fukunaga, M., Y. Takahashi, Y. Tsuruta, O. Matsushita, D. Ralph, M. McClelland, y M. Nakao. 1995. Genetic and Phenotypic Analysis of *Borrelia miyamotoi* *sp. nov.*, Isolated from the Ixodid Tick *Ixodes persulcatus*, the Vector for Lyme Disease in Japan. International Journal of Systematic Bacteriology 45: 804–810.
- Földvári, G., K. Rigó, V. Majláthová, I. Majláth, R. Farkas, y B. Per'ko. 2009. Detection of *Borrelia burgdorferi sensu lato* in Lizards and their Ticks from Hungary. Vector-Borne and Zoonotic Diseases 9: 331–336.
- Giery, S.T., y R.S. Ostfeld. 2007. The role of lizards in the ecology of Lyme disease in two endemic zones of the northeastern United States. Journal of Parasitology 93: 511–517.
- Gordillo, G. J. Torres, F. Solórzano, R. Cedillo-Rivera, R. Tapia-Conyer, y O. Muñoz. 1999. Serologic evidences suggesting the presence of *Borrelia burgdorferi* infection in Mexico. Archives of Medical Research 30: 64–68.
- Gordillo-Pérez, G., J. Torres, F. Solórzano-Santos, S. de Martino, D. Lipsker, E. Velázquez, G. Ramon, O. Muñoz, y B. Jaulhac. 2007. *Borrelia burgdorferi* infection and cutaneous Lyme Disease, Mexico. Emerging Infectious Diseases 13: 1556–1558.
- Grego, E., L. Bertolotti, S. Peletto, G. Amore, L. Tomassone, y A. Mannelli. 2007. *Borrelia lusitaniae* OspA Gene Heterogeneity in Mediterranean Basin Area. Journal of Molecular Evolution 65: 512–518.
- Gryczyńska-Sięmiątkowska, A., A. Siedlecka, J. Stanczak, y M. Barkowska. 2007. Infestation of sand lizards (*Lacerta agilis*) resident in the Northeastern Poland by *Ixodes ricinus* (L.) ticks and their infection with *Borrelia burgdorferi sensu lato*. Acta Parasitologica 52: 1230–2821.
- Güner, E.S. et al. 2004. *Borrelia turcica* *sp. nov.*, isolated from the hard tick *Hyalomma awgyptium* in Turkey. 54: 1649–1652.
- Hayes, E.B. y D.T. Dennis. 2004. Relapsing Fever. Pp. 991–995. En D.L. Kasper, E. Braunwald, A.S. Fauci, S.L. Hauser, D.L. Longo, y J. L. Jameson (Eds.), Harrison's Principles of Internal Medicine, 16 Edición, McGraw-Hill Medical Publishing Division.
- Kalmár, Z., V. Cozma, H. Sprong, S. Jahfari, G. D'Amico, D.I. Mărcuțan, A.M. Ionică, C. Magdaș, D. Modrý, y A.D. Mihalca. Transstadial transmission of *Borrelia turcica* in *Hyalomma aegyptium* ticks. PLoS One 10: 1–9.
- Kar, S., N. Yilmazer, K. Midilli, S. Ergin, H. Alp, A. Gargili. 2011. Presence of the zoonotic *Borrelia burgdorferi* *sl.* and *Rickettsia* spp. in the ticks from wild tortoises and hedgehogs. Műsbed 1: 166–170.

- Kuo, M.M., R.S. Lane, y P.C. Giclas. 2000. A comparative study of mammalian and reptilian alternative pathway of complement-mediated killing of the Lyme disease spirochete (*Borrelia burgdorferi*). *Journal of Parasitology* 86: 1223–1228.
- Kurtenbach, K., K. Hanincova, J.I. Tsao, G. Margos, D. Fish, y N.H. Ogden. 2006. Fundamental processes in the evolutionary ecology of lyme borreliosis. *Nature Reviews Microbiology* 4: 660–669.
- Lane, R.S., y J.E. Loye. 1989. Lyme disease in California: interrelationship of Ixodid ticks (Acari), rodents, and *Borrelia burgdorferi*. *Journal of Medical Entomology* 28: 719–725.
- Majláthová, V., I. Majláth, M. Derdákóvá, B. Víchová, y B. Pet'ko. 2006. *Borrelia lusitaniae* and Green Lizards (*Lacerta viridis*), Karst Region, Slovakia. *Emerging Infectious Diseases* 12: 1895–1901.
- Majláthová, V., I. Majláth, M. Hromada, P. Tryjanowski, M. Bona, M. Antczak, B. Víchová, S. Dzimko, A. Mihalca, y B. Pet'ko. 2008. The role of the sand lizard (*Lacerta agilis*) in the transmission cycle of *Borrelia burgdorferi sensu lato*. *International Journal of Medical Microbiology* S1: 161–167.
- Matuschka, F.R., P. Fischer, M. Heiler, D. Richter, y A. Spielman. 1992. Capacity of European animals as reservoir hosts for the Lyme disease spirochete. *The Journal of Infectious Diseases* 165: 479–483.
- Norte, A.C., A. Alves da Silva, J. Alves, L.P. da Silva, M.S. Nuncio, R. Escudero, P. Anda, J.A. Ramos, e I. Lopes de Carvalho. 2015. The importance of lizards and small mammals as reservoirs for *Borrelia lusitaniae* in Portugal. *Environmental Microbiology Reports* 7: 188–193.
- Ragagli, C., L. Bertolotti, M. Giacobini, A. Mannelli, D. Bisanzio, G. Amore, y L. Tomassone. 2011. Transmission dynamics of *Borrelia lusitaniae* and *Borrelia afzelii* among *Ixodes ricinus*, Lizards, and Mice in Tuscany, Central Italy. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 1: 21–28.
- Richter, D., y F.R. Matuschka. 2006. Perpetuation of the Lyme Disease Spirochete *Borrelia lusitaniae* by Lizards. *Applied and Environmental Microbiology* 72: 4627–4632.
- Scoles, G.A., M. Papero, L. Beati, y D. Fish. 2001. A Relapsing Fever Group Spirochete Transmitted by *Ixodes scapularis* Ticks. *Vector Borne and Zoonotic Diseases* 1: 21–34.
- Steere, A.C., J. Coburn, y L. Glickstein. 2004. The emergence of Lyme disease. *The Journal of Clinical Investigation* 113: 1093–1101.
- Swanson, K.I., y D.E. Norris. 2007. Detection of *Borrelia burgdorferi* DNA in Lizards from Southern Maryland. *Vector Borne and Zoonotic Diseases* 7: 42–49.
- Takano, A., K. Goka, Y. Une, Y. Shimada, H. Fujita, T. Shiino, H. Watanabe, y H. Kawabata. 2010. Isolation and characterization of a novel *Borrelia* group of tick-borne borreliae from imported reptiles and their associated ticks. *Environmental Microbiology* 12: 134–146.
- Takano, A., H. Fujita, T. Kadosaka, S. Konnai, T. Tajima, H. Watanabe, M. Ohnishi, y H. Kawabata. 2011. Characterization of reptile-associated *Borrelia* sp. in the vector tick, *Amblyomma geoemydae*, and its association with Lyme disease and relapsing fever *Borrelia* spp. *Environmental Microbiology Reports* 3: 632–637.
- Tijssse-Klasen, E., M. Fonville, J.H.J. Reimerink, A. Spitzen-van der Slujs, y H. Sprong. 2010. Role of sand lizards in the ecology of Lyme and ther tick-borne diseases in the Netherlands. *Parasites and Vectors* 3: 42.
- Tomassone, L., L.A. Ceballos, C. Ragagli, E. Martello, R. De Sousa, M.C. Stella, y A. Mannelli. 2017. Importance of common wall lizards in the transmission dynamics of tick-borne pathogens in the Northern Apennine Mountains, Italy. *Microbial Ecology* 74: 961–968.
- Trinachartvanit, W., S. Hirunkanokpun, R. Sudsangiem, W. Lijuan, D. Boonkusol, V. Baimai, y A. Ahantarig. *Borrelia* sp. phylogenetically different from Lyme disease and relapsing fever-related *Borrelia* spp. in *Amblyomma varanense* from *Phyton reticulatus*. *Parasites and Vectors* 9: 359.
- Václav, R., M. Ficová, y P. Prokop. 2011. Associations Between Coinfection Prevalence of *Borrelia lusitaniae*, *Anaplasma* sp., and *Rickettsia* sp. in Hard Ticks Feeding on Reptile Hosts. *Microbial Ecology* 61: 245–253.
- Wright, S.A., R.S. Lane, J.R. Clover. 1998. Infestation of the southern alligator lizard (Squamata: Anguidae) by *Ixodes pacificus* (Acari: Ixodidae) and its susceptibility to *Borrelia burgdorferi*. *Journal of Medical Entomology* 35: 1044–1049.



THE POPULATION DECLINE OF *ATELOPUS QUIMBAYA* (ANURA: BUFONIDAE) IN THE ANDES OF COLOMBIA

EL DECLIVE DE LAS POBLACIONES DE *ATELOPUS QUIMBAYA* (ANURA BUFONIDAE) EN LOS ANDES DE COLOMBIA

DIEGO A. GÓMEZ-HOYOS^{1,2}; WILLIAM CARDONA³; GUSTAVO A. GONZÁLEZ-DURÁN⁴; SANDRA VICTORIA FLECHAS⁵; GUSTAVO H. KATTAN⁶; JULIÁN A. VELASCO^{7*}

¹ProCAT Internacional / The Sierra to Sea Institute Costa Rica. Las Alturas, Puntarenas, Costa Rica

²Centro para la Ciencia Abierta y la Conservación de la Biodiversidad. San José, Costa Rica.

³Departamento de Biología, Universidad del Valle, Carrera 13 # 100-00, Cali, Colombia.

⁴Wildlife Conservation Society, Programa Colombia.

⁵Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.

⁶Departamento de Ciencias Naturales y Matemáticas, Pontificia Universidad Javeriana Cali, Avenida Cañasgordas No. 118-250, Cali, Colombia.

⁷Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera", Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de México, Ciudad de México, México.

*Correspondence author: juvelas@gmail.com

Abstract.— The Quimbaya toad, *Atelopus quimbaya*, is a small bufonid endemic to the Central Andes in Colombia and it is categorized as Critically Endangered by the International Union for Conservation of Nature -IUCN-. Here, we report historical sightings and recent extensive surveys conducted by us in three historical localities where the Quimbaya toad was reported. The last observations of the Quimbaya toad were between 1994 and 1997 in these three localities. Although we conducted three extensive surveys during several years (2003–2004, 2010–2011, and 2011–2012), we could not detect any individual, nor eggs or tadpoles. We discuss some potential drivers of population declines and suggest that this species be declared as Possibly Extinct. However, we believe that additional surveys should be conducted with the aim to find new populations in other nearby localities and also to test for the presence and prevalence of chytrid fungus in the region. Finally, we do not have sufficient evidence to firmly establish which factors drove the decline of this species.

Keywords.— Colombia, Extinction, Harlequin frog, Amphibians, Andes.

Resumen.— El sapo Quimbaya, *Atelopus quimbaya*, es un bufónido pequeño endémico de los Andes en Colombia y categorizado como Críticamente Amenazado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza -IUCN-. Aquí, reportamos los avistamientos históricos y muestreos recientes realizados por nosotros en tres localidades donde el sapo Quimbaya fue registrado en el pasado. Los últimos registros del sapo Quimbaya fueron en 1994–1997 en estas tres localidades. Aunque realizamos muestreos extensivos recientemente (años 2003–2004, 2010–2011 y 2011–2012) ningún sapo Quimbaya fue detectado, así como tampoco huevos o renacuajos. Discutimos factores de riesgo de extinción potenciales que condujeron al declive poblacional de esta especie en la región y sugerimos que esta especie sea declarada como probablemente extinta. Sin embargo, recomendamos que los monitoreos biológicos continúen en la región con el fin de registrar poblaciones en localidades nuevas, asimismo para confirmar la presencia y prevalencia del hongo quitridio en la región. No tenemos evidencia sustancial para establecer los factores que probablemente condujeron al colapso poblacional de esta especie.

Palabras clave.— Colombia, Extinción, Rana arlequín, Anfibios, Andes.

INTRODUCTION

The Neotropical toad genus *Atelopus* (Bufonidae), with 96

currently recognized species, is one of the most diverse genera of vertebrates and is globally threatened as a group (Frost, 2017; IUCN, 2017). According to the IUCN Red List, there are 65 *Atelopus*

species classified as Critically Endangered with declining population trends, as well as 13 Endangered and four Vulnerable (IUCN, 2017). Population declines and extinction risk in *Atelopus* are caused to the combination of multiple stressors including habitat loss, fragmentation, pathogens (e.g., *Batrachochytrium dendrobatidis* -Bd-), and climate change (Pounds, 2001; La Marca et al., 2005; Ron et al., 2003). However, it is unclear why a few species remain stable whereas many others have not been seen in many years in sites with similar anthropic pressures and presence of Bd (Flechas et al., 2012; 2017; Rueda-Solano et al., 2015; 2016).

The conservation status of *Atelopus* species in Colombia is critical because approximately 80% of the 44 species occurring in the country face a serious extinction risk (Gómez-Hoyos et al., 2014; IUCN, 2017). Forty-one of 44 *Atelopus* species occur in the Andes region, but relatively recent field surveys have been able to obtain very few records for a few species (La Marca et al., 2005). Some of these recent occurrence records for Andean *Atelopus* in Colombia are restricted to the Sierra Nevada de Santa Marta (*Atelopus carrikeri*, *A. laettisimus*, and *A. nahumae*; Rueda-Solano et al., 2015, 2016; Pérez et al., 2017) and the eastern Andes (*A. subornatus*; Enciso-Calle et al., 2017). Despite extensive fieldwork in some of the type localities for Andean *Atelopus*, recent surveys have not resulted in recent sightings or discovery of new populations (e.g. *Atelopus quimbaya*; Gómez-Hoyos et al., 2017).

The Quimbaya toad, *Atelopus quimbaya*, is endemic to the Andes of Colombia and is known from only three localities on the western slope of the Central Andes. This species has been categorized as Critically Endangered by the IUCN due to its reduced geographical range, the potential presence of Bd in the area, and the confirmed presence of the invasive rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) (IUCN SSC Amphibian Specialist Group, 2017). Despite intensive effort to find *A. quimbaya* in these three localities we have no recent records, and the last records date back to 1994-1997 (J. D. Lynch and M. C. Ardila field notes; GHK unpublished data).

Here, we document the historical sightings and surveys conducted by us in the three localities where the Quimbaya toad was recorded in the past. We discuss potential extinction drivers in the region including the presence of the invasive rainbow trout and the potential presence of the chytrid fungus (Bd). We recommended that this species should be declared as possibly extinct. We also suggest that it is necessary to conduct further surveys in nearby localities with the aim to discover potential undetected populations of this species and test for the presence and prevalence of the chytrid fungus in this region. Also, we

recommend a systematic survey for other Andean *Atelopus* species with similar characteristics (e.g., *A. chocoensis*, *A. pictiventris*) that lack information about their current population status.

MATERIAL AND METHODS

Study area

We conducted an extensive literature review and specimen checking to compile all localities where *A. quimbaya* has been reported. Two localities are located within the buffer area of the Los Nevados National Park, and the other one is located 11 km north (Fig. 1). These localities are: La Montaña Nature Reserve (henceforth La Montaña) in the Quindío River watershed (Municipality of Salento, Quindío; between 4.45044°N, 75.6422°W and 4.65063°N, 75.45684°W), Ucumarí Regional Natural Park (henceforth Ucumarí) in the Otún River watershed (Municipality of Pereira, Risaralda; between 4.7007°N, 75.53469°W and 4.71694°N, 75.48767°W), and Río Blanco Forest Reserve, in the Hoyo Grande River adjacent to Las Palmas in La Navarra, Río Chinchiná watershed (Municipality of Manizales, Caldas; 5.090588°N and 75.395538°W), between 2200 and 2900 m of elevation (Ruiz-Carranza and Osorno-Muñoz, 1994; Kattan, 2005) (Fig. 1).

Historical and recent surveys

We compiled historical records and ecological data from voucher specimens of the Quimbaya toad deposited in the herpetological collection in the Instituto de Ciencias Naturales (ICN) at the Universidad Nacional of Colombia. These specimens were collected between 1989 and 1994 at La Montaña and Ucumarí, the type localities for the Quimbaya toad. During a trip between January and October 1996, additional sightings were made by GHK in Ucumarí. These sightings were made in the context of an ornithological study, thus the data on the presence of the Quimbaya toad were obtained opportunistically.

