



REVISTA LATINOAMERICANA DE HERPETOLOGÍA

ANFIBIOS Y REPTILES: DIVERSIDAD E HISTORIA NATURAL
VOLUMEN 04 NÚMERO 01 MAYO 2021 ISSN: 2594-2158





Es una publicación con el apoyo de



Asociación Herpetológica Argentina



SBH
SOCIEDADE BRASILEIRA DE
HERPETOLOGIA



Revista Latinoamericana de Herpetología, año 4, no. 1, mayo 2021, es una Publicación bianual editada por la Sociedad Herpetológica Mexicana A. C., Dirección: Instituto de Biología SN, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, <http://herpetologia.fciencias.unam.mx/index.php/revista>, tel. (55) 56224800 ext. 44724, revista.latin.herpetologia@gmail.com, Editor responsable: Leticia Margarita Ochoa Ochoa. Reserva de derechos al Uso Exclusivo No. 04-2018-100215505800-203 ISSN: 2594-2158, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Departamento de Biología Evolutiva, Leticia Margarita Ochoa Ochoa, Facultad de Ciencias, UNAM, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, fecha de última modificación, 30/noviembre /2018.

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

PRESENTACIÓN DEL CONSEJO EDITORIAL DE LA REVISTA LATINOAMERICANA DE HERPETOLOGÍA

APRESENTAÇÃO DO CONSELHO EDITORIAL DA REVISTA LATINOAMERICANA DE HERPETOLOGIA

Los orígenes de la Revista Latinoamericana de Herpetología (RLH) pueden ser ubicados en las salas del XI Congreso Latinoamericano de Herpetología en Ecuador en 2017. El entonces vicepresidente de la Sociedad Herpetológica Mexicana, Híbraim Pérez Mendoza y yo comentamos, que era momento de retomar la Revista Mexicana de Herpetología —de hecho, se había discutido el futuro de la RMH en la Reunión Nacional de Herpetología de 2016—, pero fue con Mauricio Rivera y otras personas que surgió la idea de que no sólo fuera mexicana, que fuera Latinoamericana. Es en mayo del 2018 (Fig. 1) que la Revista Latinoamericana sale por primera vez. Nace como una revista científica en forma, de revisión por pares y con sistema de envío. Nace para todos.



Figure 1. Cover of the first issue of the Revista Latinoamericana de Herpetología.

Figura 1. Portada del primer número de la Revista Latinoamericana de Herpetología.

Ha crecido, gracias a todas y todos ustedes que han confiado en nosotros para enviar sus manuscritos (Fig. 2), gracias a las y los editores asociados que aceptaron ser parte del Comité Editorial, gracias a las y los revisores que en la gran mayoría de los casos aceptan ser parte del proceso de publicación. Hay que enfatizar que nadie, ni editores ni revisores ni correctores de estilo, reciben remuneración por parte de la RLH. Es una revista de auténtico acceso abierto y todos los involucrados lo hacen por amor a la herpetología de Latinoamérica.

As origens da Revista Latinoamericana de Herpetología (RLH) podem ser localizadas nas salas do XI Congresso Latino-Americano de Herpetologia no Equador, em 2017. O então vice-presidente da Sociedad Herpetológica Mexicana, Híbraim Pérez Mendoza e eu comentamos que estava na hora de retomar a Revista Mexicana de Herpetología - aliás, o futuro da RMH havia sido discutido no Encontro Nacional de Herpetologia de 2016 - mas foi com Mauricio Rivera e outros que surgiu a ideia de que não deveria ser apenas mexicana, mas também latino-americana. Foi em maio de 2018 (Fig. 1) que a RLH foi lançada pela primeira vez. Nascida como um periódico científico com revisão por pares e sistema de submissão. Nasceu para todos.

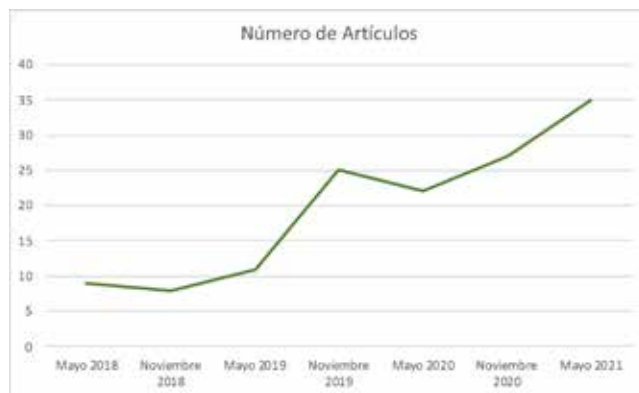


Figure 2. Number of items published in the RLH from May 2018 to May 2021.

Figura 2. Número de manuscritos publicados en la RLH de mayo de 2018 a mayo de 2021.

Cresceu, graças a todos vocês que confiaram em nós para enviar seus manuscritos (Fig. 2), aos editores associados que aceitaram fazer parte do Comitê Editorial, aos revisores que na grande maioria dos casos concordaram em fazer parte do processo de publicação. É importante ressaltar que ninguém, nem editores, nem revisores, nem corretores de estilo, é remunerado pela RLH. É uma revista de acesso verdadeiramente aberto e todos os envolvidos o fazem por amor à herpetologia latino-americana.



Figure 3. Map of the nationality of the authors of the manuscripts published in the Revista Latinoamericana de Herpetología showed in green.

Figura 3. Mapa de la nacionalidad de los autores de los manuscritos publicados en la Revista Latinoamericana de Herpetología mostrados en verde.

Geográficamente se ha expandido (Fig. 3), y poco a poco hemos recibido escritos de diversos lugares, con una vasta mayoría de estas tierras latinoamericanas espectacularmente diversas, en todos los sentidos. Tenemos todo para seguir adelante, y más ahora, gracias a la conformación del Consejo Editorial de la RLH. Los consejeros, son personas de experiencia que velan por el futuro a mediano y largo plazo de la Revista, que aceptan tener un compromiso más y desean que este proyecto, no sólo prevalezca, sino que crezca. Es para mí un honor presentarles a estos herpetólogos comprometidos con nuestras hermosas tierras: Francisco Brusquetti (Paraguay), Rafael De Sa (Estados Unidos), Oscar Flores (México), Juan Manuel Guayasamin (Ecuador), Antonieta Labra (Chile), Rodrigo Macip (México), Adriana Manzano (Argentina), Marcio Martins (Brasil), Felipe Rabanal (Chile) y Mauricio Rivera (Colombia) que forman hoy el Consejo Editorial de la Revista Latinoamericana de Herpetología (Fig.4).

Quiero expresar mi profundo reconocimiento Antonieta y Adriana que accedieron, además, a ser Editoras Adjuntas por la convicción de que esta RLH es un proyecto que vale la pena, y están dispuestas a regalar su tiempo, semana a semana, revisando artículos, asignándolos, atendiendo todas las cuestiones que llegan para que la RLH funcione de manera más eficiente.

A RLH se expandiu geograficamente (Fig. 3), e aos poucos temos recebido manuscritos de vários lugares, com a grande maioria vindo dessas terras latino-americanas espetacularmente diversas, em todos os sentidos. Temos tudo para seguir em frente, e mais ainda agora, graças à criação do Conselho Editorial da RLH. Os membros desse Conselho são pessoas eperientes que zelam pelo futuro da Revista a médio e longo prazo, que aceitam ter mais um compromisso e querem que este projeto não só prevaleça, mas cresça. É uma honra para mim apresentar estes herpetólogos comprometidos com nossas belas terras: Francisco Brusquetti (Paraguai), Rafael De Sá (Estados Unidos), Oscar Flores (México), Juan Manuel Guayasamin (Ecuador), Antonieta Labra (Chile), Rodrigo Macip (México), Adriana Manzano (Argentina), Marcio Martins (Brasil), Felipe Rabanal (Chile) e Mauricio Rivera (Colômbia), que hoje formam o Conselho Editorial da Revista Latinoamericana de Herpetología (Fig. 4).

Quero expressar minha profunda gratidão a Antonieta e Adriana que também aceitaram ser Editoras Associadas pela convicção de que a RLH é um projeto que vale a pena, e estão dispostas a doar seu tempo, semana após semana, revisando artigos, designando-os, participando de todos questões que fazem com que a RLH funcione de forma mais eficiente.

También me gustaría mencionar que en este proceso de conformación del Consejo Editorial hemos contado con el apoyo de las siguientes sociedades herpetológicas: la Sociedade Brasileira de Herpetologia , la Asociación Paraguaya de Herpetología, la Asociación Red Chilena de Herpetología, la Asociación Herpetológica Argentina, la Asociación para la Investigación y Conservación de Anfibios y Reptiles A.C de México, también seguiremos contando con el apoyo de la Sociedad Herpetológica Mexicana, A.C.

Desde sus orígenes la Revista Latinoamericana de Herpetología quiso ser una revista verdaderamente latinoamericana, es ahora con este Consejo Editorial que por fin va en camino para convertirse en la Revista de la que todas y todos nos sintamos orgullosos.

Também gostaria de mencionar que neste processo de formação do Conselho Editorial tivemos o apoio das seguintes sociedades herpetológicas: a Sociedade Brasileira de Herpetologia, a Asociación Paraguaya de Herpetología, a Asociación Red Chilena de Herpetología, a Asociación Herpetológica Argentina, a Asociación para la Investigación y Conservación de Anfibios y Reptiles A.C de México, e também continuaremos contando com o apoio da Sociedad Herpetológica Mexicana, A.C.

Desde suas origens, a Revista Latinoamericana de Herpetología quis ser uma revista verdadeiramente latino-americana, agora é com este Conselho Editorial que finalmente encontra-se a caminho de se tornar a Revista da qual todos nós nos orgulharemos.

Leticia M. Ochoa Ochoa, Redator-Chefe

Leticia M. Ochoa Ochoa, Editora en Jefe



Figure 4. Editorial Board of the Revista Latinoamericana de Herpetología.

Figura 4. Consejo Editorial de la Revista Latinoamericana de Herpetología.

PRESENTATION OF THE REVISTA LATINOAMERICANA DE HERPETOLOGÍA EDITORIAL BOARD

The origins of the Revista Latinoamericana de Herpetología (RLH) can be traced to the rooms of the XI Congreso Latinoamericano de Herpetología in Ecuador in 2017. The then vice president of the Mexican Herpetological Society, Hibraim Pérez Mendoza and I commented that it was time to resume publishing the Revista Mexicana de Herpetología - in fact, the future of the RMH had been discussed at the 2016 National Herpetology Meeting - but it was with Mauricio Rivera and other people that the idea came up that it should not only be Mexican, but Latin American. It was in May 2018 (Fig. 1) when it came out for the first time. It was born as a scientific journal in form, peer-reviewed and with a submission system. It is born for everyone.

It has grown, thanks to all of you who have trusted us to send your manuscripts (Fig. 2), thanks to the associate editors who agreed to be part of the Editorial Committee, thanks to the reviewers who in the vast majority of the cases agree to be part of the publication process. And it must be emphasized that no one, neither editors nor proofreaders nor copyeditors, receive remuneration from the RLH. It is a truly open access journal and everyone involved does so for the love of Latin American herpetology.

Geographically it has expanded (Fig. 3), and little by little we have received writings from various places, with the vast majority of these Latin American lands, that are spectacularly diverse, in every way. We have everything to move forward, and even more so now, thanks to the creation of the RLH Editorial Board. The directors are people of experience who will look after the medium and long-term future of the Revista, who accept to have one more commitment and want this project not only to prevail, but to grow.

It is an honor for me to present these herpetologists committed to our beautiful lands: Francisco Brusquetti (Paraguay), Rafael De Sa (United States), Oscar Flores (Mexico), Juan Manuel Guayasamin (Ecuador), Antonieta Labra (Chile), Rodrigo Macip (Mexico), Adriana Manzano (Argentina), Marcio Martins (Brazil), Felipe Rabanal (Chile) and Mauricio Rivera (Colombia) who today form the Editorial Board of the Latin American Journal of Herpetology (Fig. 4).

I want to express my deep appreciation for Antonieta and Adriana who also agreed to be Deputy Editors for the conviction that this RLH is a worthwhile project, and they are willing to give away their time, week after week, reviewing articles, assigning them, attending all the issues that come to make the RLH work more efficiently.

I would also like to mention that in this process of shaping the Editorial Board we have won the support of the following herpetological societies: Sociedade Brasileira de Herpetologia, Asociación Paraguaya de Herpetología, Asociación Red Chilena de Herpetología, Asociación Herpetológica Argentina, Asociación para la Investigación y Conservación de Anfibios y Reptiles A.C de México, and it is worth mentioning that the Sociedad Herpetológica Mexicana A.C. will continue its support.

From its origins the Revista Latinoamericana de Herpetología wanted to be a truly Latin American journal, it is now with this Editorial Board that it is finally on its way to become the Journal of which all of us feel proud.

Leticia M. Ochoa Ochoa, Editor- in-Chief



Se presenta el Comité Editorial actualizado, los nombres están en
orden alfabético

CONSEJO EDITORIAL

Editor-en-Jefe

Dra. Leticia M. Ochoa Ochoa

Editoras Adjuntas

Dra. Antonieta Labra Lillo

Dra. Adriana Manzano

Dr. Francisco Brusquetti

Dr. Juan Manuel Guayasamin

Dr. Oscar A. Flores Villela

Dr. Rodrigo Macip Ríos

Dr. Marcio Martins

M. en C. Felipe Rabanal

Dr. Mauricio Rivera-Correa

Dr. Rafael O. de Sá

English style corrector

PhD candidate Brett Butler

Diseño editorial

Lic. Andrea Vargas Fernández

M. en A. Rafael de Villa Magallón

COMITÉ EDITORIAL 2021-2023

Editores asociados

Katyuscia Araujo-Viera (Brasil)

Pier Cacciali (Paraguay)

Alessandro Catenazzi (Perú)

Thaís Condez (Brasil)

Marissa Fabrezi (Argentina)

Armando H. Escobedo Galván (México)

Andrés R. Acosta Galvis (Colombia)

Adrián García Rodríguez (Costa Rica)

Uri Omar García Vázquez (México)

Irene Goyenechea Mayer Goyenechea (México)

Rafael Lara Resendiz (México)

Adrián Leyte Manrique (México)

Marco Antonio López Luna (México)

Mariana L. Lyra (Brasil)

Ricardo Itzcóatl Maldonado Reséndiz (México)

Rosario Mata López (México)

Nancy R. Mejía Domínguez (México)

Jorge E. Morales Mávil (México)

Norberto Martínez Méndez (México)

César A. Ríos Muñoz (México)

Carlos Navas (Brasil)

Ileri Suazo Ortuño (México)

Vivian Páez (Colombia)

Nicolás Pelegrin (Argentina)

Andrea Paz (Colombia)

Maria Laura Ponssa (Argentina)

Sean Rovito (México)

Marco A. Suárez Atilano (México)

Jenny C. Urbina (Colombia)

Anyelet Valencia-Aguilar (Colombia)

Julián Andrés Velasco Vinasco (México)

Nelson Velásquez (Chile)



ISSN: 2594-2158 Volumen 04, Número 01, Mayo 2021

Foto de portada: *Chelonia mydas*, Parque Nacional Sistema Arrecifal

Veracruz, Veracruz, México,

por: Emilio Alfonso Suárez Domínguez,

proyecto API-GI-CS-62601-071-18.