In the last two decades, we conducted three intensive systematic surveys directed to obtain records of the Quimbaya toad in the three historical localities: Ucumarí, La Montaña, and Río Blanco (Fig. 1). The first survey was conducted from September 2003 to February 2004 (except during December 2003) in Ucumarí. We conducted surveys each month in six streams to search for adult individuals and tadpoles. In addition, we conducted diurnal visual encounter surveys in the forest and installed 120 pitfall traps at 2200 m, 2400 m and 2600 m of elevation (40 traps at each elevation). These traps were distributed in the forest (20 traps in each elevation) and near streams (20 traps at each one). The second systematic survey was conducted in four localities (Ucumarí, La Montaña, La Picota, and Acaime;

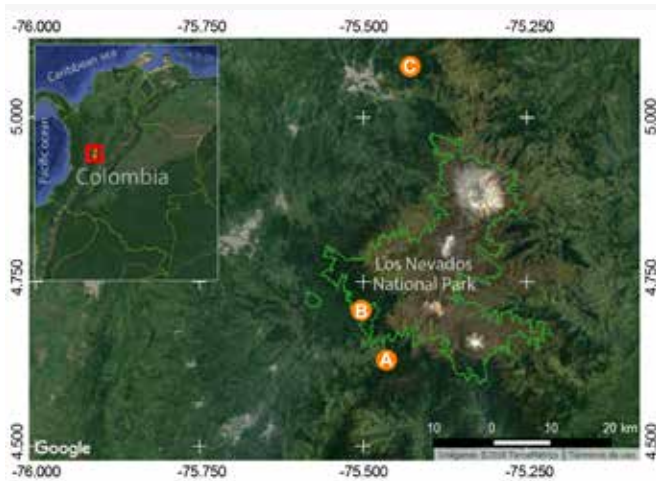


Figure 1. Historical distribution of the Quimbaya toad (*Atelopus quimbaya*) in the Central Andes of Colombia. A) La Montaña Nature Reserve, Río Quindío watershed (Salento, Quindío); B) Ucumarí Regional Natural Park, Río Otún watershed (Pereira, Risaralda); C) Río Blanco Forest Reserve, Río Chinchiná watershed (Manizales, Caldas).

Figura 1. Distribución histórica del sapo Quimbaya (*Atelopus quimbaya*) en los Andes Centrales de Colombia. A) Reserva Natural La Montaña, cuenca del Río Quindío (Salento, Quindío); B) Parque Regional Ucumarí, cuenca del Río Otún (Pereira, Risaralda); C) Reserva forestal Río Blanco Forest, cuenca del Río Chinchiná (Manizales, Caldas).

Fig. 1) between August 2010 and February 2011 in an elevational range between 2200–2800 m. In each locality we searched in twelve linear transects of variable length (mean 202 m $\pm$ 53.08) along eleven streams and used visual encounter surveys. The third survey was conducted between November 2011 and May 2012 in Río Blanco, as well as in other rivers in the adjacent area (La Guerra, Las Delicias, La Navarra, Pinares, Boquerón, Hoyo Grande and Martinica). We established several linear transects in these rivers, and we conducted visual encounter surveys in nearby wooded forested areas between 2600 and 3200 m of elevation. In all localities, we conducted detailed searches during the day (7:30 h - 17:30 h), checking under fallen trunks and rocks on edges of streams, as these correspond to microhabitats where Quimbaya toads have been found in the past (Ruíz-Carranza and Osorno-Muñoz, 1994).

Historical climate

To analyze historical climatic trends related to temperature, cloud cover and precipitation in the geographic range of the Quimbaya toad (Fig.1), we compiled data from the CRU-TS 3.10.01 Historic Climate Database for GIS (Harris et al., 2014; <http://www.cgiar-csi.org/data/uea-cru-ts-v3-10-01-historic-climate-database>) between 1948 and 1997. CRU TS3.10 contains monthly observations from meteorological stations across the world (Harris et al., 2014). We extracted the climatic information

for the entire polygon of the distribution of the Quimbaya toad. We preferred to use this coarse-grain time-series database because we are more interested in evaluating regional trends in climatic conditions instead of more fine-resolution temporal trends from the CHELSEA database. We analyzed five variables: precipitation, cloud cover, maximum temperature, minimum temperature, and diurnal temperature range. Temperature variables are in $^{\circ}\text{C} \times 10$. We downloaded the raster for each variable and extracted the data. We plotted box-and-whisker plots for each variable per year or decade (i.e., ten years prior to the last occurrence record of the Quimbaya toad: 1988–1997; five decades prior the last record: from 1948–1997 to 1988–1997) (data analysis available on: https://github.com/biodiego88/Material_suplementario_pub/tree/master/Quimbaya_toad_extinction_RevistaLatAmHerpetologia). Notches were drawn to detect differences among years or decades per variable (Chambers et al., 1983). We conducted data analyses using raster and rgdal packages for R language (R Core Team, 2017).

RESULTS

Historical and recent surveys

During five field trips to Ucumarí between 1989 and 1994, a total of 35 Quimbaya toad individuals were collected (Fig. 2 and 3). In two surveys conducted in 1990 and 1991, the relative abundance of the Quimbaya toads was 0.33 and 1.67 individuals per hour per person, respectively (based on field notes deposited in the herpetological collection of the ICN by J. H. Restrepo). Additionally, 18 specimens were obtained in one field trip to the Quindío River watershed in 1990. Tadpoles of the species were uncommon, with records at Las Delicias River in Ucumarí (ICN35776 and ICN35772, 23 June 1994; ICN35777, 26 June 1994), and La Pastora creek, a tributary of Otún River (ICN27301, 15 February 1991; ICN33217, 24 January 1993). Occasionally, some eggs were found in Monteloro River in Salento (ICN35774, undated) and Otún River tributaries (ICN27300; 19 November 1990; ICN27302, 15 February 1991).

In opportunistic observations at Ucumarí between 1994 and 1996 (GHK, *pers. obs.*), toads were recorded in 18 out of 34 monthly visits. All these records were obtained between 2200 and 2600 m. In four months between January and October 1996, one to six amplexant pairs were observed near streams (Fig. 2A), and females had prominent abdominal egg masses. Additionally, some egg masses were observed in the water (Fig. 2B). Other non-breeding records involved solitary individuals spread throughout the forest floor. The last record of the Quimbaya toad was on May 27, 1997, when an individual was found in the Río Blanco reserve, Las Palmas, Navarra farm near El Hoyo Grande

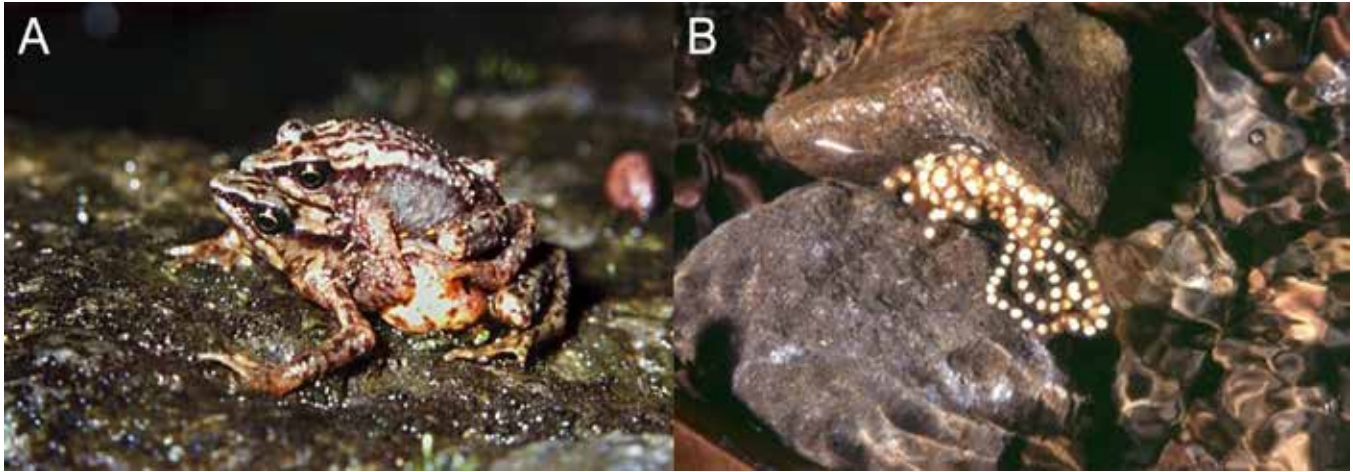


Figure 2. Amplexant pair (A) and eggs (B) of the Quimbaya toad (*Atelopus quimbaya*) recorded at Ucumari Regional Natural Park (Las Peñas, trail between El Cedral and La Pastora, 2200 m) during 1996 (photos: Gustavo Kattan).

Figura 2. Pareja en amplexo (A) y huevos (B) del sapo Quimbaya (*Atelopus quimbaya*) registrado en el Parque Natural Ucumari (Las Peñas, camino entre El Cedral y La Pastora, 2200 m) durante 1996 (fotos: Gustavo Kattan).

River (Fig. 3D).

In the surveys conducted between September 2003 and February 2004 we did not find toads or tadpoles. Furthermore, in surveys conducted between 2010 and 2011, we accumulated a sampling effort of 143 hours/person (with two persons sampling in each site), but no Quimbaya toads were detected, nor eggs or tadpoles. Although we did not record *A. quimbaya* during these surveys, we detected 10 amphibian species including *Pristimantis thectopternus*, *P. permixtus*, *P. uranobates*, *P. boulengeri*, *P. piceus*, *Pristimantis* sp., *Dendropsophus columbianus*, *Hyloscirtus larinygion*, and *Colostethus fraterdanieli*. Moreover, surveys carried out between November 2011 and May 2012 in Río Blanco were unsuccessful in finding the Quimbaya toads, but other amphibians were reported: *P. permixtus*, *P. uranobates*, *P. boulengeri*, *P. piceus*, *P. maculosus*, *Centrolene buckleyi*, and *Hyloscirtus larinygion*. Another species that was reported sympatric with *A. quimbaya* was *P. alalocophus* (abundant at that time), but our recent sampling has also failed to find it at any of these localities.

Historical climatic variability

We found no evidence of changes in precipitation during the last ten years and five decades before the last record of the Quimbaya toad (1996–1997; Fig. 4A, B). Cloud cover did not change significantly before the last decade (Fig. 4C), but we detected an increase in the last three decades (Fig. 4D). By contrast, we noted a decrease in maximum temperature (Fig. 4E, F) and an increase of minimum temperature (Fig. 4G, H), resulting in a decrease

in temperature range. The range of diurnal temperature also decreased during the last ten years and five decades prior to the last record of the Quimbaya toad (Fig. 4I, J).

DISCUSSION

Current population status

Atelopus quimbaya is categorized as Critically Endangered in the IUCN red list due to its restricted distribution, presence of invasive species in its natural habitat and the presence of *Bd* in the Andean region (IUCN SSC Amphibian Specialist Group 2017). Historical data for *A. quimbaya* are scarce and therefore do not allow us to estimate population size with any confidence. However, historical data suggest that the Quimbaya toad was relatively common in some localities and that it was possible to record it in incidental visits to these sites. We note that the last records of Quimbaya toad occurred at about the same time in two of the three localities (1997 in Río Blanco and 1996 in Ucumari). After our extensive sampling in the only three known localities and other nearby localities with similar habitat type, we recommend that this species should be declared as possibly extinct.

Potential extinction drivers for the Quimbaya toad Presence of the invasive rainbow trout

In the Otún and Quindío River basins there are two major rainbow trout farms, Pez Fresco S.A and Truchas Cocora, respectively. The rainbow trout was introduced in Quindío Department in 1953, in the Natural Reserve Navarco both in artificial ponds (for

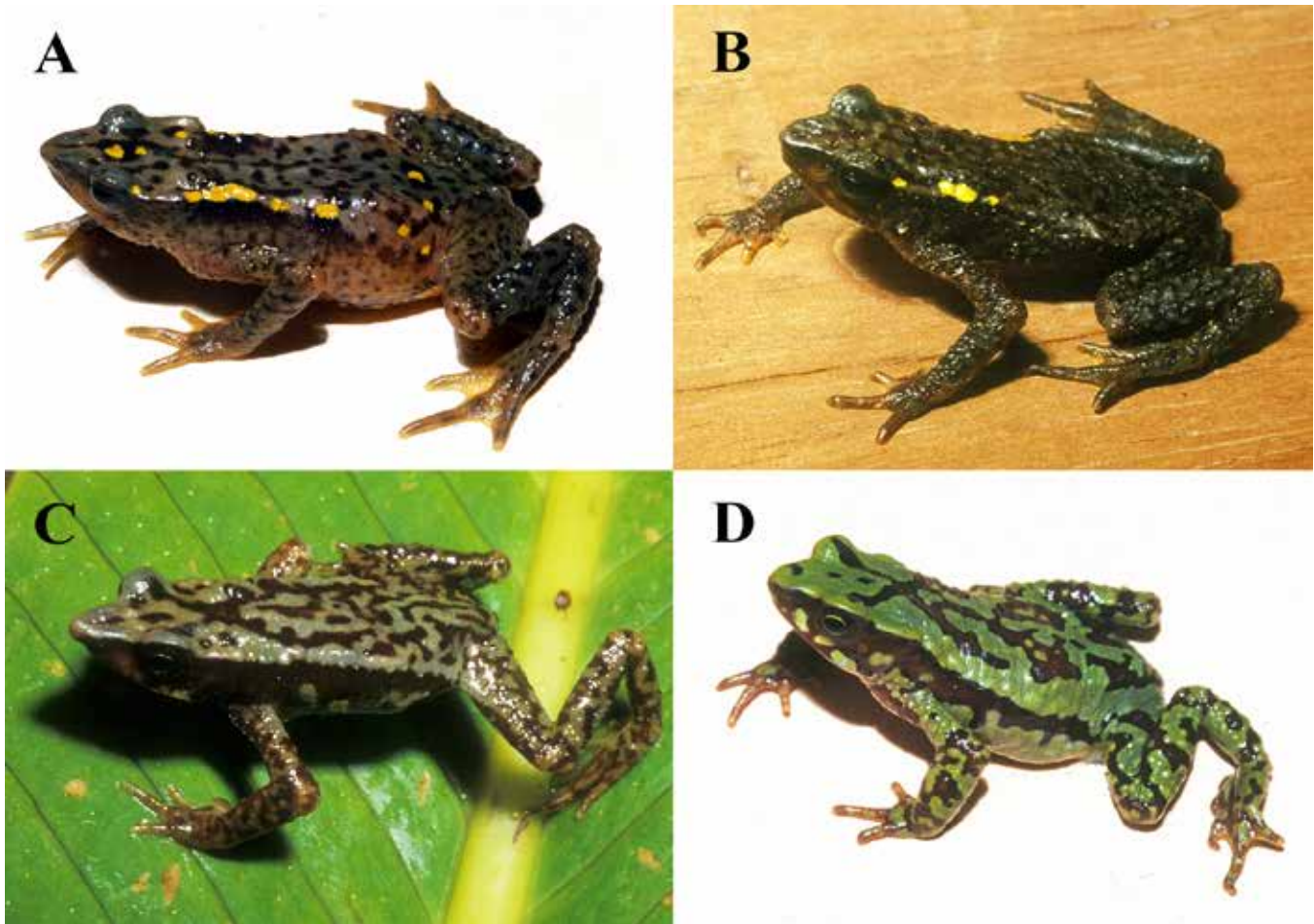


Figure 3. Record of the the Quimbaya toad. A) ICN13771 adult female (SVL 35.7; unspecified date) from Río Quindío watershed, Salento, Quindío (photo: John D. Lynch). B) ICN36142 adult female (SVL 33.3) collected at June 1994 in Ucumari Natural Regional Park, Pereira, Risaralda (photo: John D. Lynch). C) ICN36145 adult male (SVL 27.5) collected at June 1994 in Ucumari Natural Regional Park, Pereira, Risaralda (photo: J.D.Lynch). D) ICN38001 adult male (SVL 25.3; unspecified date) from Manizales, Caldas (photo: María Cristina Ardila-Robayo).

Figura 3. Registro del sapo Quimbaya. A) ICN13771 hembra adulta (SVL 35.7; fecha no específica) de la cuenca del Río Quindío, Salento, Quindío (foto: John D. Lynch). B) ICN36142 hembra adulta (SVL 33.3) y C) ICN36145 macho adulto (SVL 27.5) colectados en junio 1994 en el Parque Natural Regional Ucumari, Pereira, Risaralda (fotos: J.D.Lynch). D) ICN38001 macho adulto (SVL 25.3; fecha no específica) de Manizales, Caldas (foto: María Cristina Ardila-Robayo).

aquaculture) and rivers (Maya Gómez, 1984). Fish farming and sport fishing activities are tourist attractions in the Quindío and Otún river basins for both locals and foreigners. During our field surveys we detected the presence of rainbow trout in even small streams in both basins. We suggest that rainbow trout may be involved in the population decline of *A. quimbaya* through predation of mainly eggs and possibly tadpoles. One of us (GK) occasionally observed that *A. quimbaya* laid strings of eggs in small streams in the Otún river basin which would be vulnerable to predation by rainbow trout. The rainbow trout is also widespread in Río Blanco (GAGD pers. obs.). The potential negative effect of rainbow trout has been proposed for *Atelopus* species and documented for other amphibians (Ron et al., 2003;

La Marca et al., 2005; Martín-Torrijos et al., 2016). Although the timing of trout introduction does not coincide with the population declines, we suspect that trout population expansion occurred steadily to reach the toad's habitat only in the 1990s.