Fecha: 2018 .

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

Contacto: revista.latin.herpetologia@gmail.com

CONTENIDO

PRESENTACIÓN DEL CONSEJO EDITORIAL DE LA REVISTA LATINOAMERICANA DE HERPETOLOGÍA... 3

EDITORIAL

DEL CONCEPTO A SU APLICACIÓN: EL PROCESO DEL MODELADO DE NICHOS ECOLÓGICOS Y SUS ALGORITMOS 11

CÉSAR A. RÍOS-MUÑOZ, MARIEL VEGA-FLORES, KATIA M. VEGA-FLORES, SALVADOR HERNÁNDEZ-RUBIO & DEBORAH V. ESPINOSA-MARTÍNEZ

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

SEGREGACIÓN DE HÁBITAT DE INDIVIDUOS ADULTOS Y JUVENILES DEL GARROBO *CTENOSAURA SIMILIS* EN EL PARQUE NACIONAL SANTA ROSA, GUANACASTE, COSTA RICA 26

HODALI ALMONTE ESPINOSA, EDNA DE LA LLATA & JOSÉ MANUEL MORA

BIOTIC ASSESSMENT INDEX BASED ON ANURAN SPECIES TO EVALUATE THE BIOTIC INTEGRITY OF THE FLOODED SAVANNAS ECOSYSTEM FROM PAUTO RIVER BASIN (CASANARE-COLOMBIA)..... 35

TEDDY ANGARITA-SIERRA

ASLAMIENTO Y DETECCIÓN DE *BRUCELLA* SP. (PROTEOBACTERIA) EN *SCELOPORUS MEGALEPIDURUS* (LAGARTIJA ESPINOSA CORREDORA DE VIENTRE BLANCO) DE LA CUENCA ORIENTAL, PUEBLA, MÉXICO..... 56

JUAN RICARDO CRUZ-AVIÑA, CARLOS ALFONSO ÁLVAREZ-GONZALEZ, EMYR SAUL PEÑA-MARÍN, ELSA IRACENA CASTAÑEDA-ROLDÁN & GABRIEL BARRIOS-QUIROZ

ANURANS FROM IGUAZÚ NATIONAL PARK AND BUFFER AREA (ARGENTINA): REVIEW OF SPECIES LIST AND ECOLOGICAL NOTES ON THE LEAF-LITTER ASSEMBLAGES 69

CARLOS ARIEL LÓPEZ & MICHEL VARAJÃO GAREY

ANFIBIOS Y REPTILES EN PARQUES RECREATIVOS ECOLÓGICOS DE LA CIUDAD DE MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO..... 82

PEDRO E. NAHUAT-CERVERA

ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS HEMATOLÓGICOS EN AJOLOTE DE XOCHIMILCO (*AMBYSTOMA MEXICANUM*) BAJO CUIDADO HUMANO EN EL ZOOLOGICO DE CHAPULTEPEC, MÉXICO 95

ALBERTO OLASCOAGA ELIZARRARAZ, ERIKA SERVÍN ZAMORA, MIRYAM G NOGUEIRA MARMOLEJO, JAVIER OJEDA CHÁVEZ, LUZ ELENA ALCARAZ SOSA, MARIELA TERESA DÍAZ NEGRETE, MARESA LÓPEZ MONTAÑO, ANDRÉS DUCOING WATTY, ANNUAR DAVID MAJLUF TREJO & RICARDO ITZCÓATL MALDONADO-RESENDIZ

LOS HADROSAURIOS (ORNITHOPODA, HADROSAUROIDEA) MEXICANOS: UNA REVISIÓN CRÍTICA 105

ÁNGEL ALEJANDRO RAMÍREZ VELASCO

DESCRIPTION OF A NEW SPECIES OF THE *LIOLAEMUS ELONGATUS* GROUP FROM THE ANDES OF CENTRAL CHILE (IGUANIA: LIOLAEMIDAE) 148

JAIME TRONCOSO-PALACIOS & DIEGO RAMÍREZ-ÁLVAREZ

NOTAS CIENTÍFICAS

NUEVOS REGISTROS DE DEPREDACIÓN POR BOA *CONSTRUCTOR* (SERPENTES: BOIDAE) EN COLOMBIA... 164

JUAN MANUEL ACOSTA-ORTIZ, JUAN SEBASTIÁN BOBADILLA-MOLINA, JESÚS ALEJANDRO GONZÁLES-ROJAS & SANTIAGO MARTÍNEZ-VÉLEZ

FIRST RECORD OF *GONATODES ALBOGULARIS* DUMÉRIL & BIBRON, 1836 (SQUAMATA: SPHAERODACTYLIDAE) FOR THE DEPARTMENT OF ATLÁNTIDA, HONDURAS, WITH COMMENTS ON THE INTERACTIONS WITH OTHER LIZARDS 167

CRISTOPHER A. ANTÚNEZ-FONSECA, DENIS PADILLA, JOCELYN A. CASTRO, LUIS ZUNIGA & JOSUÉ RAMOS

NOTAS CIENTÍFICAS (CONT.)

BATRACHOCHYTRIUM DENDROBATIDIS OCCURRENCE IN DEAD AMPHIBIANS OF CENTRAL MEXICO: A REPORT OF AMBYSTOMA ALTAMIRANI AND LITHOBATES MONTEZUMAE **173**

M. DELIA BASANTA, OMAR BETANCOURT-LEÓN, OSCAR L. CHÁVEZ, ARMANDO PÉREZ-TORRES, ERIA A. REBOLLAR, EMANUEL MARTÍNEZ-UGALDE, VÍCTOR D. ÁVILA-ÁKERBERG, TANYA M. GONZÁLEZ MARTÍNEZ, MONTSERRAT VÁZQUEZ TREJO AND GABRIELA PARRA-OLEA

OBSERVACIONES SOBRE EL CUIDADO PARENTAL DE RHEOBATES PALMATUS (ANURA: AROMOBATIDAE) EN VILLAVICENCIO, COLOMBIA **178**

BOBADILLA-MOLINA JUAN SEBASTIÁN, ACOSTA-ORTIZ JUAN MANUEL & MONTOYA-CRUZ ALEXANDRA

PREDATION ON A BRAZILIAN PYGMY GECKO, CHATOGEKKO AMAZONICUS (SQUAMATA, SPHAERODACTYLIDAE), BY A WOLF-SPIDER, LYCOSA SP. (ARANEAE, LYCOSIDAE) **181**

VINÍCIUS A. M. B. DE FIGUEIREDO, KURAZO M. OKADA AGUIAR, RODRIGO TAVARES-PINHEIRO, ABDIEL P. FREITAS & CARLOS EDUARDO COSTA-CAMPOS

PRIMER REGISTRO DE LA SERPIENTE THAMNOPHIS EQUES (REUSS, 1834) EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA BARRANCA DE METZTITLÁN, HIDALGO, MÉXICO **184**

LEONARDO FERNÁNDEZ-BADILLO, NALLELY MORALES-CAPELLÁN, JOSÉ MIGUEL YÁÑEZ-LECHUGA & GUILLERMO SÁNCHEZ-MARTÍNEZ

CONFIRMACIÓN DE LA PRESENCIA DE LA LAGARTIJA COLEONYX ELEGANS (SQUAMATA: EUBLEPHARIDAE) EN HIDALGO, MÉXICO **186**

LEONARDO FERNÁNDEZ-BADILLO, RAÚL VALENCIA-HERVERTH, URI OMAR GARCÍA-VÁZQUEZ, CLAUDIO MENDOZA-PAZ, GERARDO HERNÁNDEZ ORTA, JORGE VALENCIA-HERVERTH & CRISTIAN SAID BERRIOZABAL-ÍSLAS

CARACTERIZACIÓN DEL MICROHÁBITAT DE CHELONIA MYDAS (CHELONIDAE) EN LA COSTA CENTRAL DE VERACRUZ, MÉXICO **190**

FERNÁNDEZ-GARCÍA PERLA DAYANA, SUÁREZ-DOMÍNGUEZ EMILIO ALFONSO, MARTÍNEZ-SERRANO IBIZA & LINARES-MÁRQUEZ PASCUAL

FIRST RECORD OF PREDATION OF MICRURUS MIPARTITUS (SERPENTES: ELAPIDAE) ON OSCAECILIA POLYZONA (GYMNOPHIONA: CAECILIIDAE) IN COLOMBIA **199**

JUAN DAVID FERNÁNDEZ-ROLDÁN, GUIDO FABIAN MEDINA-RANGEL & YENY R. LÓPEZ-PERILLA

OBSERVATION OF NOCTURNAL COPULATION UNDER ARTIFICIAL LIGHT IN THE BROWN ANOLE ANOLIS SAGREI (SQUAMATA: DACTYLOIDAE) **203**

RAMÓN ISAAC ROJAS-GONZÁLEZ

PREDATION OF FELIS CATUS (LINNAEUS, 1758) BY BOA CONSTRICTOR AMARALI (STULL, 1932) **206**

MARCOS TOKUDA & ANDRÉ LUIZ MOTA DA COSTA

BOTHROPS JARARACA (SERPENTES: VIPERIDAE): MATING OBSERVED IN NATURE **208**

SILVIA REGINA TRAVAGLIA CARDOSO, BIANCA DOS S. MALAGOLINI & RAFAEL FERRAZ

NUEVOS REGISTROS DE LA LAGARTIJA INTRODUCIDA ANOLIS SAGREI (SQUAMATA: DACTYLOIDAE) EN EL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO **211**

VÍCTOR VÁSQUEZ-CRUZ, ARLETH REYNOSO-MARTÍNEZ, LANDET GONZÁLEZ-GALINDO & OSCAR CID-MORA

INTENTO DE DEPREDACIÓN DE NIDO DE COCODRILO DE PANTANO CROCODYLUS MORELETII (CROCODYLIDAE) EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA SIAN KAAN, QUINTANA ROO, MÉXICO **215**

ALEJANDRO VILLEGAS, ÁNGEL ECHEVERRÍA, JESÚS VÁZQUEZ-RAMOS, CARLOS GONZÁLEZ-REBELES & RAÚL ULLOA-ÁRVIZU

NOTAS DE DISTRIBUCIÓN

KINOSTERNON HERRERAI (KINOSTERNIDAE) **219**

JUAN M. DÍAZ-GARCÍA & JORGE RAMOS-LUNA

RANGE EXTENSION OF SIBON AYERBEORUM VERA-PÉREZ, 2019 (SERPENTES: COLUBRIDAE) IN COLOMBIA **221**

JONARD DAVID ECHAVARRÍA-RENTERÍA & GUIDO FABIÁN MEDINA-RANGEL

NOTAS DE DISTRIBUCIÓN (CONT.)

REDISCOVERY OF THE ENDANGERED FOREST SPIKETHUMB FROG *PLECTROHYLA GLANDULOSA* (HYLIDAE) AT A MODERATELY DISTURBED BREEDING SITE IN THE HIGHLANDS OF GUATEMALA, CENTRAL AMERICA **226**

LUIS ESTUARDO GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, DANIEL JOSÉ NÚÑEZ-ROBLES & DANIEL ARIANO-SÁNCHEZ

SCINCELLA INCERTA (STUART 1940) (SQUAMATA: SCINCIDAE), UN NUEVO REGISTRO DE HERPETOFAUNA PARA EL SALVADOR..... **228**

VLADEN HENRÍQUEZ, ANTONIO ESAÚ VALDENEGRO-BRITO, NÉSTOR HERRERA & URI OMAR GARCÍA-VÁZQUEZ

METLAPILCOATLUS NUMMIFER (VIPERIDAE) **231**

J. A. ORTIZ-ORTIZ, N. MORALES-CAPELLÁN & LEONARDO FERNÁNDEZ-BADILLO

NUEVO REGISTRO DE *PHRYNONAX POECILONOTUS* (GÜNTHER, 1858) (SQUAMATA: COLUBRIDAE) PARA EL MUNICIPIO DE ZONGOLICA, EN LAS MONTAÑAS DEL CENTRO-OESTE DE VERACRUZ, MÉXICO **232**

FRANCISCO JAVIER RODRÍGUEZ-PÉREZ, NELSON M. CERÓN-DE LA LUZ & VÍCTOR VÁSQUEZ-CRUZ

LAMPROPELTIS MEXICANA (SQUAMATA: COLUBRIDAE) **234**

S.Y. VALDEZ-RENTERÍA, N. MORALES-CAPELLÁN Y LEONARDO FERNÁNDEZ-BADILLO

HEMIDACTYLUS TURCICUS (SQUAMATA: GEKKONIDAE) IN BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO)..... **235**

JORGE H. VALDEZ-VILLAVICENCIO, CLARK R. MAHRDT & DANIELA CASTRO-GUTIÉRREZ

RESEÑA

LIBRO: EL CURIOSO CASO DE LA ESPECIE SIN NOMBRE **237**

OSCAR ALBERTO FLORES-VILLELA

PERSPECTIVA

REPTILIA VS. SAUROPSIDA **239**

OSCAR A. FLORES VILLELA

OBITUARIOS

EN MEMORIA DEL DR. BARRY R. SINERVO "DR. LIZARDO" (1960-2021)..... **246**

FAUSTO R. MÉNDEZ DE LA CRUZ, NATALIA FIERRO ESTRADA, NORBERTO MARTÍNEZ MÉNDEZ & RAFAEL ALEJANDRO LARA-RESENDIZ

RICHARD CARL VOGT (6 DE AGOSTO DE 1949; 17 DE ENERO DE 2021), "EL DOCTOR DE LAS TORTUGAS"..... **250**

OSCAR A. FLORES VILLELA & CAMILA R. FERRARA

DAVID BURTON WAKE (1936-2021): DR. SALAMANDRA... **253**

GABIELA PARRA OLEA & JUAN MANUEL GUAYASAMIN

LA REVISTA LATINOAMERICANA DE HERPETOLOGÍA ESTÁ INDEXADA EN [SCOPUS](#), [LATINDEX 2.0](#) Y TAMBIÉN PERTENECE AL [CATÁLOGO DE REVISTAS](#) DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



DEL CONCEPTO A SU APLICACIÓN: EL PROCESO DEL MODELADO DE NICHOS ECOLÓGICOS Y SUS ALGORITMOS

FROM THE CONCEPT TO ITS APPLICATION: THE PROCESS OF ECOLOGICAL NICHE MODELLING AND THEIR ALGORITHMS

CÉSAR A. RÍOS-MUÑOZ^{1,2}, MARIEL VEGA-FLORES³, KATIA M. VEGA-FLORES³, SALVADOR HERNÁNDEZ-RUBIO³ & DEBORAH V. ESPINOSA-MARTÍNEZ^{3,4*}

¹Secretaría de Desarrollo Institucional, Universidad Nacional Autónoma de México, Torre de Rectoría piso 8, Ciudad Universitaria, 04510, Ciudad de México.

²Centro de Estudios Mexicanos UNAM-Costa Rica, edificio del Centro de Investigación y Capacitación en Administración Pública (CICAP), 2° piso, San Pedro Montes de Oca, 11501-2060 San José, Costa Rica.

³Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, Ciudad de México.