Land use change and land degradation

Historical localities were subject to intensive agricultural activities, mainly cattle ranching. After this habitat degradation, the stressor factors were stopped and localities are currently protected at the regional level (Vásquez and Serrano, 2009). We do not have any data on how cattle ranching and agriculture affected habitat quality in this region, and how these stressors affected the Quimbaya toad populations. Also, the species was

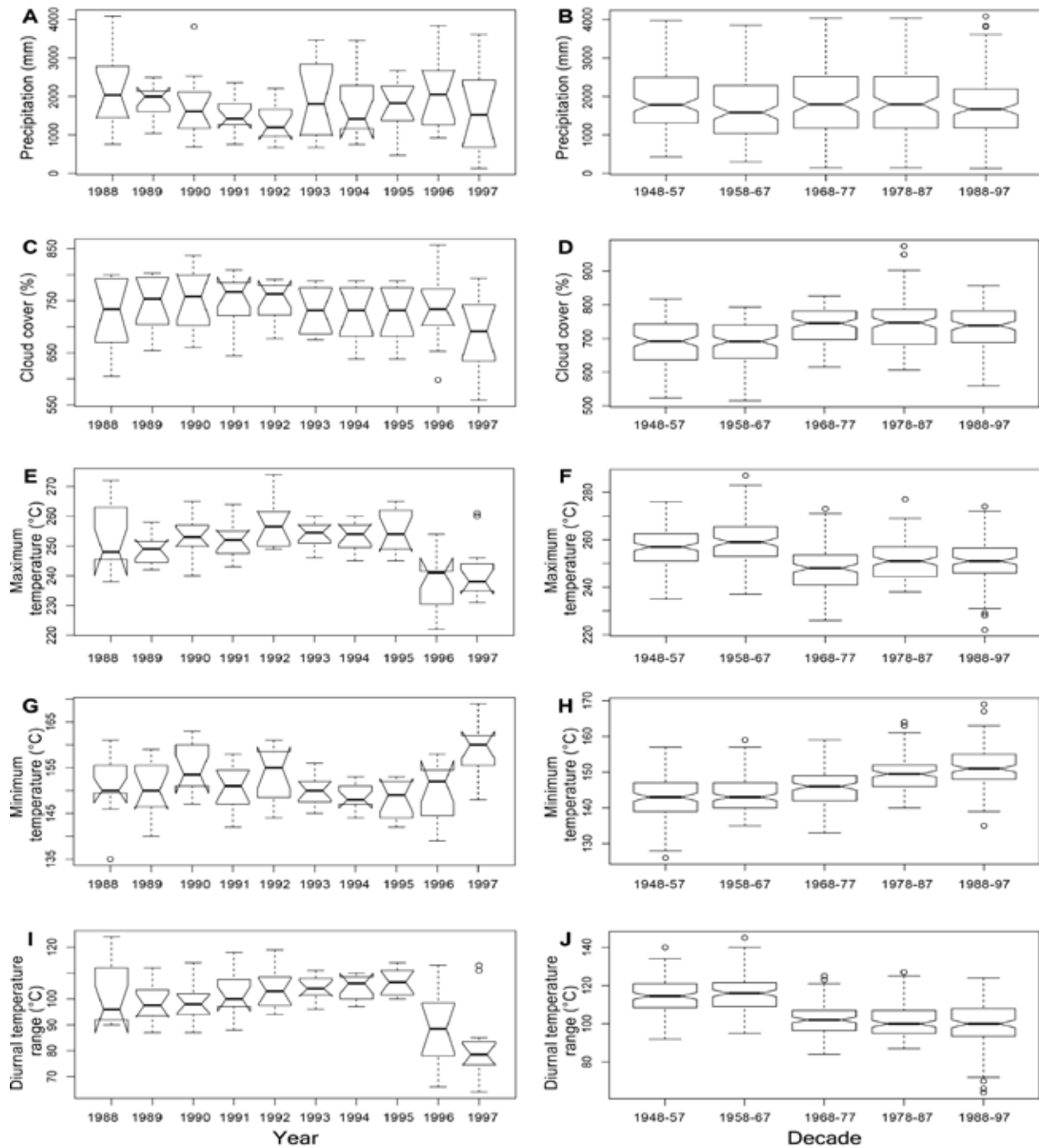


Figure 4. Box-and-whisker plots of historical temperature, cloud cover and precipitation trends within of the geographical range of the Quimbaya toad during the 10 years (left) and five decades (right) prior to the last observation of this species (1997). Climatic data were taken from the CRU-TS 3.10.01 (see main text for details).

Figura 4. Diagramas de cajas y bigotes de la temperatura histórica, nubosidad y tendencias de precipitación dentro del área de distribución del sapo Quimbaya durante los 10 años (izquierda) y cinco décadas (derecha) previos a la última observación de esta especie (1997). Los datos climáticos se tomaron de la CRU-TS 3.10.01 (ver el texto principal para más detalles).

reported close to these reforestation sites (Ruíz-Carranza and Osorno-Muñoz, 1994) and we assume that site protection could positively affect the Quimbaya toad. Therefore, past land use changes and land degradation were not likely related to the population declines and extinction of this species (La Marca et al., 2005).

Chytridiomycosis

The fungal disease chytridiomycosis has been related to population extirpations and extinction of many amphibian species all over the world. The genus *Atelopus* is considered one of the most susceptible groups and the vanishing of many species has been associated to the presence of *Batrachochytrium dendrobatidis* (La Marca et al., 2005). For Colombia, the earliest record of *Bd* is from an individual of *Hyloxalus fascianigrus* collected in 1994 in the Valle del Cauca (Velásquez et al., 2008). For *Atelopus* species, Ruíz and Rueda-Almonacid (2008) examined specimens of at least 37 species distributed in Colombia to detect presence of *Bd* using histological techniques. Only nine specimens of *A. quimbaya*, two collected in 1987 and seven in 1991, were included in the survey and they did not find evidence of *Bd* infection. More recently, skin swab samples from 14 specimens collected between 1979 and 1994 were analyzed using quantitative PCR. Again, we did not find signs of chytridiomycosis (SVF unpublished data). The reduced number of samples in both surveys (histology and molecular analysis) does not allow us to establish if *Bd* was involved in the decline of this species. Another species -*Pristimantis alalocophus*- associated with streams and micro-sympatric with *A. quimbaya* was not detected during our surveys and we believe this species is also possibly extirpated from these localities (Gómez-Hoyos et al., 2017). We suggest that an exhaustive examination of museum specimens and field surveys will be crucial to establish the timing of arrival and prevalence of the chytrid fungus in the region. Such studies would help to clarify the role of *Bd* in the population decline of the Quimbaya toad and its current impact on other amphibian species in the region.

Climate change effects

Changes in climatic conditions are indirect stressors causing declines in amphibians by acting synergistically with other factors such as emergent diseases and habitat degradation (Pounds, 2001; Pounds et al., 2006; Blaustein et al., 2010). Changes in historical climatic trends are a potential explanation of the decline and extinction of *Atelopus ignescens* in Ecuador; the year previous to the last record was unusually warm and dry (Ron et al., 2003). We found that some climatic conditions including cloud cover, decrease of maximum temperature, increase of minimum temperature, and reduction of the range

of diurnal temperature, changed during the last year before the last observation of *A. quimbaya*. Although cloud cover was initially related with the thermal optimum for *Bd* growth (Pound et al., 2006), when more robust statistical methods were used with the same data this relationship disappeared (Rohr et al., 2008). As we were unable to detect the presence of the *Bd* in the region where *A. quimbaya* occurred (but *Bd* presence has been confirmed in Colombia in other highland elevations; see Flechas et al., 2017), we cannot rule out the potential link between *Bd* and regional climate variability as a potential extinction driver for the Quimbaya toad. Furthermore, we cannot rule out a synergistic effect of multiple stressors driving amphibian declines (Pounds, 2001; Ron et al., 2003; Pounds et al., 2006; Sodhi et al., 2008; Blaustein et al., 2010), but we currently have no evidence. Therefore, we recommend an exhaustive survey of chytrid fungus combining information from museum specimens deposited in Colombian herpetological collections (e.g., ICN; UVC; MHUA; IAvH) and extensive field surveys to detect the presence and prevalence of *Bd*.

CONCLUSIONS

Here, we conclude that the Quimbaya toad, *Atelopus quimbaya*, should be declared as possibly extinct. We suggest that additional surveys should be conducted for other very rare Andean *Atelopus* with similar characteristics that have not been detected in the last 30 years (e.g., *A. choconesis* and *A. pictiventris*). We are unable to establish the causes of the presumed extinction of *A. quimbaya*, but we suspect that a combination of stressors including rainbow trout, undetected *Bd* in this region, and changes in climatic variability may have played a role in the extinction/decline of this species. We consider that an extensive survey of chytrid fungus and rainbow trout should be conducted in these known localities to establish the scope of the impact of these factors and how they are affecting other amphibian species. For example, a population of *Hyloscirtus larinyopygion* still survives at El Cedral (Ucumari, 2100 masl), but *Colostethus fraterdanieli* is the only common species in the Otún drainage between 1800 and 2100 masl (GHK pers. obs.). A long-term monitoring plan for amphibian species in the Andean region should be an integral part of any conservation efforts (e.g., *ex-situ* rescue programs and creation of additional local protected areas).

Acknowledgements.— This study was funded with grants from Mohamed Bin Zayed Fund (#0925632 grant) and John D. and Catherine T. MacArthur Foundation. Julian Velasco was supported by a postdoctoral fellowship DGAPA grant at Facultad de Ciencias of the Universidad Nacional Autónoma de México. Angélica Ruíz and José Vicente Rueda-Almonacid shared with us

details about *Bd* analysis in *Atelopus quimbaya*. We are grateful to CARDER, CORPOCALDAS, and the National Parks System for permits to conduct surveys in the region. Also, we express our gratitude to J. D. Lynch for allowing access to his field notes and sharing some information about historical surveys conducted for *Atelopus quimbaya*. We are grateful to John Lynch and Maria Cristina Ardila for providing photos and field notes.

LITERATURE CITED

- Blaustein, A.R., S.C. Walls, B.A. Bancroft, J.J. Lawler, C.L. Searle, and S.S. Gervasi. 2010. Direct and indirect effects of climate change on amphibian populations. *Diversity* 2:281–313.
- Chambers, J.M., W.S. Cleveland, B. Kleiner, and P.A. Tukey. 1983. Comparing data distributions. In graphical methods for data analysis. Wadsworth International Group. Belmont, USA.
- Enciso-Calle, M.P., A. Viuche-Lozano, M. Anganoy-Criollo, and M.H. Bernal. 2017. Rediscovery of *Atelopus subornatus* Werner, 1899 (Anura: Bufonidae), with a redescription of the tadpole. *Zootaxa* 4344:160–162.
- Flechas, S.V., A. Paz, A.J. Crawford., C. Sarmiento., A.A. Acevedo., A. Arboleda., W. Bolívar-G., C.L. Echeverry-Sandoval., R. Franco., C. Mojica., A. Muñoz., P. Palacios., A.M. Posso-Terranova., P. Quintero-Marín., L.A. Rueda-Solano., F. Castro-H, and A. Amézquita. 2012. Surviving chytridiomycosis: differential anti-Bd activity in bacterial isolates from three lowland species of *Atelopus*. *PLoS ONE* 7:e44832.
- Flechas, S.V., A. Blasco-Zúñiga, A. Merino-Viteri, V. Ramírez-Castañeda, M. Rivera, and A. Amézquita. 2017. The effect of captivity on the skin microbial symbionts in three *Atelopus* species from the lowlands of Colombia and Ecuador. *PeerJ* 5:e3594.
- Flechas, S.V., Paz, A., Crawford, A.J., Sarmiento, C., Acevedo, A.A., Arboleda, A., Munoz, A., Amézquita, A. (2017). Current and predicted distribution of the pathogenic fungus *Batrachochytrium dendrobatidis* in Colombia, a hotspot of amphibian biodiversity. *Biotropica*, 49, 685–694.
- Frost, D.R. 2017. Amphibian species of the world: an online reference. Version 6.0 (Date of access). Electronic database accessible at <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html>. American Museum of Natural History, New York, USA. [Consulted on February 2018]
- Gómez-Hoyos, D.A., W. Bolívar-G., C.E. Burbano-Yandi, and J.L. García. 2014. Evaluación poblacional y estrategia de monitoreo para *Atelopus spurrelli* en el Parque Nacional Natural Utría, Colombia. *Revista de Biodiversidad Neotropical* 4:54–62.
- Gómez-Hoyos, D.A., C.A. Ríos-Franco, J. Vanegas-Guerrero, J.A. Velasco, and J.F. González-Maya. 2017. Estado y prioridades de conservación de los anfibios del departamento del Quindío, Colombia. *Arxius de Miscellània Zoològica* 15:207–223.
- Harris, I., P.D. Jones, T.J. Osborn, and D.H. Lister. 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology* 34:623–642.
- IUCN. 2017. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017-3. <http://www.iucnredlist.org>. [Consulted on February 2018]
- IUCN SSC Amphibian Specialist Group. 2017. *Atelopus quimbaya*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T54545A49537609. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.R.LTS.T54545A49537609.en>. [Consulted on February 2018]
- Kattan, G. 2005. *Atelopus quimbaya*. In J. V. Rueda-Almonacid, J. V. Rodríguez-Mahecha, E. La Marca, S. Lötters, T. Kahn, and A. Angulo (Eds.). *Ranas arlequines*. Conservación Internacional, Bogotá, Colombia.
- La Marca, E., K.R. Lips, S. Lötters, R. Puschendorf, R. Ibáñez, J.V. Rueda-Almonacid, R. Schulte, C. Marty, F. Castro, J. Manzanilla-Puppo, J.E. García-Pérez, F. Bolaños, G. Chaves, J.A. Pounds, E. Toral, and B.E. Young. 2005. Catastrophic population declines and extinctions in Neotropical Harlequin Frogs (Bufonidae: *Atelopus*). *Biotropica* 37:190–201.
- Martín-Torrijos, L., J.V. Sandoval-Sierra, J. Muñoz, J. Diéguez-Uribeondo, J. Bosch, and J.M. Guayasamin. 2016. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) threaten Andean amphibians. *Neotropical Biodiversity* 2:26–36.
- Maya Gómez, L.F. 1984. Fundamentos de piscicultura. División de Recursos Naturales, Sección Aguas, CRQ. Impresores del Quindío. Armenia, Colombia.
- Pérez, J.L., N. Roach, and L.A. Rueda. 2017. *Atelopus carrikeri* (Guajira Stubfoot Toad) and *Atelopus laetissimus* (Santa Marta Harlequin Frog). Interspecific amplexus. *Herpetological Review* 48:602–604.
- Pounds, J.A. 2001. Climate and amphibian declines. *Nature* 410:639–

640.

- Pounds, J.A., M.R. Bustamante, L.A. Coloma, J.A. Consuegra, M.P.L. Fogden, P.N. Foster, E. La Marca, K.L. Masters, A. Merino-Viteri, R. Puschendorf, S.R. Ron, G.A. Sánchez-Azofeifa, C.J. Still, and B.E. Young. 2006. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature* 439:161–167.
- R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Rohr, J.R., T.R. Raffel, J.M. Romansic, H. McCallum, and P.J. Hudson. 2008. Evaluating the links between climate, disease spread, and amphibian declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105:17436–17441.
- Ron, S.R., W.E. Duellman, L.E. Coloma, and M. Bustamante. 2003. Population decline of the Jambato toad *Atelopus ignescens* (Anura: Bufonidae) in the Andes of Ecuador. *Journal of Herpetology* 37:116–126.
- Rueda-Solano, L.A., F. Vargas-Salinas, and M. Rivera-Correa. 2015. The highland tadpole of the harlequin frog *Atelopus carrikeri* (Anura: Bufonidae) with an analysis of its microhabitat preference. *Salamandra* 51:25–32.
- Rueda-Solano, L.A., S.V. Flechas, M. Galvis-Aparicio, A.A. Rocha-Usuga, E.J. Rincón-Barón, B. Cuadrado-Peña, and R. Franke-Ante. 2016. Epidemiological surveillance and amphibian assemblage status at the Estación Experimental de San Lorenzo, Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Amphibian & Reptile Conservation* 10:7–19.
- Ruíz, A., and J.V. Rueda-Almonacid. 2008. *Batrachochytrium dendrobatidis* and chytridiomycosis in anuran amphibians of Colombia. *EcoHealth* 5(1):27–33.
- Ruíz-Carranza, P.M., and M. Osorno-Muñoz. 1994. Tres nuevas especies de *Atelopus* A.M.C. Dumeril y Bibron 1841 (Amphibia: Bufonidae) de la Cordillera Central de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias* 19:165–179.
- Vásquez, V.H., and M.A. Serrano. 2009. Las áreas naturales protegidas de Colombia. *Conservación Internacional –Colombia & Fundación Biocolombia*. Bogotá, Colombia.
- Velásquez, B.E., F. Castro, W. Bolívar, and M.I. Herrera. 2008. Infección por el hongo quitridio *Batrachochytrium dendrobatidis* en anuros de la Cordillera Occidental de Colombia. *Herpetotrópicos* 4(2):65–70.



SAUROLEISHMANIA, PROTOZOARIOS ASOCIADOS CON REPTILES: DISTRIBUCIÓN, VECTORES Y HOSPEDEROS

SAUROLEISHMANIA, PROTOZOARIES ASSOCIATED WITH REPTILES: DISTRIBUTION, VECTORS AND HOSPEDEROS

YOKOMI NISEI LOZANO-SARDANETA¹, PABLO COLUNGA-SALAS^{1*}, LAURA SÁNCHEZ-PINEDA¹, SOKANI SÁNCHEZ-MONTES¹ E INGEBORG BECKER^{1,2}

¹Centro de Medicina Tropical, Unidad de Investigación en Medicina Experimental, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México 06726, México.

²Laboratorio de Inmunoparasitología, Unidad de Investigación en Medicina Experimental, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México 06726, México.