⁴Laboratorio de Arqueozoología, Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Moneda 16 Centro, 06060, Ciudad de México.

*Correspondence: dvem@ciencias.unam.mx

Received: 2021-02-28. Accepted: 2021-04-29.

Existen tres formas diferentes para modelar el nicho ecológico: 1) los modelos correlativos que están basados en las asociaciones ambientales con los registros de ocurrencia de las especies (Peterson et al., 2015), 2) las simulaciones basadas en procesos que estiman las áreas de ocupación y ambientes asociados, con base en supuestos sobre las dimensiones del nicho y las capacidades de dispersión de las especies y 3) los modelos mecanísticos que se basan en conocer la respuesta de las condiciones ambientales en términos biofísicos y fisiológicos (Kearney et al., 2010; Wang et al., 2018). De los primeros, se derivan dos tipos, que aunque han sido considerados sinónimos vale la pena destacar sus diferencias: los modelos de nicho ecológico (MNE) que son el conjunto de condiciones teóricas que ocupan las especies y los modelos de distribución de especies (MDE) que son la representación geográfica de donde ocurren los MNE (Peterson & Soberón, 2012). Ambos se han popularizado gracias a la gran cantidad de información disponible, tanto biológica como geográfica (Ríos-Muñoz & Espinosa-Martínez, 2019a; Ríos-Muñoz et al., 2020), así como por la facilidad que existe para manejar las herramientas que contienen los algoritmos de modelado que son parte fundamental del proceso (Ríos-Muñoz & Espinosa-Martínez, 2019b).

Para entender el funcionamiento de los modelos correlativos es necesario conocer los fundamentos biológicos y teóricos que existen en el proceso de modelado, de no hacerlo se pueden hacer interpretaciones erróneas o ignorar las limitaciones que pueden tenerse, además de las que se han mencionado para los datos biológicos y geográficos en editoriales anteriores (Ríos-Muñoz & Espinosa-Martínez, 2019a; Ríos-Muñoz et al., 2020). Sin duda, el entendimiento de los fundamentos y conceptos es básico para plantear preguntas correctas y sobre todo, saber si este tipo de herramientas son las que necesitamos utilizar para poder contestar las preguntas planteadas (Ríos-Muñoz & Espinosa-Martínez, 2019b).

En esta editorial abordaremos los fundamentos relacionados con el proceso de modelado de nichos ecológicos, con la finalidad de conocer sus principios biológicos. Además, nos enfocaremos en una revisión de los algoritmos que han sido utilizados, con el propósito de que el lector tenga una idea de las diferentes opciones que existen y los programas en donde pueden encontrarse.

El concepto de nicho ecológico

El término *nicho* en el contexto ecológico ha sido utilizado por diferentes autores en distintos tiempos, desde que apareciera por primera vez publicado por Roswell H. Johnson (1910), en donde se refiere a espacios ambientales ocupados por diferentes especies en una misma región, aunque no da una definición del concepto. Posteriormente y de manera formal, Joseph Grinnell (1917) propuso que las condiciones climáticas y el hábitat están relacionados con el área de distribución de una especie, de manera que la disponibilidad de ambos elementos proporcionan el *nicho* con los recursos necesarios para que sólo una especie pueda ocuparlos y en caso de que llegara a estar disponible, otra especie puede utilizarlos e incluso señaló que los ocupantes de nuevos nichos son producto de un proceso evolutivo (Grinnell, 1924). Posteriormente, Charles Elton (1927) definiría el término como “el lugar de un animal en su comunidad y su relación con la comida y sus enemigos, y en cierta medida también a otros factores” (Elton, 1927: 50). En esta definición, Elton propone que el papel de las especies está dado por la estructura de la comunidad ecológica, de manera que un mismo nicho puede tener diferentes especies en distintas partes del mundo, debido a que las comunidades se estructuran de manera similar (ej. herbívoros, carnívoros y carroñeros) o por tener atributos funcionales similares.

Treinta años más tarde George Evelyn Hutchinson (1957) establecería el nicho como un hipervolumen multidimensional, en donde cada eje que lo conforma corresponde a un estado del ambiente que permite a una especie existir indefinidamente. Sin embargo, de acuerdo con Hutchinson (1957, 1959, 1978) la multidimensionalidad está dada por dos tipos de variables, las que son independientes y las que están ligadas a la presencia de las especies, que actúan a diferentes escalas y que pueden estar ligadas de manera dinámica o no a la presencia de la especie (Soberón, 2007; Peterson et al., 2011).

En el caso de las variables que son independientes de la presencia de la especie (como podrían ser la altitud, la precipitación y la temperatura) han sido llamadas escenopoéticas (Hutchinson, 1978) y típicamente se han ligado a factores abióticos (Ríos-Muñoz et al., 2020) que actúan a macroescala (Peterson et al., 2011). Es importante mencionar que pueden existir factores bióticos que pueden ser independientes a la presencia de la especie y que, por lo tanto, también serían consideradas como variables escenopoéticas (Hutchinson, 1978). Por otro lado, las variables ligadas dinámicamente a la presencia de las especies, llamadas bionómicas (Hutchinson, 1978), son la presencia de depredadores o recursos alimenticios, las cuales operan a escalas locales y están relacionadas con las interacciones

bióticas que puedan existir (Peterson et al., 2011). Ambos tipos de variables forman parte de la multidimensionalidad del nicho (Hutchinson, 1957).

Esta perspectiva de la multidimensionalidad del nicho ha hecho que se hable por un lado de *nichos Grinnellianos*, como aquellos relacionados con aspectos ligados a la distribución geográfica o macroescala y con base en variables escenopoéticas o fundamentales, y por otro de *nichos Eltonianos*, en donde las variables directamente relacionadas o bionómicas tienen influencia a escala local para que sea concretado o realizado (Hutchinson, 1957, 1959; Chase & Leibold, 2003; Soberón, 2007; Peterson et al., 2011).

Nichos y distribuciones geográficas

De acuerdo con Hutchinson (1957) existe una correspondencia entre el espacio ecológico y el espacio geográfico que ha sido llamada la dualidad de Hutchinson (Colwell & Rangel, 2009). Esta dualidad consiste en que ambos espacios tienen una correspondencia en la que para cada punto en el espacio geográfico existe un punto en el espacio ecológico, dado por las variables ambientales. Sin embargo, un punto en el espacio ecológico puede ser encontrado en uno o más puntos del espacio geográfico. Esta dualidad ha permitido que se pueda partir desde un conocimiento geográfico de las especies (i.e. los sitios donde se han registrado) y junto con variables ambientales independientes (Ríos-Muñoz et al., 2020), pasar a un espacio ecológico en donde se pueda recrear una hipótesis de cómo es su nicho ecológico, para posteriormente ser proyectado al espacio geográfico y visualizarlo de forma bidimensional sobre un mapa (Peterson et al., 2011) (Fig. 1). Esta representación final no es más que una recreación del nicho ecológico hecha bajo las premisas de algún algoritmo de modelado y difícilmente podría ser interpretada como el área de distribución de la especie, ya que existen algunos elementos que valen la pena considerar y que se describirán a continuación.

Para poder ilustrar de manera sencilla los aspectos relacionados con la distribución de las especies y su nicho ecológico se ha propuesto el diagrama BAM (Soberón & Peterson, 2005; Peterson et al., 2011). Este diagrama, nombrado así por los elementos que lo componen (bióticos, abióticos y movilidad) en un contexto geográfico, representa una síntesis basada en diagramas de Venn que permite identificar cómo la alteración en cualquiera de los elementos tiene influencia directa sobre la distribución de las especies (Soberón & Peterson, 2005) (Fig. 2). El primer componente B, representa la región en donde ocurren las interacciones bióticas específicas que son indispensables para que la especie pueda subsistir, mientras que el segundo

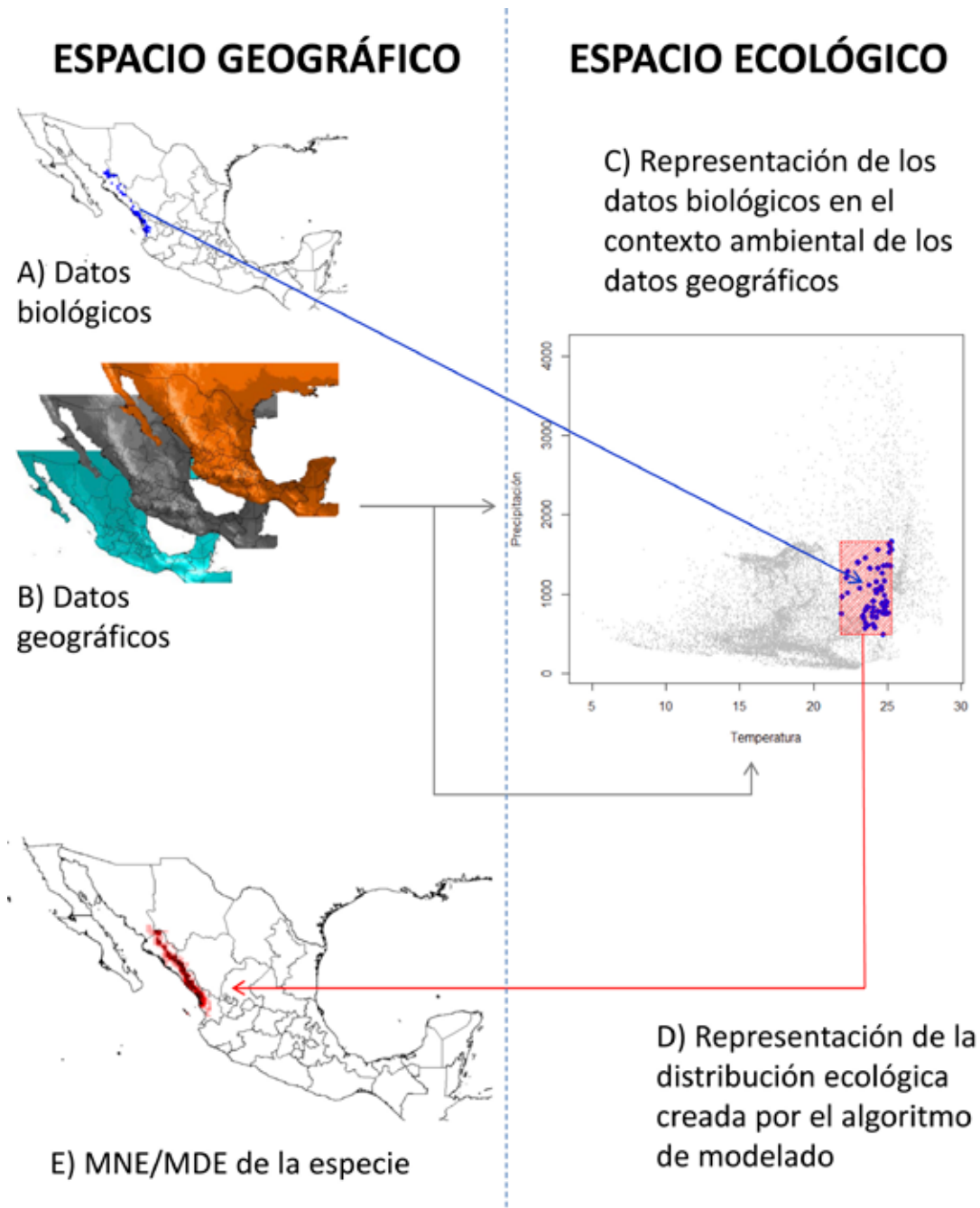


Figure 1. Process of ecological niche/species distribution modelling (ENM/SDM). The process is divided in a geographic space, where it is possible to represent the biological (A) and geographic (B) data, which are combined in an ecological space (theoretical), where the biological data are located in the environmental context of the geographic data (C). From this identification the modelling algorithms are used to recreate the ecological niche, in this example the envelope algorithm is represented (Bioclim)(D). Finally, the model created by the algorithm is moved to the geographic space as an ENM/SDM (E).

Figura 1. Proceso de modelado de nicho ecológico/distribución de especies (MNE/MDE). El proceso está dividido en un espacio geográfico, en el que es posible representar los datos biológicos (A) y los datos geográficos (B), los cuales se combinan en un espacio ecológico (teórico), en donde se ubican los datos biológicos en el contexto ambiental de los datos geográficos (C). A partir de esta identificación se utilizan los algoritmos de modelado para recrear el nicho ecológico, en este ejemplo la representación es de un algoritmo de envoltura (Bioclim)(D). Finalmente, el modelo creado por el algoritmo es trasladado en el espacio geográfico como un MNE/MDE (E).

componente A, se refiere a las condiciones abióticas. Finalmente el componente M, se refiere al área que es accesible para la especie, dada su capacidad de movilidad, así como los medios externos por los que pueda desplazarse (ej. los factores antropogénicos) (Soberón & Peterson, 2005; Peterson et al., 2011) o por la restricción dada debido a su historia biogeográfica, incluyendo su capacidad o incapacidad de superar barreras preexistentes (Morrone, 2004). De esta manera, la intersección de los elementos A y B representa los sitios en donde las condiciones bióticas y abióticas son favorables para que la especie pueda sobrevivir dadas las preferencias de la especie como lo señala Hutchinson (1957). Sin embargo, al agregar el factor M, permite diferenciar entre un área potencial (intersección de A y B) de un área ocupada (la intersección entre los tres elementos). Esto permite identificar que el área de distribución de las especies tiene una restricción espacial de las condiciones bióticas y abióticas que son favorables para una especie.

En el contexto de los MNE/MDE hay que considerar que los datos biológicos con los que contamos provienen de la intersección de los tres elementos. Además, la información que utilizamos para poder relacionarlos proviene en su gran mayoría del contexto abiótico, debido a que las interacciones bióticas son difíciles de interpretar en el contexto geográfico o son completamente desconocidas para algunas especies (Soberón & Peterson, 2005). Por esta razón, la mayoría de los algoritmos de modelado de nicho únicamente relacionan los datos biológicos con características geográficas representadas sólo por el contexto abiótico (MNE), por lo que los MDE son una aproximación a lo que de verdad representa la distribución de las especies.

Los algoritmos de modelado

A pesar de las limitaciones de los MNE/MDE, al no considerar el factor B, son herramientas muy útiles para aproximarse a la distribución de las especies, y los algoritmos de modelado son fundamentales para poder hacer una representación en el espacio ecológico que pueda ser trasladada al contexto geográfico (Fig. 1). A lo largo de los años, se han propuesto distintos algoritmos basados en métodos diferentes para poder hacer la representación del nicho ecológico. Por esta razón hemos clasificado diversos algoritmos en función de los métodos en los que se fundamentan; cabe señalar que no se trata de una clasificación basada en una revisión exhaustiva, sino es más bien un recuento para dar a conocer diferentes grupos de algoritmos, con la finalidad de que se conozcan los principios de su funcionamiento, tomando en cuenta el tipo de método que emplea cada uno para tomar decisiones informadas (en el Apéndice 1 se incluyen todas las ligas y referencias de los algoritmos de los que hacemos mención en esta parte).