*Correspondence author: colungasalas@gmail.com

Abstract.— Reptiles represent a megadiverse group of vertebrates, which has established multiple interactions with other species. Frequently they are infected by endoparasites, such as helminths, and protozoa. Within this last group, we find some kinetoplastids of the genus *Leishmania*, in particular of the subgenus *Sauroleishmania*, commonly known as the "lizard Leishmania", which are transmitted by phlebotomines of the genus *Sergentomyia*. This subgenre has been little studied, and many publications represent isolated records. Therefore, this work summarizes the current knowledge of the *Sauroleishmania* species, updating the parasite-host relationship and geographical distribution, as a result of an exhaustive search of the literature published in specialized databases. We identified 14 species of the *Sauroleishmania* subgenus, associated with 28 species of reptiles of seven families (Agamidae, Chamaeleonidae, Gekkonidae, Iguanidae, Lacertidae, Phyllodreaclyidae, and Teiidae) that are distributed in the Old World. However, records were also recovered in South America, associated with *Anolis* sp., *A. carolinensis*, *T. mauritanica*, as well as in human mummies, which is relevant since several of these species were introduced to the Neotropical region from the Old World.

Keywords.— *Leishmania*, reptiles, phlebotomines, host, parasites.

Resumen.— Los reptiles son un grupo megadiverso de vertebrados que han establecido múltiples interacciones con otras especies. Frecuentemente pueden estar parasitados por endoparásitos, tanto helmintos como protozoarios. Dentro de este último grupo encontramos algunos kinetoplástidos del género *Leishmania* y en particular del subgénero *Sauroleishmania*, conocidos como la "Leishmania de las lagartijas", que son transmitidos por flebotominos del género *Sergentomyia*. Este subgénero ha sido poco estudiado y muchas publicaciones representan registros aislados. Por lo tanto, el presente trabajo resume el conocimiento actual de las especies de *Sauroleishmania*, actualizando la relación parásito-hospedero y la distribución geográfica, como resultado de una búsqueda exhaustiva de la literatura publicada en bases de datos especializadas. Se identificaron 14 especies del subgénero *Sauroleishmania*, asociadas con 28 especies de reptiles de las familias Agamidae, Chamaeleonidae, Gekkonidae, Iguanidae, Lacertidae, Phyllodreaclyidae y Teiidae que se distribuyen en el Viejo Mundo. Sin embargo, también se recuperaron registros en América del Sur, asociados con especies de *Anolis* sp., *A. carolinensis*, *T. mauritanica*, así como en momias humanas, esto resulta relevante ya que varias de estas especies fueron introducidas del Viejo Mundo a la región Neotropical, y actualmente son especies de amplia distribución en el continente.

Palabras clave.— *Leishmania*, reptiles, flebotominos, hospedero, parásito.

INTRODUCCIÓN

Los reptiles frecuentemente pueden estar infectados por parásitos entéricos como: protozoarios (flagelados, ciliados, amibianos, coccideos) y helmintos (nemátodos y céstodos), así como por ectoparásitos. Dentro de los protozoarios, encontramos algunos kinetoplástidos del género *Leishmania* (Kinetoplastida: Trypanosomatida: Trypanosomatidae) (Halla et al., 2014; Hassan et al., 2015).

El género *Leishmania* (L.) engloba múltiples agentes causales de un grupo de enfermedades transmitidas por flebotominos (Diptera: Psychodidae: Phlebotominae), conocidas como leishmaniasis [con tres manifestaciones clínicas: cutánea, mucocutánea y visceral] (Yang et al., 2013; Novo et al., 2015; Akhoundi et al., 2016). Esta enfermedad es de interés en salud pública, ya que afecta a más de 12 millones de personas en regiones tropicales y subtropicales a nivel mundial (Barratt et al., 2017) y cada año se registran de 1.5-2 millones de casos nuevos en 98 países (OMS 2010; Alvar et al., 2012).

El género *Leishmania* agrupa aproximadamente 53 especies, clasificadas en tres subgéneros: *Leishmania* (con distribución en el Nuevo y Viejo Mundo), *Viannia* (América del Sur) y *Sauroleishmania* (Viejo Mundo), así como en los complejos *L. enrietti* y *Paraleishmania* [exclusivos de América] (Momen y Cupolillo, 2000; Akhoundi et al., 2016). De todas las especies conocidas, sólo 20 son consideradas patógenas de humanos, mientras que el resto, generalmente están relacionadas con reptiles y mamíferos [principalmente roedores] (Noyes et al., 1997; Luyo-Acero et al., 2004; Akhoundi et al., 2016; Coughlan et al., 2017).

El subgénero *Sauroleishmania* (S.) (Ranquein 1973) también conocido como “*Leishmania* de lagartijas” es un grupo monofilético, el cual ha tenido varios cambios taxonómicos a lo largo del tiempo (Croan y Ellis, 1996; Bates, 2007). Este subgénero agrupa 21 taxa con 19 especies válidas que parasitan exclusivamente reptiles y que presentan una distribución restringida al Viejo Mundo (Stevens et al., 2001; Akhoundi et al., 2016; Coughlan et al., 2017).

Pocos estudios se han realizado acerca de las formas de transmisión y desarrollo del parásito dentro del vector, sin embargo, hasta el momento el único grupo de vectores comprobados son flebotominos del género *Sergentomyia* (Gomez-Eichelmann et al., 1988; Noyes et al., 1997). El flebotomino adquiere al parásito durante la alimentación, ya que éste se encuentra circulando como promastigote extracelular o

amastigote, en células parecidas a monocitos o eritrocitos dentro del reptil (Bates, 2007; Zhang et al., 2016). Una vez dentro del vector, el parásito se aloja en la porción posterior del intestino a lo que se le conoce como desarrollo hipopilaria, lo cual es característico de este grupo ya que los otros subgéneros pueden tener diferentes formas de desarrollo intravectorial [peripilaria o suprapilaria] (Croan y Ellis, 1997; Noyes et al., 1997; Bates, 2007; Akhoundi et al., 2016). Posteriormente, los promastigotes se multiplican, aunque se desconoce si existen otras fases metacíclicas (Novo et al., 2015). Por otro lado, también se sugiere que el parásito se transmite cuando el reptil ingiere flebotominos infectados con *Sauroleishmania*, ya que el parásito puede llegar al torrente sanguíneo del hospedero a través de las superficies mucosas del intestino o la cloaca (Bates 2007; Sadlova et al., 2013).

Hasta el momento, las especies de *Sauroleishmania* no son consideradas patógenas para el humano, sin embargo, su estudio resulta de gran interés ya que son utilizadas como modelo para el estudio molecular y bioquímico, por su alta capacidad de replicación y por no causar daño a la salud (Noyes et al., 1988; Coughlan et al., 2017). Una de las especies más utilizadas es *Leishmania (Sauroleishmania) tarentolae* (Bates, 2007), especie que actualmente se sabe carece de 250 genes que están relacionados con factores de patogenicidad en mamíferos, los cuales se expresan durante las etapas intracelulares del parásito (Raymond et al., 2012).

VECTORES DE *Sauroleishmania*

Hasta el momento únicamente especies de flebotominos del género *Sergentomyia*, se reconocen como vectores de este grupo de protozoarios (Motazedian et al., 1996; Poinar Jr. y Poinar 2004; Hassan et al., 2015). Dentro del género *Sergentomyia*, se encuentran 10 subgéneros los cuales presentan amplia distribución en el Viejo Mundo, éstos se caracterizan por tolerar diferentes tipos de ambientes, por lo que su distribución comprende las regiones Afrotropical, Oriental, Australasia, la subregión India, África subsahariana y Asia (Bates, 2007; Sadlova et al., 2013; Akhoundi et al., 2016).

Estos dípteros se alimentan principalmente de vertebrados de sangre fría aunque se sabe que pueden alimentarse ocasionalmente de mamíferos (Bates, 2007). Debido a que se resguardan en madrigueras de algunos roedores y pueden tener contacto con reptiles, favoreciendo infecciones entre ambos grupos de vertebrados (Noyes et al., 1997), como es el caso de *Leishmania donovani* y *Leishmania tropica*, especies patógenas de humanos, que se han reportado en lagartijas (Zhang et al., 2016).

Es importante resaltar que dentro del género *Sergentomyia* existen especies que no son consideradas vectores de *Sauroleishmania*, especies que sólo transmiten a este subgénero y especies que también pueden transmitir a otras especies *Leishmania* (Akhoundi et al., 2016; Zhang et al., 2016).

Ya que la distribución de estos dípteros está restringida al Viejo Mundo, se cree que la relación parásito-vector, data del Cretácico y que además se originó en la región Paleártica, ya que existe evidencia de eritrocitos de reptil, promastigotes en el intestino medio y amastigotes en la probóscide de algunos fósiles de flebotominos (Kerr, 2000; Akhoundi et al., 2016). Algunos estudios sugieren que la incidencia de la infección probablemente fue alta, seguramente a causa de la adaptación del ciclo digenio entre el tripanosomátido y sus hospederos que probablemente eran dinosaurios (Poinar Jr. y Poinar, 2004).

HOSPEDEROS DE *Sauroleishmania*

Hasta el momento se conocen 36 especies de reptiles que fungen como hospederos de *Sauroleishmania*, las cuales se agrupan en siete familias: Lacertidae, Iguanidae, Agamidae, Gekkonidae, Chamaeleonidae, Phyllodactylidae y Teiidae. Estos se distribuyen en 21 países, siendo Turkmenistán el país que tiene mayor número de registros de hospederos y especies de *Sauroleishmania* con nueve registros respectivamente, seguido de Irán con siete registros de hospederos y cuatro especies de *Sauroleishmania*, mientras que el resto de los países reportan poca diversidad de hospederos y especies del protozoario (Tabla 1).

El primer registro de *Sauroleishmania* fue reportado en *Tarentola mauritanica* (en 1921), del cual se aisló por primera vez *L. (S.) tarentolae* (Raymond et al., 2012). Las especies de la familia Gekkonidae son de las más representativas, principalmente aquellas del género *Hemidactylus* (Noyes et al., 1997), así como algunas especies de la familia Lacertidae (Momen y Cupolillo, 2000). Algunos autores como Poinar Jr. y Poinar (2004), señalan que estos parásitos también pueden estar presentes en serpientes y que muy probablemente los dinosaurios estuvieron infectados durante el Cretácico.

A diferencia de las especies de *Leishmania* que parasitan mamíferos, las especies de *Sauroleishmania* en su fase de promastigote se encuentran circulando en el torrente sanguíneo o en el lumen de la cloaca o intestino, por lo que no afectan directamente a los órganos viscerales del hospedero, ya que además los amastigotes pueden estar libres o dentro de monocitos (Poinar Jr. y Poinar, 2004; Raymond et al., 2012). Aunque, se sabe que *L. (S.) tarentolae* es capaz de infectar

células fagocíticas de humanos y diferenciarse en amastigote, la replicación no es eficiente (Novo et al., 2015). Otras especies como *L. (S.) adleri* pueden causar una leishmaniasis cutánea transitoria en humanos y perros, además de causar infecciones en condiciones de laboratorio, de hasta cinco semanas en hámsters y ratones (Coughlan et al., 2017).

Esto último puede complementarse con hallazgos obtenidos en lagartijas en China (Tabla 1), los cuales mencionan que las especies de *Sauroleishmania* al tener poca especificidad hospedatoria, es probable que desempeñan un papel importante como reservorios de leishmaniasis humana, pues se sabe que las especies causantes de leishmaniasis visceral humana y canina están relacionadas con las especies de *Sauroleishmania*, aunque es necesario seguir investigando acerca de las interacciones entre el parásito, el vector y el hospedero para mejor entendimiento de su epidemiología (Yang et al., 2013; Zhang et al., 2016).

ORIGEN PALEÁRTICO DE *Sauroleishmania*

La teoría del origen Paleártico, sugiere que el género *Leishmania* se originó en reptiles durante el Cretácico en el Viejo Mundo, disminuyendo su incidencia durante el Cenozoico a causa del enfriamiento de la Tierra, ocasionando el cambio de hospedero reptil a mamífero. Este cambio de preferencias alimenticias probablemente estuvo relacionado a que las madrigueras de roedores proveen alta humedad y protección del frío (Kerr, 2000; Akhoundi et al., 2016).

Esta teoría se apoya de evidencia fósil de ~100 ma del Cretácico proveniente de la región Paleártica, de un ancestro de *Sauroleishmania* llamado *Paleoleishmania proterus* recuperado de la probóscide e intestino del flebotomino *Palaeomyia burmitis*, sustentando que los reptiles fueron los principales hospederos de las primeras especies de *Leishmania* con ciclo digenio (Barratt et al., 2017).

ORIGEN NEOTROPICAL DE *Sauroleishmania*

La teoría del origen Neotropical de *Leishmania*, sugiere que el género *Leishmania* se dispersó en roedores cricétidos, durante el Eoceno (35-33 ma) por el Estrecho de Bering y durante el Mioceno (24-6 ma) por el puente de Panamá, ocasionando una acelerada evolución de especies comparado con el Viejo Mundo (Croan y Ellis 1997; Noyes et al., 1997). Posiblemente relacionado con el cambio de topografía, cambio climático y aislación, favoreciendo la evolución del protozoario en nuevas especies de vectores y reservorios (Akhoundi et al., 2016). Esta hipótesis por lo tanto sugiere que el subgénero *Sauroleishmania* evolucionó durante el Mioceno, principalmente en Asia central, como resultado del cambio alimenticio de mamíferos a reptiles (Noyes et al., 1997;

Tabla 1. Listado de reptiles infectados con especies de *Sauroleishmania* a nivel mundial.**Table 1.** List of reptiles infected with *Sauroleishmania* species worldwide.

Especies de <i>Sauroleishmania</i>	Hospederos	País	Referencia
<i>Leishmania adleri</i>	<i>Paralaudakia microlepis</i>	Irán	Kazemi et al., 2004
<i>Leishmania adleri</i>	<i>Latastia longicaudata revouli</i>	Kenia	Heisch, 1958
<i>Leishmania adleri</i>	<i>Latastia longicaudata</i>	Turkmenistán	Garnham, 1971
<i>Leishmania agamae</i>	<i>Trapelus sanguinolentus</i>	Turkmenistán	Garnham, 1971
<i>Leishmania agamae</i>	<i>Stellagama stellio</i>	Turkmenistán	Garnham, 1971
<i>Leishmania agamae</i>	<i>Stellagama stellio</i>	Israel	David, 1929
<i>Leishmania agamae</i>	<i>Stellagama stellio</i>	Palestina	Telford, 2009
<i>Leishmania agamae</i>	<i>Stellagama stellio</i>	Líbano	Telford, 2009
<i>Leishmania ceramodactyli</i>	<i>Stenodactylus doriae</i>	Israel	Adler y Theodor, 1929
<i>Leishmania ceramodactyli</i>	<i>Stenodactylus doriae</i>	Irak	Adler y Theodor, 1929
<i>Leishmania ceramodactyli</i>	<i>Stenodactylus doriae</i>	Turkmenistán	Garnham, 1971
<i>Leishmania chameleonis</i>	<i>Phrynocephalus mystaceus</i>	Egipto	Telford, 2009
<i>Leishmania chameleonis</i>	<i>Chamaleo chamaeleon</i>	Egipto	Wenyon, 1928
<i>Leishmania gulikae</i>	<i>Paralaudakia</i>	Irán	Ovezmukhammedov y Saf'janova 1987
<i>Leishmania gymnodactyli</i>	<i>Tenuidactylus caspius</i>	Turkmenistán	Garnham, 1971
<i>Leishmania hemidactyli</i>	<i>Hemidactylus brookii</i>	Turkmenistán	Garnham, 1971
<i>Leishmania henrici</i>	<i>Anolis marmoratus</i>	Isla Martinica	Leger, 1918
<i>Leishmania henrici</i>	<i>Anolis sp.</i>	Turkmenistán	Garnham, 1971
<i>Leishmania hoogstraali</i>	<i>Hemidactylus turcicus</i>	República del Sudán	McMillan, 1965
<i>Leishmania hoogstraali</i>	<i>Hemidactylus turcicus</i>	República del Sudán	McMillan, 1965
<i>Leishmania hoogstraali</i>	<i>Hemidactylus turcicus</i>	República del Sudán	McMillan, 1965
<i>Leishmania hoogstraali</i>	<i>Hemidactylus turcicus</i>	República del Sudán	McMillan, 1965
<i>Leishmania hoogstraali</i>	<i>Tarentola annularis</i>	Senegal	Desjeux y Waroq, 1981
<i>Leishmania platycephala</i>	<i>Hemidactylus platycephalus</i>	Tanzania	Telford, 1995
<i>Leishmania senegalensis</i>	<i>Tarentola annularis</i>	Senegal	Desjeux y Waroquy, 1981
<i>Leishmania sofieffi</i>	<i>Phrynocephalus guttatus</i>	Rusia	Markov et al., 1964
<i>Leishmania sp.</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	Italia	Franchini 1921
<i>Leishmania sp.</i>	<i>Eremias vermiculata</i>	China	Zhang et al., 2016
<i>Leishmania sp.</i>	<i>Eremias velox roborowskii</i>	China	Zhang et al., 2016
<i>Leishmania sp.</i>	<i>Eremias multiocellata</i>	China	Zhang et al., 2016
<i>Leishmania sp.</i>	<i>Phrynocephalus axillaris</i>	China	Zhang et al., 2016
<i>Leishmania sp.</i>	<i>Tenuidactylus elongatus</i>	China	Zhang et al., 2016

Especies de <i>Sauroleishmania</i>	Hospederos	País	Referencia
<i>Leishmania</i> sp./ Probablemente <i>Leishmania agamiae</i>	<i>Stellagama stellio</i>	Líbano	Edeson y Himo 1973
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Mediodactylus kotschy</i>	Argelia	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Mediodactylus kotschy</i>	Francia	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Mediodactylus kotschy</i>	República de Malta	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Mediodactylus kotschy</i>	República del Sudán	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Mediodactylus kotschy</i>	España	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Mediodactylus kotschy</i>	Túnez	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola annularis</i>	República del Sudán	Elwasila, 1988
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	Egipto	Wenyon, 1928
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	Turkmenistán	Garnham, 1971
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	Argelia	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	Francia	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	República de Malta	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	República del Sudán	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	España	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	Túnez	Telford, 2009
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Mediodactylus kotschy</i>	Italia	Pozio et al., 1983
<i>Leishmania tarentolae</i>	<i>Tarentola mauritanica</i>	Francia	Rioux et al., 1969
<i>Leishmania zmeevi</i>	<i>Eremias arguta</i>	Rusia	Markov et al., 1964
<i>Leishmania zmeevi</i>	<i>Eremias intermedia</i>	Turkmenistán	Garnham, 1971
<i>Leishmania zmeevi</i>	<i>Eremias velox</i>	Rusia	Markov et al., 1964
<i>Leishmania zuckermani</i>	<i>Chondrodactylus turneri</i>	Sudáfrica	Paperna et al., 2001

Kerr, 2000; Akhouni et al., 2016).

ORIGEN NEOTROPICAL/AFRICANO DE *Sauroleishmania* (O DEL ORIGEN MÚLTIPLE)

De acuerdo con esta teoría, el género *Leishmania* tenía un ancestro común el cual existió antes de la separación de Gondwana. Y ya que las condiciones ambientales, climáticas y geográficas eran óptimas, permitió el movimiento de *Leishmania*, así como de hospederos y vectores entre el Viejo y el Nuevo Mundo (Barratt et al., 2017). Ocasionando la divergencia de este protozooario en *Euleishmania* para el Viejo Mundo (*Leishmania* y *Sauroleishmania*) y en *Viannia* y *Paraleishmania* en América [*Endotrypanum* y *Porcisia*] (Akhouni et al., 2016; Barratt et al., 2017; Steverding, 2017).

Esta teoría supone que el género *Leishmania* se originó en mamíferos durante el Mesozoico en Gondwana, por lo que la ausencia del subgénero *Sauroleishmania* en el Nuevo Mundo, es debido a que la adaptación a reptiles fue posterior a la separación de Gondwana (Steverding, 2017).

RELACIONES FILOGENÉTICAS DEL SUBGÉNERO *Sauroleishmania*

A lo largo de la historia se han implementado diversas metodologías para la clasificación y diferenciación entre especies del género *Leishmania* (Motazedian et al., 1996). Como ya se mencionó, existen diversas hipótesis de cómo se diversificaron estas especies, sin embargo hasta el momento ninguna es completamente aceptada y es un tema que sigue en debate (Akhouni et al., 2016).

Con base en análisis filogenéticos, se sabe que *Sauroleishmania* está conformado por un grupo monofilético (Croan y Ellis, 1997; Stevens et al., 2001; Akhoundi et al., 2016), sin embargo, dependiendo de los genes que se utilicen (mitocondriales o nucleares) pueden existir diferencias filogenéticas, ya que *Sauroleishmania*, puede estar emparentado con los subgéneros *Leishmania* o *Viannia*, por lo que se cree que existe la posibilidad de transferencia horizontal de genes (Noyes et al., 1997; Luyo-Acero et al., 2004; Yang et al., 2013; Coughlan et al., 2017). *Sauroleishmania* y *Leishmania*, se muestran como grupos hermanos frecuentemente, además, se tiene evidencia de que comparten un ancestro de ~42 ma, por lo que es probable que *Sauroleishmania* evolucionara como resultado de un cambio en el ciclo de vida del parásito, adaptándose a reptiles y posteriormente con el auge de los mamíferos divergieron el resto de los grupos conocidos de *Leishmania* (Croan y Ellis, 1996, 1997; Noyes et al., 1997; Momen y Cupolillo 2000; Coughlan et al., 2017).

Por otro lado, otras hipótesis filogenéticas suponen que *Sauroleishmania* se originó secundariamente de especies de mamíferos (Croan y Ellis, 1997; Bates, 2007), lo cual podría explicar su relación filogenética con el subgénero *Viannia*, parásito de mamíferos restringido a América del Sur. Es claro que a pesar del conocimiento que se tiene sobre este grupo, aún existen incongruencias que necesitan resolverse. No obstante, existe una gran posibilidad de que este protozoario pudo haber evolucionado a partir de tripanosomátidos de mamíferos, lo cual resultaría de relevancia para el estudio de especies patógenas (Noyes et al., 1988).

CONTINENTE AMERICANO

En un estudio realizado por Leger (1918), se reporta la presencia de un flagelado que corresponde posiblemente a la especie *Leishmania* (S.) *henrici* en dos ejemplares de un total de 30 analizados de la lagartija *Anolis marmoratus* en Isla Martinica.

Mientras que en 1974 se realizó un estudio experimental para conocer si algunos reptiles de la familia Teiidae (*Cnemidophorus sexlineatus* y *Ameiva quadrilineata*) e Iguanidae (*Anolis carolinensis*, *Dipsosaurus dorsalis* y *Basiliscus vittatus*), presentes en América, desarrollaban una infección por *L. (S.) tarentolae* o *L. (S.) adleri*, obteniendo como resultado que sólo la especie *A. carolinensis*, desarrolló una infección por *L. (S.) tarentolae*, la cual estuvo activa durante 12 horas y posteriormente desapareció (Dollahon y Janovy Jr, 1974).

Por otro lado, en el estudio realizado por Novo et al. (2015), se reporta la presencia de *L. (S.) tarentolae* en médula ósea de una momia humana de 300 años del periodo colonial en Brasil. Ellos

interpretan que la presencia de este parásito pone en evidencia la capacidad de vicerización que pueden tener algunas especies de *Sauroleishmania*, como previamente se ha mencionado que sucede en China. Por lo tanto se cree que especies como *L. (S.) tarentolae* pueden ser patógenas cuando están dentro de algunos organismos de sangre caliente (Yang et al., 2013; Novo et al., 2015; Zhang et al., 2016).

Esta infección se cree que posiblemente pudo haberse transmitido por la mordida de un flebotomino o a causa de ingestión de reptiles crudos durante periodos de hambruna, ya que está bien documentada la ingestión de geckos en zonas áridas del norte de Brasil, aunque no se descarta la posibilidad de que haya sido un caso importado durante la colonia por esclavos de África o Europa (Novo et al., 2015).

Este último estudio, resulta de gran relevancia ya que algunas especies de hospederos que están relacionadas con *Sauroleishmania* como es el caso de *T. mauritanica* y algunas especies del género *Hemidactylus*, son especies que fueron introducidas del Viejo Mundo a la región Neotropical, y que actualmente son especies de amplia distribución en el continente (Noyes et al., 1997; Baldo et al., 2008; Novo et al., 2015).

Aunado a esto, en América se han registrado cerca de 530 especies de flebotominos, de las cuales 55 muestran preferencias alimenticias por reptiles (Young y Duncan, 1994; Galati, 2003). Estas especies están agrupadas en la subtribu *Sergentomyiina*, la cual agrupa a los géneros *Deanemyia* y *Mycropigomyia*, que tienen amplia distribución en el continente (Shimabukuro et al., 2017). En la Figura 1 se observa el gradiente de riqueza de estas especies de flebotominos por país, siendo Brasil el país que alberga la mayor riqueza con 24 especies, seguido de Venezuela con 11, México y Perú con 10, Colombia con 9, mientras que el resto de los países señalados se encuentran en un rango de 1 a 8 especies.

Es importante aclarar que en el mapa se muestran áreas muy al norte del continente como es el caso de Alaska, por ser parte del territorio de Estados Unidos Americanos, sin embargo debido a las condiciones climáticas de esta zona, es poco probable que encontremos especies de flebotominos, siendo Canadá el registro más al norte que se tiene de este grupo. La subtribu *Sergentomyiina* data del Mioceno (20ma), pues hay evidencia de la especie *Mycropigomyia patterna*, preservada en ámbar en el estado de Chiapas en México (Akhoundi et al., 2016; Shimabukuro et al., 2017).

Si bien, la evidencia de la presencia de *Sauroleishmania* en

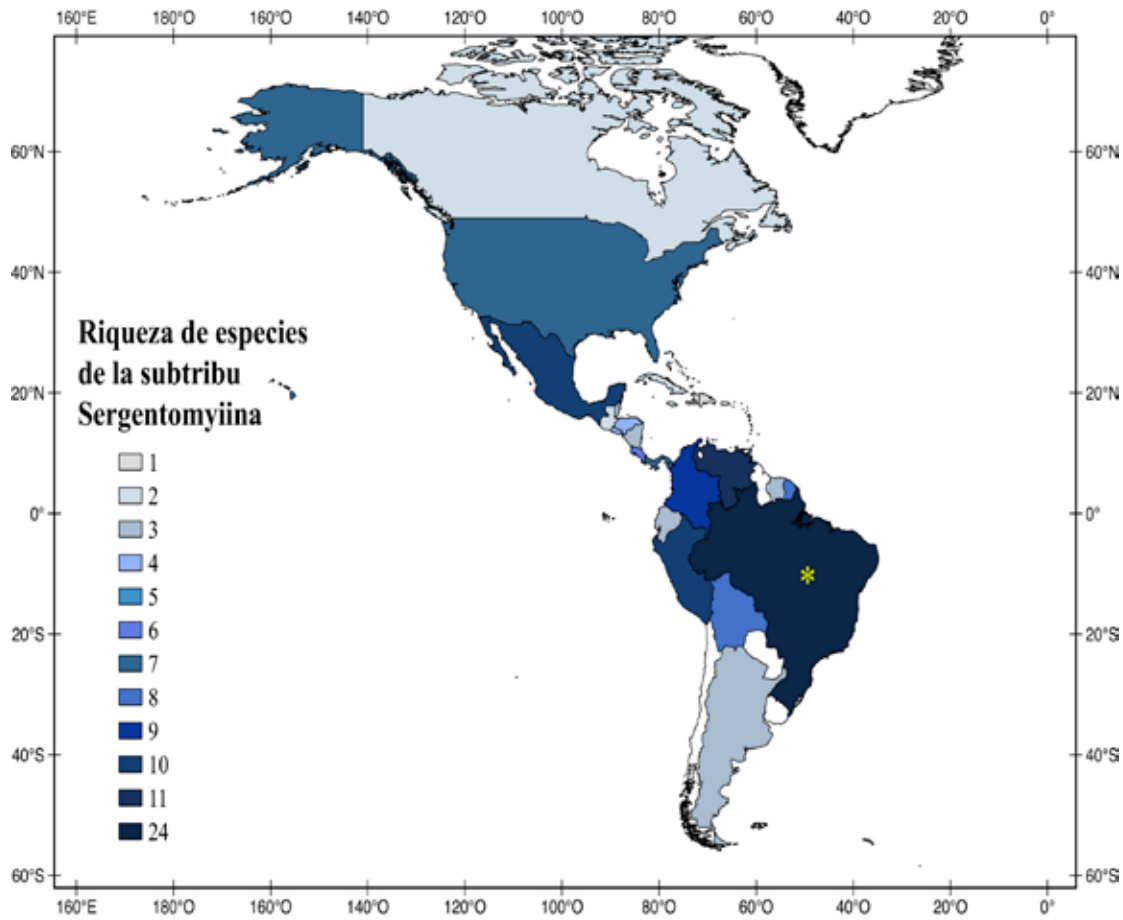


Figura 1. Mapa de riqueza de especies de la subtribu Sergentomyiina en América. Datos obtenidos de Shimabukuro et al., (2017). *Representa el único lugar en América en el cual hay evidencia fósil de la especie *L. (S.) tarentolae*.

Figure 1. Map of species richness of the Sergentomyiina subtribe in America. Data obtained from Shimabukuro et al., (2017). * Represents the only place in America in which there is fossil evidence of the species *L. (S.) tarentolae*.

América es escasa, existen varios elementos que podrían sugerir la posible presencia de alguna especie que tenga características semejantes a *Sauroleishmania*, aunque es necesario realizar más estudios en zonas que cuenten con una gran diversidad de reptiles y vectores, así como de la presencia del protozoario *Leishmania* para poder confirmar o descartar su presencia en el continente.

CONCLUSIONES

Es evidente que aún existen muchas incógnitas acerca del género *Sauroleishmania*, pero ya que son especies con características únicas, se requiere de estudios futuros que permitan ampliar el conocimiento acerca de su identidad biológica, historia y coevolución, para poder realizar estudios comparativos que podrían ser de utilidad para resolver problemas con especies

patógenas de humanos. Por lo que es importante seguir explorando si existen otras especies de vectores y hospederos, así como más estudios filogenéticos (Gomez-Eichelmann et al., 1988; Kazemi et al., 2008; Hassan et al., 2015; Akhouni et al., 2016). Esto, con la finalidad de obtener información relevante que nos permita comprender las relaciones evolutivas entre flebotominos, el protozoario *Leishmania* y sus hospederos vertebrados, para poder realizar predicciones de los patrones de transmisión y conocer la epidemiología, para poder desarrollar estrategias de control vectorial más eficaces (Noyes et al., 1988; Akhouni et al., 2016).

Respecto a la presencia de especies de *Sauroleishmania* en América, consideramos importante hacer una búsqueda en zonas en las que potencialmente pueda existir la presencia de esta interacción *Leishmania*-flebotomino-reptil. Ya que es importante tomar

cuenta que la transmisión de la leishmaniasis cambia según la región geográfica, debido a las interacciones entre hospederos y vectores, lo cual puede repercutir en la transmisión de *Leishmania* (Akhoundi et al., 2016). Es por eso que falta hacer estudios en los reptiles de América para saber si desempeñan un papel importante en la transmisión de la leishmaniasis. Por lo que resulta imperante formar grupos de trabajo interdisciplinarios, que nos permitan investigar e incrementar la información acerca de este grupo poco estudiado del género *Leishmania*.

Agradecimientos.— A la Dra. Leticia M. Ochoa-Ochoa, por su ayuda con la validación de los nombres de las especies de reptiles y sus comentarios para mejorar el escrito. Yokomi Nisei Lozano-Sardaneta y Pablo Colunga-Salas agradecen al Programa de Doctorado en Ciencias Biomédicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), así como al apoyo de beca por parte del CONACyT con número de apoyo: 444617 (YNLS) y 463798 (PCS). Finalmente, queremos agradecer a los comentarios de los revisores que ayudaron a mejorar este escrito.

LITERATURA CITADA

- Adler, S., y O. Theodor. 1929. Observations on *Leishmania ceramodactyli* n.sp. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene 22:343–356.
- Akhoundi, M., K. Kuhls, A. Cannet, J. Votýpka, P. Marty, P. Delaunay, y D. Sereno. 2016. A historical overview of the classification, evolution, and dispersion of *Leishmania* parasites and sandflies. PLOS Neglected Tropical Diseases 10:e0004349.
- Alvar, J., I.D. Vélez, C. Bern, M. Herrero, P. Desjeux, J. Cano, J. Jannin, y M. den Boer. 2012. Leishmaniasis worldwide and global estimates of its incidence. PLoS ONE 7:e35671.
- Baldo, D., C. Borteiro, F. Brusquetti, J.E. García, y C. Prigioni. 2008. Reptilia, Gekkonidae, *Hemidactylus mabouia*, *Tarentola mauritanica*: distribution extension and anthropogenic dispersal. Check List 4:434–438.
- Barratt, J., A. Kaufer, B. Peters, D. Craig, A. Lawrence, T. Roberts, R. Lee, G. McAuliffe, D. Stark, y E. John. 2017. Isolation of novel trypanosomatid, *Zelonia australiensis* sp. nov. (Kinetoplastida: Trypanosomatidae) provides support for a Gondwanan origin of dioxenous parasitism in the Leishmaniinae. PLOS Neglected Tropical Diseases 11:e0005215.
- Bates, P.A. 2007. Transmission of *Leishmania* metacyclic promastigotes by phlebotomine sand flies. International Journal for Parasitology 37:1097–1106.
- Coughlan, S., P. Mulhair, M. Sanders, G. Schonian, J.A. Cotton, y T. Downing. 2017. The genome of *Leishmania adleri* from a mammalian host highlights chromosome fission in *Sauroleishmania*. Scientific Reports 7:1–13.
- Croan, D., y J. Ellis. 1997. Monophyletic origin of the genus *Sauroleishmania*. Archiv für Protistenkunde 148:269–275.
- Croan, D., y J. Ellis. 1996. Phylogenetic relationships between *Leishmania*, *Viannia* and *Sauroleishmania* inferred from comparison of a variable domain within the RNA polymerase II largest subunit gene. Molecular and Biochemical Parasitology 79:97–102.
- David, A. 1929. Note préliminaire sur un *Leishmania* trouve chez le lezard dris de la region de Tiberiade (Basse-Galilée, Palestine). Annales de Parasitologie 7:190–192.
- Desjeux, P., y L. Waroquy. 1981. Mise en évidence du cycle évolutif de la leishmaniose du Gecko *Tarentola annularis* (Geoffroy Saint-Hilaire, 1823) au Sénégal. Rôle vecteur de *Sergentomyia dubia* (Parrot, Mornet et Cadenat, 1945). African Medical 19:439–442.
- Dollahon, N.R., y J. Janovy Jr. 1974. Experimental infection of New World lizards with Old World lizard *Leishmania* species. Experimental Parasitology 36:253–260.
- Dollahon, N.R., y J. Janovy Jr. 1973. *Leishmania adleri*: in vitro phagocytosis by lizard leukocytes and peritoneal exudate cells. Experimental Parasitology 34:56–61.
- Dollahon, N.R., y J. Janovy Jr. 1971. Insect flagellates from feces and gut contents of four genera of lizards. The Journal of Parasitology 57:1130–1132.
- Edeson, J.F.B., y J. Himo. 1973. *Leishmania* sp. in the blood of a lizard (*Agama stellio*) from Lebanon. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene 67:27.
- Elwasila, M. 1988. *Leishmania tarentolae* Wenyon, 1921 from the gecko *Tarentola annularis* in the Sudan. Parasitol Res 74:591–592.
- Franchini, G. 1921. Sur les flagelles intestinaux du type Herpetomonas du *Chamaeleon vulgaris* et leur culture, et sur les flagelles du type Herpetomonas du *Chalcides* (*Gongylus*) *ocellatus* et *Tarentola mauritanica*. Bulletin de la Societe de Pathologie Exotique et de Ses Filiales 14:641–645.