Los primeros algoritmos que se propusieron fueron los de envoltura ambiental (*environmental envelope*), cuya lógica de funcionamiento es muy simple, ya que lo hacen a partir de la representación de valores máximos y mínimos de las variables ambientales identificadas a partir de los registros biológicos (Plischoff & Fuentes-Castillo, 2011; Franklin, 2012), o se trata de modificaciones que permitan ajustarse mejor a los datos puntuales (ej. HABITAT, Walker & Cocks, 1991). Estos algoritmos tienen algunas limitantes, ya que al considerar los registros extremos se puede ampliar la hipótesis del espacio ecológico de la especie debido a que se trata de individuos fuera de las condiciones favorables al encontrarse durante su migración (Menchetti et al., 2019), individuos que disminuyen su actividad durante estaciones específicas del año como verano o invierno para evitar condiciones desfavorables (Nowakowska et al., 2009; Davis & DeNardo, 2010). También puede tratarse de individuos juveniles que exploran áreas geográficas alejadas donde las condiciones no son favorables para establecerse o de registros accidentales de individuos que se consideran vagabundos o vagantes (Cáceres Murrie et al., 2018). Además, es necesario considerar que el área de distribución de las especies depende del factor de escala al que sea analizado, por lo que aunque a escalas globales, continentales o regionales parecen ser continuas, a escalas locales no son homogéneas debido a que no todos los lugares a nivel local reúnen las condiciones favorables para que una especie pueda subsistir, a lo que se le ha denominado anisotropía (Rapoport & Monjeau, 2001; Soberón & Peterson, 2011), aunque métodos como el de estimación de densidad del Kernel son capaces de ajustarse considerando la anisotropía ambiental (Blonder et al., 2014).

Otros algoritmos se basan en la similitud ambiental (*environmental distance*) de los registros biológicos. A partir de ésta se establecen valores que pueden ser cercanos o lejanos dando una idea del comportamiento de la similitud ecológica entre los registros de manera multidimensional en el espacio ecológico. En algunos casos, este grupo de algoritmos se modifica para transformar las distancias en probabilidades usando una distribución χ^2 , como en el caso de las distancias de Mahalanobis (Etherington, 2019), lo que da como resultado un mapa de probabilidades basado en las distancias ecológicas de los datos de presencia.

Se han desarrollado también algoritmos con base en estadística multivariada (*multivariate statistics methods*) como los análisis de componentes principales (Hirzel et al., 2002). Estos algoritmos utilizan los datos de presencia y seleccionan combinaciones ambientales de toda el área geográfica donde se realizará el modelo (llamados datos de entorno o *background*).

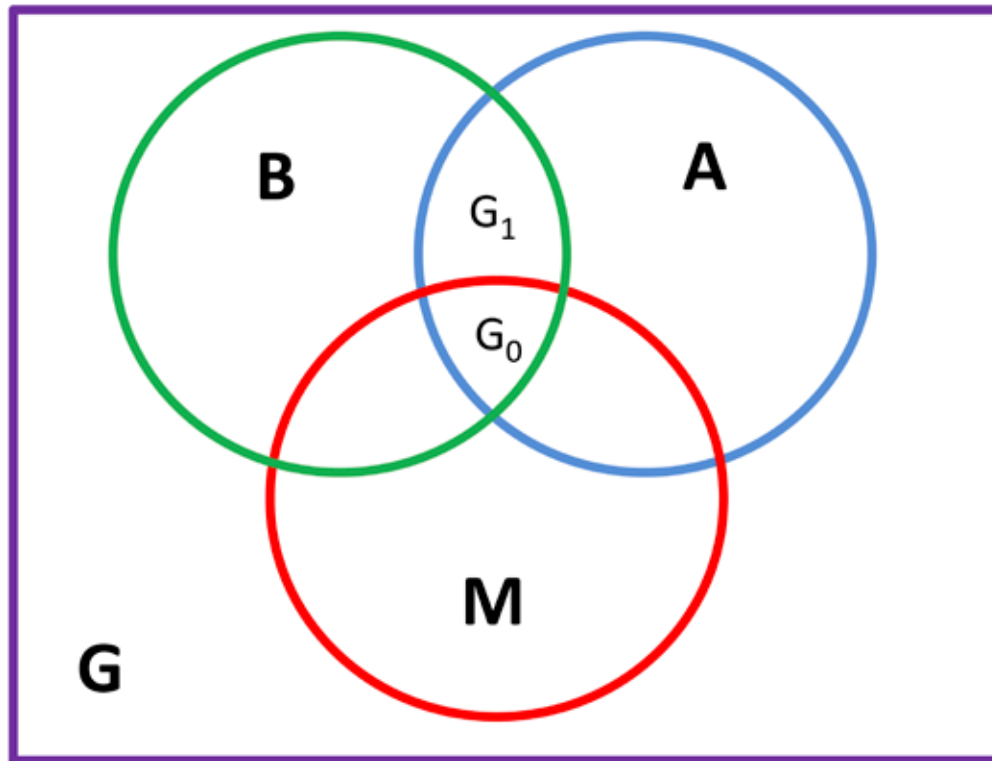


Figure 2. Schematic representation of BAM diagram. The square G represents the geographic space where the biotic factors (green circle, B), abiotic factors (blue circle, A) and mobility (red circle, M) occur. The intersection G_0 represents the distribution area of a given species whereas G_1 represents the invadable distributional area. Taken and modified from Soberón & Peterson (2005).

Figura 2. Representación esquemática del diagrama BAM. El cuadro G representa el espacio geográfico donde se encuentran los factores bióticos (círculo verde, B), factores abióticos (círculo azul, A) y movilidad (círculo rojo, M). La intersección G_0 representa el área de distribución de una especie, mientras que G_1 representa el área de distribución invadible. Tomado y modificado de Soberón & Peterson (2005).

para poder representar con variables ortogonales el espacio ecológico; sin embargo, la explicación directa de las variables es complicada, ya que todas las variables tienen un aporte en cada uno de los componentes.

Otro grupo corresponde a los algoritmos basados en análisis de regresión y clasificación (*regression and classification analyses*). Los que se basan en regresión, establecen una relación lineal o no lineal entre las variables ambientales y los datos de presencia para estimar la probabilidad de su presencia (Franklin, 2012). Por otro lado, los algoritmos de clasificación consisten en ordenaciones basadas en un conjunto de reglas (ya sean descriptivas y/o discriminantes), donde se asigna una clase para cada combinación de las variables, a partir de la cual generan un modelo en el que se determina la probabilidad de la presencia de una especie (Becerra et al., 2016). Existen algoritmos que combinan estos métodos como los árboles de clasificación y regresión (De'ath & Fabricius, 2000).

Los métodos basados en el procesamiento de imágenes satelitales y aéreas (*images processing methods*) también se han utilizado en la elaboración de los MNE/MDE. El único algoritmo basado en este tipo de métodos es WhyWhere (Stockwell, 2006). El método consiste en filtrar gran cantidad de variables ambientales para encontrar las que mejor se ajusten con los datos de presencia, a través de un proceso iterativo en el que las mejores dos variables son clasificadas y comparadas con el resto para obtener un modelo final.

Los algoritmos de aprendizaje automático (*machine learning*), se basan en procesos iterativos que permiten identificar las asociaciones de datos de presencia y datos de no presencia (*background o pseudoausencias*), los cuales son aleatorizados y divididos en grupos de entrenamiento y validación (Bhattacharya, 2013). Los procesos iterativos permiten reconocer patrones generados a partir de los datos de entrenamiento y validación hasta un umbral, en el que los resultados dejan de

ser significativamente diferentes, o bien cuando se alcanza un número finito de repeticiones (Dey, 2016). Algunos algoritmos han sido muy utilizados como el Algoritmo Genético de Producción de Conjuntos de Reglas (*Genetic Algorithm for Rule-Set Production*, GARP), que funciona a través de un algoritmo genético (Stockwell & Peters, 1999) o Maxent, basado en máxima entropía (Phillips et al., 2006). Es común que este tipo de algoritmos combinen algunos más simples como los de envoltura o los de regresión, con la finalidad de integrar diferentes métodos y poder generar representaciones de los nichos ecológicos más complejas y, en teoría, más precisas (Stockwell & Peters, 1999; Phillips et al., 2006).