- Galati, E.A.B. 2003. Morfologia e taxonomia: classificação de Phlebotominae. Editora Fiocruz, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- Garnham, P.C.C. 1971. The genus *Leishmania*. Bulletin Organization Monde Santé Bulletin. World Health Organization 44:477–489.
- Gomez-Eichelmann, M.C., G. Holz Jr, D. Beach, A.M. Simpson, y L. Simpson. 1988. Comparison of several lizard *Leishmania* species and strains in terms of kinetoplast minicircle and maxicircle DNA sequences, nuclear chromosomes, and membrane lipids. Molecular and Biochemical Parasitology 27:143–158.
- Halla, U., R. Korbel, F. Mutschmann, y R. Monika. 2014. Blood parasites in reptiles imported to Germany. Parasitol Res 113:4587–4599.
- Hassan, M., S.A.K. Saeed, y O.F. Omran. 2015. Study of Blood parasites in *Mabuya* sp lizards and *Bufo regularis* toads in Jebel Awlia and Tuti Island of Khartoum, Sudan. Journal of Earth Science and Engineering 5:86–90.
- Heisch, R.B. 1958. On *Leishmania adleri* sp. nov. from lacertid lizards (*Latastia* sp.) in Kenya." Annals of Tropical Medicine & Parasitology 52:68–71.
- Kazemi, B., M. Hassan-Heidari, M. Naderi, A. Abbas Piryaei, y M.R. Nazari-Pouya. 2008. Study on ultrastructure of *Leishmania* major and Lizard *Leishmania*. Journal of Cell and Animal Biology 2:129–133.
- Kazemi, B., G.H. Tahvildar-Bideroni, S.R. Hashemi-Feshareki, y E. Javadian. 2004. Isolation a lizard *Leishmania promastigote* from its natural host in Iran. Journal of Biological Sciences 4:620–623.
- Kerr, S.F. 2000. Palearctic origin of *Leishmania*. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz 95:75–79.
- Leger, M. 1918. Infection sanguine par *Leptomonas* chez un Saurien. Société de Biologie 20:772–774.
- Luyo-Acero, G.E., H. Uezato, M. Oshiro, K. Takei, K. Kariya, K. Katakura, E. Gomez-Landires, Y. Hashiguchi, y S. Nonaka. 2004. Sequence variation of the Cytochrome b gene of various human infecting members of the genus *Leishmania* and their phylogeny. Parasitology 128:483–491.
- Markov G.S., V.P. Ivanov, B.P. Kruckov, G.F. Lukyanova, V.P. Nikulin, y V.F. Chernobay. 1964. Protozoa and acaridan parasites of reptiles of the Caspian lowland. Science notes of Volgograd State Pedagogical University 16:90–98.
- Mc Millan, B. 1965. Leishmaniasis in the Sudan Republic. 22. *Leishmania hoogstraali* sp. n. in the gecko. The Journal of Parasitology 51:336–339.
- Momen, H., y E. Cupolillo. 2000. Speculations on the origin and evolution of the genus *Leishmania*. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz 95:583–588.
- Motazedian, H., H. Noyes, y R. Maingon. 1996. *Leishmania* and *Sauroleishmania*: The use of random amplified polymorphic DNA for the identification of parasites from vertebrates and invertebrates. Experimental Parasitology 83:150–154.
- Novo, S.P., D. Leles, R. Bianucci, y A. Araujo. 2015. *Leishmania tarentolae* molecular signatures in a 300 hundred-years-old human Brazilian mummy. Parasites & Vectors 8:1–8.
- Noyes, H.A., B.A. Arana, M.L. Chance, y R. Wingon. 1997. The *Leishmania hertigi* (Kinetoplastida; Trypanosomatidae) complex and the lizard *Leishmania*: their classification and evidence for a Neotropical origin of the *Leishmania-Endotrypanum* clade." Journal of Eukaryotic Microbiology 44:511–517.
- Noyes, H.A., M.L. Chance, D.G. Croan, y J.T. Ellis. 1988. *Leishmania* (*Sauroleishmania*): a comment on classification. Parasitology Today 14:166.
- OMS. 2010. Control de las leishmaniasis. Informes técnicos 949, Ginebra, Ginebra, Suiza.
- Ovezmukhammedov, A., y V. M. Saf'janova. 1987. A new species of *Leishmania* from Agama caucásica in Turkmenia. Izvestiia Akademii Nauk Turkmen, SSSR, Seriya Biologicheskaya 3:21–27.
- Paperna, I., Y. Boulard, S.H. Hering-Hagenbeck, y I. Landau. 2001. Description and ultrastructure of *Leishmania zuckermanni* n. sp. amastigotes detected within the erythrocytes of the South African Gecko *pachydactylus turneri* gray. Parasite 8:349–353.
- Poinar Jr., G., y R. Poinar. 2004. Evidence of vector-borne disease of Early Cretaceous reptiles. Vector-Borne And Zoonotic Diseases 4:281–284.
- Pozio E, M. Gramiccia, L. Gradoni, y M. Maroli. 1983. Hemoflagellates in *Cyrtodactylus kotschy* (Steindachner, 1870)

- (Reptilia, Gekkonidae) in Italy. *Acta Tropica* 40:399-400.
- Raymond, F., S. Boisvert, G. Roy, J.-F. Ritt, D. Légare, A. Isnard, M. Stanke, M. Olivier, M.J. Tremblay, B. Papadopoulou, M. Ouellette, y J. Corbeil. 2012. Genome sequencing of the lizard parasite *Leishmania tarentolae* reveals loss of genes associated to the intracellular stage of human pathogenic species." *Nucleic Acids Research* 40:1131-1147.
- Rioux, J.A., L.P. Knoepfler, y A. Martini. 1969. Presence en France de *Leishmania tarentolae* Wenyon, 1921 parasite du gecko *Tarentola mauritanica* (L., 1758). *Annales De Parasitologie Humaine Et Comparee* 44:115-116.
- Sadlova, J., V. Dvorak, V. Seblova, A. Warburg, J. Votypka, y P. Volf. 2013. *Sergentomyia schwetzi* is not a competent vector for *Leishmania donovani* and other *Leishmania* species pathogenic to humans. *Parasites & Vectors* 6:1-10.
- Shimabukuro, P.H., A.J. de Andrade, y E. Galati. 2017. Checklist of American sand flies (Diptera, Psychodidae, Phlebotominae): genera, species, and their distribution. *ZooKeys* 660:67-106.
- Stevens, J.R., H.A. Noyes, C.J. Schofield, y W. Gibson. 2001. The molecular evolution of Tripanosomatidae. *Advances in Parasitology* 48:1-56.
- Steverding, D. 2017. The history of leishmaniasis. *Parasites & Vectors* 10:1-10.
- Strong, R.P. 1924. Investigations upon flagellate infections. The American Journal of Tropical Medicine 4:345-385.
- Telford Jr, S.R. 2009. Hemoparasites of the reptilia: color atlas and text. CRC Press, Florida, USA.
- Telford Jr, S.R. 1995. The kinetoplastid hemoflagellates of reptiles. Pp. 161-223. En J. P. Kreier (Ed), *Parasitic Protozoa*. Londres, Reino Unido.
- Wenyon, C.M. 1921. Observations on the intestinal protozoa of three egyptian lizards, with a note on a cell-invading fungus. *Parasitology* 12:350-365.
- Yang, B.B., D.L. Chen, J.P. Chen, L. Liao, X.S. Hu, y J.N. Xu. 2013. Analysis of kinetoplast Cytochrome b gene of 16 *Leishmania* isolates from different foci of China: different species of *Leishmania* in China and their phylogenetic inference. *Parasites & Vectors* 6:1-12.
- Young, D.G., y M.A. Duncan. 1994. Guide to the identification and geographic distribution of *Lutzomyia* sand flies in Mexico, the West Indies, Central and South America (Diptera: Psychodidae). Gainesville, Florida, USA.
- Zhang, J.R., X.G. Guo, J.L. Liu, T.H. Zhou, X. Gong, D.L. Chen, y J.P. Chen. 2016. Molecular detection, identification and phylogenetic inference of *Leishmania* spp. in some desert lizards from Northwest China by using internal transcribed spacer 1 (ITS1) sequences. *Acta Tropica* 162:83-94.



ANOFTALMIA EN *DENDROPSOPHUS LUDDECKEI* (ANURA: HYLIDAE) EN UN AGROECOSISTEMA PASTORIL DE VILLA DE LEYVA, COLOMBIA

ANOPHTHALMIA IN *DENDROPSOPHUS LUDDECKEI* (ANURA: HYLIDAE) IN AN AGROECOSYSTEM IN DE VILLA LEYVA, COLOMBIA

JAVIER ERNESTO CORTÉS-SUÁREZ^{1*}

¹Fundación Ecohumana para la Promoción del Desarrollo Humano Integral Sostenible, Villa de Leyva, Colombia.

*Correspondencia: javi1885@gmail.com

Resumen.— En esta nota reporto un caso de malformación ocular conocida como anoftalmia (ojo ausente) en la rana arborícola de sabana *Dendropsophus luddeckei* en un agroecosistema pastoril en el municipio de Villa de Leyva, departamento de Boyacá, Colombia.

Palabras clave.— Agroquímicos, malformación ocular, rana arborícola de sabana.

Abstract.— In this note I report a case of eye malformation known as anophthalmia (missing eye) in the savannah tree frog *Dendropsophus luddeckei* in a pasture agroecosystem in the municipality of Villa de Leyva, department of Boyacá, Colombia.

Keywords.— Agrochemicals, eye malformation, savanna tree frog.

La anoftalmia es una malformación ocular que en anuros es relativamente común y se caracteriza por la ausencia de uno o los dos ojos (Meteyer, 2000). Ganesh y Arumugam (2015) describieron dicha malformación como una depresión vacía en la región ocular en donde solo existe piel, sin rastro alguno de protuberancia supraocular y parpado. La ausencia del sentido visual es altamente perjudicial para los anuros, ya que afecta la percepción espacial, y también la comunicación visual durante el cortejo y los encuentros territoriales y agresivos (Toledo et al., 2007). Sin embargo, algunas anomalías y sus causas en ranas son poco conocidas e informadas (Mitchel y Georgel, 2005; Ramalho et al., 2017).

El 20 de noviembre de 2009 registré un individuo adulto de *Dendropsophus luddeckei* (Guarnizo et al., 2012) con ausencia de su ojo derecho (Fig. 1), durante un muestreo nocturno realizado entre las 20:00 - 0:00 h en un agroecosistema pastoril ubicado en la Finca San Marcos (5.643303, -73.555803, 2100 m) en la vereda Monquirá del municipio de Villa de Leyva, Boyacá, Colombia. El individuo examinado fue liberado.

Varios factores se han sugerido como causa de esta malformación: parásitos (Johnson et al., 2002, Blaustein y Johnson, 2003; Johnson y Lunde, 2005; Rajakaruna et al., 2008), radiación ultravioleta (Blaustein y Johnson, 2003; Ankley et al., 2004), endogamia (Williams et al., 2008), y contaminantes químicos (Blaustein y Johnson, 2003; Ankley et al., 2004; Hayes,

2005; Robles-Mendoza et al., 2009). No obstante, otros autores como Ramalho et al. (2017), sugieren que aunque múltiples factores pueden interactuar para crear anomalías, las causas de las condiciones que las generan siguen siendo poco conocidas, lo cual, abre la posibilidad para profundizar en estudios sobre estos temas, aun para una especie abundante y de baja vulnerabilidad aparente como es *D. luddeckei* (Guarnizo et al., 2013).

Agradecimientos.— Al laboratorio de herpetología de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá, Colombia) por facilitarme el material necesario para la fase de campo y a Joaquín Monsalve por permitirme realizar el trabajo de campo en su finca.

LITERATURA CITADA

- Ankley, G.T., S.J. Degitz, S.A. Diamond, y J.E. Tietge. 2004. Assessment of environmental stressors potentially responsible for malformations in North American anuran amphibians. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 58:7–16.
- Blaustein, A.R., y P.T.J. Johnson. 2003. The complexity of deformed amphibians. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1:87–94.
- Ganesh, S.R., y M. Arumugam. 2015. Natural History and distribution notes on the Sreeni's golden frog (*Indosylvirana sreeni*) in the Southern Eastern Ghats, peninsular India. *Alytes* 32:59–65.



Figura 1. Vista dorsal (A) y vista frontal (B) de individuo adulto de *Dendropsophus luddeckei* con anoftalmia en el ojo derecho registrado en un agroecosistema pastoril en Villa de Leyva, Colombia.

Figure 1. Dorsal view (A) y frontal view (B) of an individual of *Dendropsophus luddeckei* with anophthalmia of the right eye recorded in an agroecosystem in Villa de Leyva, Colombia.

- Guarnizo, C.E., C. Escallón, D. Cannatella, y A. Amézquita. 2012. Congruence between acoustic traits and genealogical history reveals a new species of *Dendropsophus* (Anura: Hylidae) in the high Andes of Colombia. *Herpetologica* 68: 523-540.
- Guarnizo, C.E. 2013. *Dendropsophus luddeckei* Guarnizo, Escallón, Cannatella, y Amézquita 2012. *Cat. Anf. Rept. Colomb.* 1: 50-52.
- Hayes, T.B. 2005. Welcome to the revolution: Integrative biology and assessing the impact of endocrine disruptors on environmental and public health. *Integrative and Comparative Biology* 45:321-329.
- Johnson, P.T.J., K.B. Lunde, E.M. Thurman, E.G. Ritchie, S.N. Wray, D.R. Sutherland, J.M. Kapfer, T.J. Frest, J. Bowerman, y A.R. Blaustein. 2002. Parasite (*Ribeiroia ondatrae*) infection linked to amphibian malformations in the western United States. *Ecological Monographs* 72:151-168.
- Johnson, P.T.J., y K.B. Lunde. 2005. Parasite infection and limb malformations: A growing problem in amphibian conservation. Pp. 124-138. En M.J. Lannoo (Ed.), *Amphibian declines: The conservation status of United States species*. University of California Press, Berkeley, California, USA.
- Meteyer, C.U. 2000. Field Guide to Malformation of Frogs and Toads. Biological Science Report USGS/BRD/BSR. Madison, Ohio, USA
- Mitchell, J.C. y C.T. Georgel. 2005. Anophthalmia in an Upland Chorus Frog (*Pseudacris feriarum feriarum*) from southeastern Virginia. *Banisteria* 25:53-54.
- Rajakaruna, M.J.R. Piyatissa, U.A. Jayawardena, A.N. Navaratne, y P.H. Amerasinghe. 2008. Trematode infection induced malformations in the common hourglass treefrogs. *Journal of Zoology* 275:89-95.
- Ramalho, W.P., F. Maffei, V. Guerra, D.P. Da Silva, L.R.A. De Matos, y L.J. Vieira. 2017. Anophthalmia in adults of two Amazonian treefrogs (Anura: Hylidae). *The Herpetological Bulletin* 139:43-44.
- Robles-Mendoza, C., C. García-Basilio, S. Cram-Heydrich, M. Hernández-Quiroz, y C. Vanegas-Pérez. 2009. Organophosphorus pesticides effect on early stages of the axolotl *Ambystoma mexicanum* (Amphibia: Caudata). *Chemosphere* 74:703-710.
- Toledo, L.F., O.G.S. Araújo, L.D. Guimarães, R. Lingnau, y C.F.B. Haddad. 2007. Visual and acoustic signaling in three species of Brazilian nocturnal tree frogs (Anura, Hylidae). *Phyllomedusa* 6:61-68.
- Williams, R.N., D.H. Bos, D. Gopurenko, y J.A. DeWoody. 2008. Amphibian malformations and inbreeding. *Biology Letters* 4:549-552.



RECORD OF UNUSUAL NOCTURNAL ACTIVITY OF *ATELOPUS VARIUS* AT LAS TABLAS PROTECTED ZONE, COSTA RICA

REGISTRO DE ACTIVIDAD NOCTURNA INUSUAL DE *ATELOPUS VARIUS* EN LA ZONA PROTECTORA LAS TABLAS, COSTA RICA.

Diego A. Gómez-Hoyos^{1,2}, Rocío Seisdedos-de-Vergara¹ & José F. González-Maya¹

¹ProCAT Internacional & Sierra to Sea Institute Costa Rica, Las Alturas, Puntarenas, Costa Rica

²Grupo de Investigación y Asesoría en Estadística & Grupo de Herpetología, Universidad del Quindío, Armenia, Quindío, Colombia.

*Correspondent: dgomez@procat-conservation.org

Abstract.— The harlequin frog, *Atelopus varius*, is a diurnal species, critically endangered, and distributed in Costa Rica and Panama. Herein, we report an unusual nocturnal activity for this species at Las Tablas Protected Zone, Costa Rica. We observed an individual on an herbaceous plant at night, performing slow movements while feeding on ants. Despite *A. varius* being one of the most well-known species of the genera, there are still poorly studied aspects of its natural history. Therefore, we propose to lead research efforts on the behaviour of *A. varius*, with the purpose of filling knowledge gaps for this important species of conservation concern.

Keywords.— behavior, critically endangered, feeding, harlequin frog, natural history.

Resumen.— La rana *Atelopus varius* es una especie diurna, críticamente amenazada y distribuida en Costa Rica y Panamá. Aquí, reportamos un avistamiento de actividad nocturna inusual para esta especie en la Zona Protectora Las Tablas, Costa Rica. Observamos un individuo sobre una planta herbácea por la noche, realizando movimientos lentos y comiendo hormigas. A pesar de que *A. varius* es una de las especies más conocidas del género, aún hay aspectos de su historia natural pobremente estudiados. Por lo tanto, proponemos dirigir esfuerzos de investigación acerca del comportamiento de *A. varius*, con el fin de llenar vacíos de conocimiento de esta especie de importancia para la conservación.

Palabras clave.— alimentación, comportamiento, críticamente amenazado, historia natural, rana arlequín.

The variable harlequin frog (*Atelopus varius*) faced severe population decline and extinction during the 1980's and 90's (Lips 1999; Pounds et al. 2010). This species is considered critically endangered according to IUCN red list (Pounds et al. 2010). Recently, remnant populations have been rediscovered (González-Maya et al. 2013; Perez et al. 2014; Barrio-Amorós & Abarca 2016) and these should be a major target of conservation and research efforts.

Despite *A. varius* being a relatively well known species in the *Atelopus* genus (Lötters 1996; La Marca et al. 2005), knowledge-gaps remain in regards to its natural history. We have been studying a remnant population of the variable harlequin frog at Las Tablas Protected Zone (LTPZ) for the past five years (González-Maya et al. 2013). LTPZ is located in southeastern

Costa Rica, with a mean annual precipitation between 2000 and 3000 mm, and a mean annual temperature of 19°C, corresponding to premontane wet forest. During our studies in LTPZ with *A. varius*, we have observed natural history aspects not reported before. Herein, we report the observation of an unusual nocturnal activity of *A. varius* at LTPZ, Costa Rica.

During a nocturnal survey on July 16th, 2014, from 19:00 h to 22:30 h, we observed an adult variable harlequin frog perched 20 cm above the ground, near the Cotón River, LTPZ (altitude 1337 m). This individual was active (Figure 1A) and we recorded slow movements while feeding on ants. Other individuals found at night had been observed with no apparent activity. For example, on April 23rd, 2015, at 21:05 h, we found an individual perched on an herbaceous plant with its ventral surface in contact with the

leaf and seemingly inactive (Figure 1B). Likewise, on April 24th, at 18:04 h, we found two individuals among roots on a riverbank with no apparent activity (Figs. 1C y 1D).

The species belonging to the *Atelopus* genus are mainly diurnal (Lötters 1996, Lötters 2007), and *A. varius* in particular is active during all the day, at least during reproductive season. At night, these harlequin frogs can be observed among rocks and roots, as well as perched on vegetation above the ground (Lötters

adds *A. varius* as the third species in the genus with an unusual nocturnal-feeding behaviour. Therefore, we recommend further research in order to understand the ecological implications of this behaviour. Also, it will be necessary to determine if *A. varius* uses similar vibration cues for prey location as *A. laetissimus*, described by Rueda and Warkentin (2016).

Acknowledgements.— This project was partially funded by Phoenix Zoo, Mikelberg Family Foundation, Finca Las Alturas

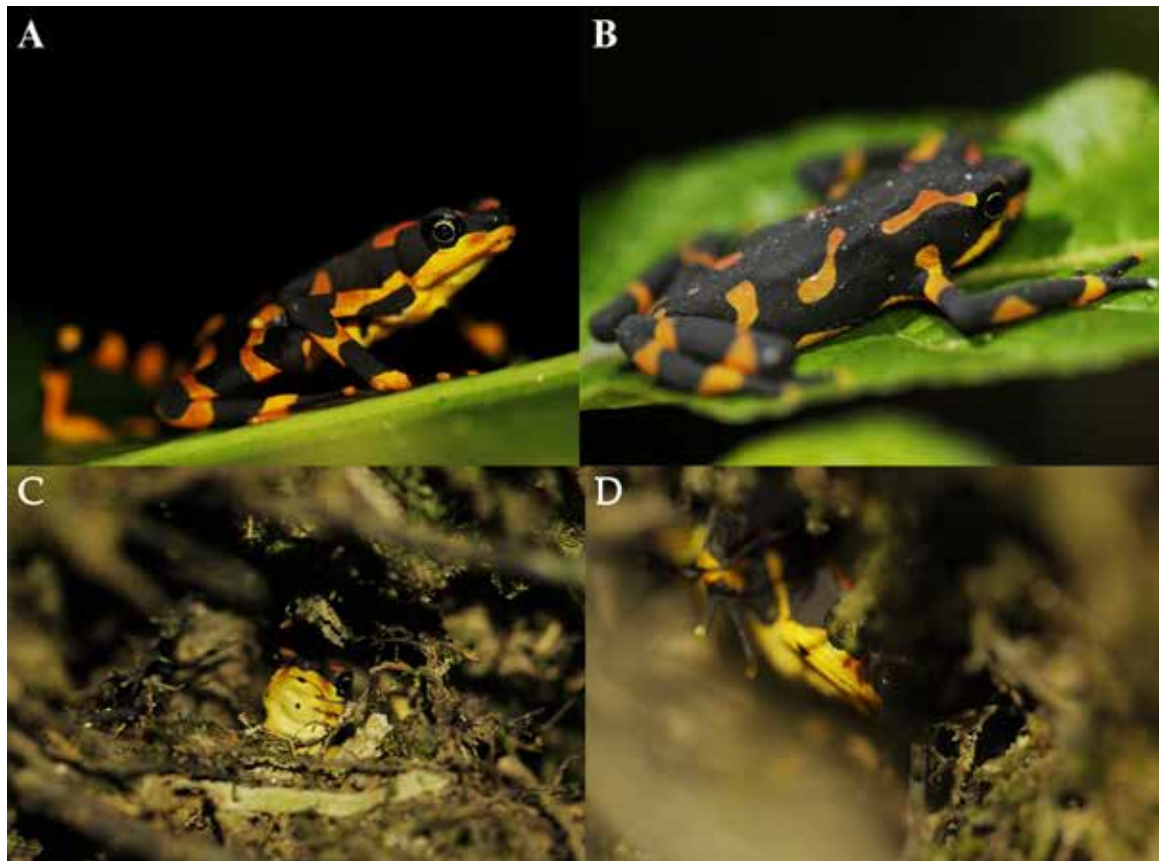


Figure 1. Individuals of the variable harlequin frog *Atelopus varius* found at night near the Cotón River, Costa Rica. Individual active at night and feeding on ants (A); perched individual with its ventral surface in contact with the leaf (B) and two individuals resting among roots (C, D). Photo: Diego A. Gómez-Hoyos.

Figura 1. Individuos de la rana arlequín variable *Atelopus varius* encontrados en la noche cerca del río Cotón, Costa Rica. Individuo activo por la noche y alimentándose de hormigas (A); individuo encaramado con su superficie ventral en contacto con la hoja (B) y dos individuos que descansan entre las raíces (C, D). Foto: Diego A. Gómez-Hoyos..

1996). The use of these microhabitat during the night have been generally reported as resting sites (Crump 1986; Lötters 1996; Lindquist et al. 2007). However, species such as *Atelopus nocturnus*, *A. nahumae* and *A. laetissimus* have also been observed active at night (Bravo-Valencia & Rivera-Correa 2011; Rueda & Warkentin 2016), although nocturnal foraging activity has only been reported for *A. nahumae* and *A. laetissimus* in a montane wet forest (Rueda & Warkentin 2016). Our current contribution

del Bosque Verde and ProCAT International. We thank Thomas Stokely for the English review.

LITERATURA CITADA

Barrio-Amorós, C.L., and J. Abarca. 2016. Another surviving population of the Critically Endangered *Atelopus varius* (Anura: Bufonidae) in Costa Rica. *Mesoamerican Herpetology* 3:128-134.

- Bravo-Valencia, L., and M. Rivera-Correa. 2011. A new species of harlequin frog (Bufonidae: Atelopus) with an unusual behavior from Andes of Colombia. *Zootaxa* 3045:57-67.
- Crump, M.L. 1986. Homing and site fidelity in a neotropical frog, *Atelopus varius* (Bufonidae). *Copeia* 2:438-444.
- González-Maya, J.F, J.L. Belant, S.A. Wyatt, J. Schipper, J. Cardenal, D. Corrales, I. Cruz-Lizano, A. Hoepker, A.H. Escobedo-Galván, F. Castañeda, and A. Fischer. 2013. Renewing hope: the rediscovery of *Atelopus varius* in Costa Rica. *Amphibia-Reptilia* 34: 573-578.
- La Marca, E., K.R. Lips, S. Lötters, R. Puschendorf, R. Ibáñez, J.V. Rueda-Almonacid, R. Schulte, C. Marty, F. Castro, J. Manzanilla-Puppo, J.E. García-Pérez, F. Bolaños, G. Chaves, J.A. Pounds, E. Toral and B.E. Young. 2005. Catastrophic population declines and extinctions in neotropical harlequin frogs (Bufonidae: Atelopus). *Biotropica* 37(2):190-201.
- Lindquist, E.D., S.A. Sapochnik, E.J.G Rodriguez, P.B. Johantgen, and J.M. Criswell. 2007. Nocturnal position in the Panamanian Golden Frog, *Atelopus zeteki* (Anura, Bufonidae), with notes on fluorescent pigment tracking. *Phyllomedusa* 6(1):37-44.
- Lips, K.R. 1999. Mass mortality and population declines of anurans at an upland site in western Panama. *Conservation Biology* 13(1):117-125.
- Lötters S., 1996. The Neotropical Toad Genus *Atelopus*. Checklist - Biology - Distribution. (M. Vences & F. Glaw, Eds.). Koln, Germany: Verlags GbR
- Lötters, S. 2007. The fate of the harlequin toads – help through a synchronous multi-disciplinary approach and the IUCN ‘Amphibian Conservation Action Plan’? *Mitteilungen aus dem Museum für Naturkunde in Berlin. Zoologische Reihe* 83:69-73.
- Perez, R., C.L. Richards-Zawacki, A. R. Krohn, M. Robak, E.J. Griffith, H. Ross, B. Gratwicke, R. Ibáñez, and J. Voyles. 2014. Field survey in western Panama indicate populations of *Atelopus varius* frogs are persisting in regions where *Batrachochytrium dendrobatidis* is now enzootic. *Amphibian & Reptile Conservation* 8(2):30-35.
- Pounds J., R. Puschendorf, F. Bolaños, G. Chaves, M. Crump, F. Solís, R. Ibáñez, J. Savage, C. Jaramillo, Q. Fuenmayor, and K. Lips. 2010. *Atelopus varius*, in: IUCN 2010. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017.1. <http://www.iucnredlist.org> [accessed August 2017]
- Rueda Solano, L.A., and K.M. Warkentin. 2016. Foraging behavior with possible use of substrate-borne vibrational cues for prey localization in *Atelopus laetissimus* (Ruiz-Carranza, Ardila-Robayo and Hernández-Camacho, 1994). *Herpetology Notes* 9:191-195.



A 21ST-CENTURY VISION FOR NEOTROPICAL SNAKE SYSTEMATICS

UNA VISIÓN DEL SIGLO XXI SOBRE LA SISTEMÁTICA DE LAS SERPIENTES NEOTROPICALES

R. Alexander Pyron^{1*}

¹Dept. of Biological Sciences, The George Washington University, Washington DC, USA 20052.

*correspondence author: rpyron@colubroid.org

We live in an unprecedented age for systematics and biodiversity studies. Ongoing global change is leading to a future with reduced species richness and ecosystem function (Pereira, Navarro & Martins, 2012). Yet, our knowledge about biodiversity is increasing exponentially. For squamates in particular, we have range maps for all species (Roll et al., 2017), phylogenies containing estimates for all species (Tonini, Beard, Ferreira, Jetz & Pyron, 2016), and myriad ecological and natural-history datasets for a large percentage of species (Meiri et al., 2013; Mesquita et al., 2016). For neotropical snakes, a recent synthesis of museum specimens and verified localities offers a fine-grained perspective on their ecogeographic distribution in Central and South America, and the Caribbean (Guedes et al., 2018).

More than anything, however, what these datasets reveal is our lack of knowledge; of the true number of species, of their geographic distribution, ecological interactions, life-history traits, threat status, etc. A recent study summarizing phylogenetic and threat data for squamates revealed that 4,340 species lacked genetic data, and 6,459 species were data deficient or unassessed for extinction risk (Tonini et al., 2016). Another study showed that 927 lizards are known only from their type locality, while 213 are known only from a single specimen (Meiri et al., 2018). The Reptile Database shows that species descriptions had plummeted by 1950, but that the last two decades have seen all-time highs in new taxa described yearly (Uetz & Stylianou, 2018), implying that just 20 years ago we had no knowledge of thousands of species from throughout the world. Clearly, our knowledge is limited, and its gaps are vast.

As daunting as our ignorance may be, we stand on the cusp of a 21st century renaissance in systematics and biodiversity research, integrating both classical fields such as morphology and taxonomy, and modern advances in genomics and molecular systematics. I suggest that there are three major facets underpinning this new research program that will require the focus and cohesion of the global research community. They are:

(i) renewed attention to classical taxonomic and nomenclatural practices, (ii) more focused attention on filling out the Tree of Life, and (iii) increasing integration of systematics and natural history studies. Positive trends in these areas are arising organically in research groups throughout the neotropics and the world; I seek here to highlight specific avenues of research that might be pursued.

First is the description of new species. Almost no progress can be made in any comparative field of biological sciences without an accurate accounting of species' true diversity. This is particularly relevant for systematics, evolution, ecology, behavior, and conservation (Mace, 2004; Will, Mishler & Wheeler, 2005). The 21st century has seen an almost exponential rise in the description of new reptile species (Uetz & Stylianou, 2018), and the same trend likely holds for most groups of plants and animals. In Brazil and Mexico, two of the most diverse neotropical countries, new descriptions peaked in 1758 and the mid-19th century, but show a moderate, consistent output since the late 1990's (Fig. 1). At the same time, taxonomic expertise is fading worldwide (Hopkins & Freckleton, 2002). How do we reconcile this?

One possible explanation is simply booms in the population of both citizens and scientists in those countries, with larger numbers of people describing fewer species per person but maintaining a baseline yearly output. In Brazil, 58 unique author sets described 69 species from 2000 to 2018; in Mexico, 24 described 32; and in Argentina, 3 described 3. In comparison, Cope leads in having described 69 species from Mexico, and Linnaeus leads in Brazil and Argentina with 33 and 19 (Cope is in second with 28 and 15), respectively. As a side note, it seems clear that undiscovered and undescribed biodiversity is much higher in tropical regions, though certainly not zero in temperate areas. While Argentina may be plateauing in the rate of descriptions, neither Brazil nor Mexico show any signs of slowing down (Fig. 2); who knows what their true diversity may actually be?

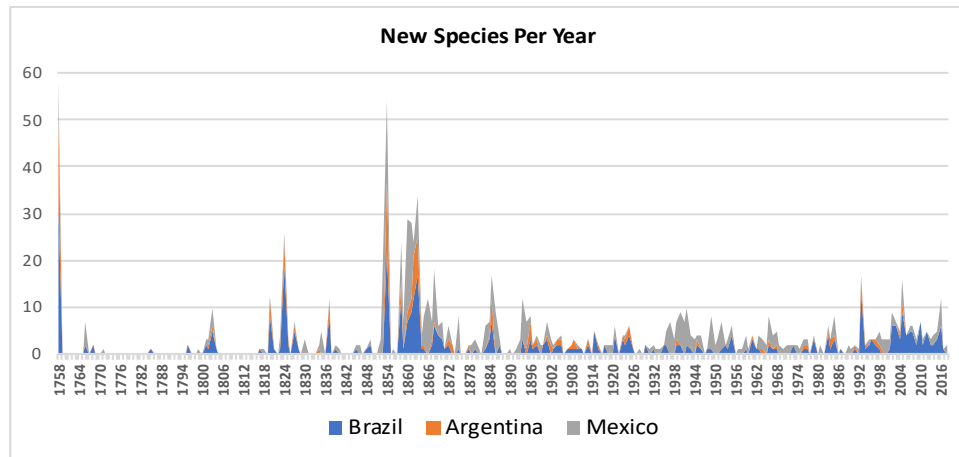


Figure 1. Number of new species described per year in the three largest neotropical countries: Brazil, Argentina, and Mexico. Note major spikes in 1758 and the mid-19th century, and moderate but consistent volume since the 1990s. Data from the Reptile Database (<http://www.reptile-database.org/>; accessed 22 March 2018).

Answering this question will require both modern systematics methods and traditional taxonomic expertise (Dayrat, 2005; Fujita, Leaché, Burbrink, McGuire & Moritz, 2012; Renner, 2016).

At least anecdotally, molecular phylogenies are now often replete with “aff.,” “cf.,” “gr.,” and “sp.” in the labels of terminal taxa, particularly for poorly-known groups from tropical areas. Similarly, museum curators are readily induced to speak of the tremendous backlog of candidate species in their collections. Though species descriptions are increasing rapidly, one suspects that they drastically lag the real discovery rate of new taxa, as dwindling expertise and low rewards dis-incentivize high productivity in taxonomy. Similarly, issues with nomenclature frequently arise due to incomplete familiarity with the ICZN (Dubois, 2017), causing problems with the availability and validity of new names. While numerous researchers are undoubtedly engaged in life-long good-faith efforts to turn “sp. 1” into “sp. nov.,” it seems clear that renewed community commitments and dedication to the less-glamorous work of taxonomy and nomenclature are still needed (Wheeler, 2004).

The sociological remedies needed for large-scale re-invalidation of traditional taxonomy are beyond the scope of this editorial, and likely beyond the individual efforts of most researchers. But every practicing biologist should keep in mind the desperate importance of making some progress on any apparently new taxa they discover through the course of their studies, and not perpetually overlook them in favor of more glamorous or better-incentivized research programs. The literature on species concepts & delimitation is massive (see De Queiroz, 2007), and no one set of recommendations can cover how best to go about describing new species. But in the most

general sense, if you know you have a new lineage, do your best to describe it and tell the world. Few single actions in science have as immediate and permanent an impact as describing a new species, transcending disciplines and political boundaries.

Second is increasing phylogenetic coverage. The largest analysis of squamate phylogeny to date included only 56% of described, extant species, and 152 genera (108 in snakes) were completely absent. While some missing genera have been added in recent studies (Figueroa, McKelvy, Grismer, Bell & Lailvaux, 2016; Pyron, Guayasamin, Peñafiel, Bustamante & Arteaga, 2015; Weinell & Brown, 2018), the following neotropical genera are still unknown on GenBank: *Amnesteophis*, *Anomalepis*, *Cercophis*, *Chapinophis*, *Chersodromus*, *Coronelaps*, *Ditaxodon*, *Emmochliophis*, *Enuliophis*, *Enulius*, *Eutrachelophis*, *Geagras*, *Helminthophis*, *Lioheterophis*, *Omoadiphas*, *Plesiodypsas*, *Rhadinella*, *Rhadinophanes*, *Saphenophis*, *Simophis*, *Tantillita*, and *Uromacerina*. At least 25 species were unsampled for *Atractus* (128 missing), *Micrurus* (57), *Tantilla* (56), *Geophis* (42), *Erythrolamprus* (34), *Dipsas* (30), and *Apostolepis* (25). While some of these are rare, others are not. Even historical specimens can now often be sequenced using next-generation technologies (Ruane & Austin, 2017).

As with accurate alpha taxonomy and describing new species, the creation of a fully-sampled Tree of Life estimate is a crucial foundation for analyses in systematics and evolutionary biology (Jetz, Thomas, Joy, Hartmann & Mooers, 2012), and conservation assessments (Isaac, Turvey, Collen, Waterman & Baillie, 2007). Few tasks in the early 21st century have as much urgency as sequencing unsampled species and including them in larger phylogenies. Tensions arise from this imperative, though, as researchers rarely have the time and money needed to sequence

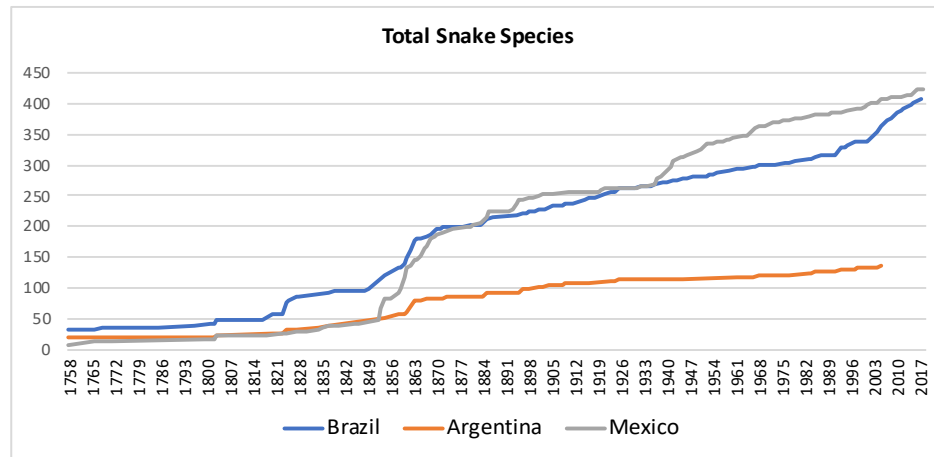


Figure 2. The total number of snake species described since 1758 in the three largest neotropical countries: Brazil, Argentina, and Mexico. Note the sharp upticks in mid-19th century Mexico, and in 21st century Brazil, and the lack of a plateau for descriptions from those countries.

random species that might be lying around in their freezer. Thus, constructing larger projects involving more complete sampling of a clade, and a biological focus for the study beyond simple phylogeny and taxonomy, often delay publication of new data. As with species descriptions, there are no simple, blanket prescriptions to alleviate these roadblocks and increase the flow of phylogenetic knowledge. Nevertheless, the list above can at least serve as a reminder that these gaps exist, that they need to be filled, and that perhaps you can help fill them. If you have *Amnesteophis* or *Atractus* in your tissue collection, consider what you might do to include them in the Tree of Life as quickly as possible.

Third is the collection and collation of trait data. This is likely the most high-profile and active area of research of the three, with numerous existing databases covering thousands of species from numerous groups (Chave et al., 2009; Kattge et al., 2011; Kleyer et al., 2008; Oliveira, São-Pedro, Santos-Barrera, Penone & Costa, 2017). Trait datasets were less easily combined prior to the internet, as raw measurements weren't commonly included in published papers, or required laborious transcription from appendices or tables. Numerous challenges still remain, such as standardized observation formats and data structures, missing data when combining studies, and small or non-representative samples for many species. Yet efforts and support for large-scale initiatives is strong, such as the NSF-funded VertLife project (DEB-1441737; <http://www.vertlife.org/>), which is gathering dozens of traits for all terrestrial vertebrates, and the TRY plant database (<http://www.try-db.org/>), which boasts "7 million trait records for 1,800 traits of 2.6 million individual plants, representing 140,000 plant taxa."

There are several major paths forward for trait data. One is simply continuing and increasing the massive expenditure of time and money required to gather high-quality natural-history data in the field. No amount of sophistication in genomic sequencing or computer modelling will ever remove the need to observe species in their natural habitats (Barrows, Murphy-Mariscal & Hernandez, 2016). The second is dredging the literature, where centuries of meticulous observations are often trapped in distant libraries and foreign languages (Faulwetter et al., 2016). Initiatives such as the Biodiversity Heritage Library (<https://www.biodiversitylibrary.org/>) offer increasing coverage of historical sources, as do digitization efforts of societies such as the SSAR for natural-history-rich journals like Herpetological Review (<https://ssarherps.org/herpetological-review-pdfs/>). In the interim, methods exist for dealing with missing data in a phylogenetic context (Swenson, 2014),

The insights from phylogenetic analysis of large-scale trait datasets in squamates have been manifold (Dunham & Miles, 1985; Garland Jr & Losos, 1994; Pyron & Burbrink, 2014; Wiens, Brandley & Reeder, 2006). Yet there are numerous additional avenues of investigation. Even after common traits such as body size, microhabitat, diet preference, etc., have been filled in and analyzed, we might wonder about other, more abstract traits. Daily activity periods and seasonal variation therein, ontogenetic shifts in diet and microhabitat preference, species interactions, physiology and metabolic processes, the list goes on. Such traits are valuable across scales, from the individual to the community to the global assemblage (McGill, Enquist, Weiher & Westoby, 2006). Robust data can be synthesized from independent collections of single traits (Weiher et al., 1999), while others will only emerge after long periods of numerous groups laboring

away to measure them using new, sophisticated technologies in groups of species (Diele-Viegas et al., 2018). While decades of dedicated study may be needed to fully document the life history of just a few taxa, knowledge of species' attributes can only increase in time, and the value of these data will never diminish.

As scientists, we are committed to generating and sharing data. Sometimes, this leads quickly to new paradigms, radical insights, and seismic shifts in perception. Other times, it involves long struggles for incremental gains in knowledge. The former is predicated on the latter, however, and scientific revolutions only intermittently punctuate the progress of normal science (Kuhn, 1963). The path such revolutions take can often seem meandering, desultory, and lacking in the kind of methodological coherence that typically lends meaning to ordinary investigations (Feyerabend, 1993). Describing species, building phylogenies, and constructing trait databases are not the most glamorous endeavors in biology. But they are crucial, and even if one does not devote their career solely to these aims, we can all participate, at least occasionally, as a community. If a conscious, consistent effort is made to do so, we can close out the 21st century with a significantly enhanced knowledge not just of neotropical snakes, but of all global biodiversity. Few if any of us will live to see the 22nd century. It will be a drastically different world, biologically, politically, and socially. But individual contributions to our collective knowledge of taxonomy, phylogeny, and traits have a unique persistence and relevance through time and will serve to make that world a richer place. These data will undoubtedly set the stage for future biological breakthroughs that are unimaginable at present.

LITERATURE CITED

- Barrows, C. W., Murphy-Mariscal, M. L., & Hernandez, R. R. (2016). At a crossroads: The nature of natural history in the twenty-first century. *Bioscience*, 66, 592-599.
- Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S. L., Swenson, N. G., & Zanne, A. E. (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 12, 351-366.
- Dayrat, B. (2005). Towards integrative taxonomy. *Biological Journal of the Linnean Society*, 85, 407-415.
- De Queiroz, K. (2007). Species concepts and species delimitation. *Systematic Biology*, 56, 879-886.
- Diele-Viegas, L. M., Vitt, L. J., Sinervo, B. et al. (2018). Thermal physiology of amazonian lizards (reptilia: Squamata). *PloS One*, 13, e0192834.
- Dubois, A. (2017). A few problems in the generic nomenclature of insects and amphibians, with recommendations for the publication of new generic nomina in zootaxonomy and comments on taxonomic and nomenclatural databases and websites. *Zootaxa*, 4237, 1-16.
- Dunham, A. E., & Miles, D. B. (1985). Patterns of covariation in life history traits of squamate reptiles: The effects of size and phylogeny reconsidered. *The American Naturalist*, 126, 231-257.
- Faulwetter, S., Pafilis, E., Fanini, L. et al. (2016). EMODnet workshop on mechanisms and guidelines to mobilise historical data into biogeographic databases. *Research Ideas and Outcomes*, 2, e9774.
- Feyerabend, P. (1993). *Against method* Verso.
- Figueroa, A., McKelvy, A. D., Grismer, L. L., Bell, C. D., & Lailvaux, S. P. (2016). A species-level phylogeny of extant snakes with description of a new colubrid subfamily and genus. *PLoS One*, 11, e0161070.
- Fujita, M. K., Leaché, A. D., Burbrink, F. T., McGuire, J. A., & Moritz, C. (2012). Coalescent-based species delimitation in an integrative taxonomy. *Trends in Ecology & Evolution*, 27, 480-488.
- Garland Jr, T., & Losos, J. B. (1994). Ecological morphology of locomotor performance in squamate reptiles. *Ecological Morphology: Integrative Organismal Biology*, p. 240-302.
- Guedes, T. B., Sawaya, R. J., Zizka, A. et al. (2018). Patterns, biases and prospects in the distribution and diversity of neotropical snakes. *Global Ecology and Biogeography*, 27, 14-21.
- Hopkins, G. W., & Freckleton, R. P. (2002). Declines in the numbers of amateur and professional taxonomists: Implications for conservation. Paper presented at the Animal Conservation Forum, 5, 245-249.
- Isaac, N. J., Turvey, S. T., Collen, B., Waterman, C., & Baillie, J. E. (2007). Mammals on the EDGE: Conservation priorities based on threat and phylogeny. *PloS One*, 2, e296.
- Jetz, W., Thomas, G. H., Joy, J. B., Hartmann, K., & Mooers, A. O. (2012). The global diversity of birds in space and time. *Nature*,

- 491(7424), 444.
- Kattge, J., Diaz, S., Lavorel, S., Prentice, I. C., Leadley, P., Bönsch, G., Wright, I. J. (2011). TRY—a global database of plant traits. *Global Change Biology*, 17, 2905-2935.
- Kleyer, M., Bekker, R. M., Knevel, I. C. et al. (2008). The LEDA traitbase: A database of life-history traits of the northwest european flora. *Journal of Ecology*, 96, 1266-1274.
- Kuhn, T. S. (1963). *The structure of scientific revolutions* University of Chicago press Chicago.
- Mace, G. M. (2004). The role of taxonomy in species conservation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 359, 711-719.
- McGill, B. J., Enquist, B. J., Weiher, E., & Westoby, M. (2006). Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology & Evolution*, 21, 178-185.
- Meiri, S., Bauer, A. M., Allison, A. et al. (2018). Extinct, obscure or imaginary: The lizard species with the smallest ranges. *Diversity and Distributions*, 24, 262-273.
- Meiri, S., Bauer, A. M., Chirio, L. et al. (2013). Are lizards feeling the heat? A tale of ecology and evolution under two temperatures. *Global Ecology and Biogeography*, 22, 834-845.
- Mesquita, D. O., Costa, G. C., Colli, G. R., Costa, T. B., Shepard, D. B., Vitt, L. J., & Pianka, E. R. (2016). Life-history patterns of lizards of the world. *The American Naturalist*, 187, 689-705.
- Oliveira, B. F., São-Pedro, V. A., Santos-Barrera, G., Penone, C., & Costa, G. C. (2017). AmphiBIO, a global database for amphibian ecological traits. *Scientific Data*, 4, 170123.
- Pereira, H. M., Navarro, L. M., & Martins, I. S. (2012). Global biodiversity change: The bad, the good, and the unknown. *Annual Review of Environment and Resources*, 37.
- Pyron, R. A., & Burbrink, F. T. (2014). Early origin of viviparity and multiple reversions to oviparity in squamate reptiles. *Ecology Letters*, 17, 13-21.
- Pyron, R. A., Guayasamin, J. M., Peñafiel, N., Bustamante, L., & Arteaga, A. (2015). Systematics of nothopsini (Serpentes, dipsadidae), with a new species of synophis from the pacific andean slopes of southwestern ecuador. *ZooKeys*, 541, 109.
- Renner, S. S. (2016). A return to linnaeus's focus on diagnosis, not description: The use of DNA characters in the formal naming of species. *Systematic Biology*, 65, 1085-1095.
- Roll, U., Feldman, A., Novosolov, M. et al. (2017). The global distribution of tetrapods reveals a need for targeted reptile conservation. *Nature Ecology & Evolution*, 1, 1677.
- Ruane, S., & Austin, C. C. (2017). Phylogenomics using formalin-fixed and 100 year-old intractable natural history specimens. *Molecular Ecology Resources*, 17, 1003-1008.
- Swenson, N. G. (2014). Phylogenetic imputation of plant functional trait databases. *Ecography*, 37, 105-110.
- Tonini, J. F. R., Beard, K. H., Ferreira, R. B., Jetz, W., & Pyron, R. A. (2016). Fully-sampled phylogenies of squamates reveal evolutionary patterns in threat status. *Biological Conservation*, 204, 23-31.
- Uetz, P., & Stylianou, A. (2018). The original descriptions of reptiles and their subspecies. *Zootaxa*, 4375, 257-264.
- Weiher, E., Werf, A., Thompson, K., Roderick, M., Garnier, E., & Eriksson, O. (1999). Challenging theophrastus: A common core list of plant traits for functional ecology. *Journal of Vegetation Science*, 10, 609-620.
- Weinell, J. L., & Brown, R. M. (2018). Discovery of an old, archipelago-wide, endemic radiation of philippine snakes. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 119, 144-150.
- Wheeler, Q. D. (2004). Taxonomic triage and the poverty of phylogeny. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 359, 571-583.
- Wiens, J. J., Brandley, M. C., & Reeder, T. W. (2006). Why does a trait evolve multiple times within a clade? repeated evolution of snakelike body form in squamate reptiles. *Evolution*, 60, 123-141.
- Will, K. W., Mishler, B. D., & Wheeler, Q. D. (2005). The perils of DNA barcoding and the need for integrative taxonomy. *Systematic Biology*, 54, 844-851.
- Wilson L.D., J.D Johnson and V. Mata-Silva. 2013a. A conservation reassessment of the amphibians of Mexico based on the EVS measure. *Amphibian & Reptile Conservation*, 7, 97-127.