Es necesario recordar que cada algoritmo hace una representación distinta del nicho de la especie y que no existen nichos buenos o malos, sino representaciones diferentes por lo que es indispensable entender cómo funcionan para tener un mejor criterio informado de lo que se está utilizando.

Agradecimientos.— A la Dra. Leticia M. Ochoa Ochoa por su invitación para participar en esta serie de editoriales sobre MNE/ MDE. Asimismo agradecemos a los dos revisores anónimos por sus comentarios para mejorar el manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Becerra López, J.L., U. Romero-Méndez, A. Ramírez-Bautista & S. Becerra-López. 2016. Revisión de las técnicas para el modelado de la distribución de las especies. *Revista Biológico Agropecuaria de Tuxpan* 5:1514-1525.
- Bhattacharya, M. 2013. Machine learning for bioclimatic modelling. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 4:1-8.
- Blonder, B., C. Lamanna, C. Violle & B.J. Enquist. 2014. The n-dimensional hypervolume. *Global Ecology and Biogeography* 23:595-609.
- Cáceres Murrie, B., A. Aguayo Lobo, D. Scholfield, F. Arcos, N. Muñoz García, J. Cabello Stom & J. Acevedo. 2018. New Record of Black Turtle *Chelonia mydas agassizii* in High Latitudes of Eastern South Pacific Ocean. *Journal of Life Sciences* 12:150-158.
- Chase, J.M. & M.A. Leibold. 2003. *Ecological niches. Linking classical and contemporary approaches*. University of Chicago Press, Chicago, USA.
- Colwell, R.K. & T.F. Rangel. 2009. Hutchinson's duality: The once and future niche. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106:19651-19658.
- Davis, J.R. & D.F. DeNardo. 2010. Seasonal Patterns of Body Condition, Hydration State, and Activity of Gila Monsters (*Heloderma suspectum*) at a Sonoran Desert Site. *Journal of Herpetology* 44:83-93.
- De'ath, G. & K.E. Fabricius. 2000. Classification and Regression Trees: a powerful yet simple technique for ecological data analyses. *Ecology* 81:3178-3192.
- Dey, A. 2016. Machine Learning Algorithms: A Review. *International Journal of Computer Science and Information Technologies* 7:1174-1179.
- Elton, C. 1927. *Animal Ecology*. The MacMillan Company, New York, New York, USA.
- Etherington, T.R. 2019. Mahalanobis distances and ecological niche modelling: correcting a chi-squared probability error. *PeerJ* 7: e6678.
- Franklin, J. 2012. *Mapping Species Distributions. Spatial Inference and Prediction*. Cambridge University Press, New York, USA.
- Grinnell, J. 1917. The niche relationships of the California Thrasher. *Auk* 34:427-433.
- Grinnell, J. 1924. Geography and evolution. *Ecology* 5:225-229.
- Hirzel, A.H., J. Hausser, D. Chessel & N. Perrin. 2002. Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data?. *Ecology* 83:2027-2036.
- Hutchinson, G.E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 22:415-427.
- Hutchinson, G.E. 1959. Il concetto moderno di nicchia ecologica. *Memorie dell'Istituto italiano di idrobiologia* 11:9-22.
- Hutchinson, G.E. 1978. *An introduction to population ecology*. Yale University Press, New Haven, Connecticut, USA.
- Johnson, R.H. 1910. *Determinate evolution in the color-pattern of the lady-beetles*. Carnegie Institute of Washington. Washington, D. C. USA.

- Kearney, M., B. Wintle & W. Porter. 2010. Correlative and mechanistic models of species distribution provide congruent forecasts under climate change. *Conservation Letters* 3:203-213.
- Menchetti, M., M. Guéguen & G. Talavera. 2019. Spatio-temporal ecological niche modelling of multigenerational insect migrations. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 286:20191583.
- Morrone, J.J. 2004. Panbiogeografía, componentes bióticos y zonas de transición. *Revista Brasileira de Entomologia* 48:149-162.
- Nowakowska, A., G. Świdarska-Kołacz, J. Rogalska & M. Caputa. 2009. Antioxidants and oxidative stress in *Helix pomatia* snails during estivation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C* 150:481-486.
- Peterson, A.T., M. Papeş & J. Soberón. 2015. Mechanistic and correlative models of ecological niches. *European Journal of Ecology* 1:28-38.
- Peterson, A.T. & J. Soberón M. 2012. Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. *Natureza & Conservação* 10:102-107.
- Peterson, A.T., J. Soberón, R.G. Pearson, R.P. Anderson, E. Martínez-Meyer, M. Nakamura & M.B. Araujo. 2011. *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- Phillips, S.J., R.P. Anderson & R.E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231-259.
- Plischoff, P. & T. Fuentes-Castillo. 2011. Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande* 48:61-79.
- Rapoport, E.H. & J.A. Monjeau. 2001. Areografía. Pp. 23-30. En J. Llorente-Bousquets & J.J. Morrone (Eds.), *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: Teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. Las Prensas de Ciencias, D.F., México.
- Ríos-Muñoz, C.A. & D.V. Espinosa-Martínez. 2019a. Datos biológicos: fuentes y consideraciones. *Revista Latinoamericana de Herpetología* 2:5-14.
- Ríos-Muñoz, C.A. & D.V. Espinosa-Martínez. 2019b. ¿Qué es necesario considerar para utilizar de manera adecuada los modelos de nicho ecológico o modelos de distribución de especies?: Cómo no caer en la tentación. *Revista Latinoamericana de Herpetología* 2:5-8.
- Ríos-Muñoz, C.A., D.V. Espinosa-Martínez & K.M. Vega-Flores. 2020. Por qué la geografía sí importa: Fuentes y consideraciones de la información ambiental en el proceso del modelado de nichos ecológicos y/o distribución de especies. *Revista Latinoamericana de Herpetología* 3:5-32.
- Soberón, J. 2007. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters* 10:1115-1123.
- Soberón, J. & A.T. Peterson. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics* 2:1-10.
- Soberón, J. & A.T. Peterson. 2011. Ecological niche shifts and environmental space anisotropy: a cautionary note. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82:1348-1355.
- Stockwell, D.R.B. 2006. Improving ecological niche models by data mining large environmental datasets for surrogate models. *Ecological Modelling* 192:188-196.
- Stockwell, D.R.B. & D. Peters. 1999. The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science* 13:143-158.
- Walker, P.A. & K.D. Cocks. 1991. HABITAT: a procedure for modelling a disjoint environmental envelope for a plant or animal species. *Global Ecology and Biogeography Letters* 1:108-118.
- Wang, Y., W. Porter, P.D. Mathewson, P.A. Miller, R.W. Graham & J.W. Williams. 2018. Mechanistic modeling of environmental drivers of woolly mammoth carrying capacity declines on St. Paul Island. *Ecology* 99:2721-2730.

APÉNDICE 1. CLASIFICACIÓN DE ALGORITMOS DE MNE/MDE Y LOS SOFTWARES DONDE ESTÁN IMPLEMENTADOS/

CLASSIFICATION OF MNE / MDE ALGORITHMS AND THE SOFTWARE WHERE THEY ARE IMPLEMENTED

Algoritmo	Cita	Software	Cita
1. Envoltura ambiental (Environmental envelope)			
BIOCLIM. Sistema de Predicción y Análisis Bioclimático (Bioclimate Analysis and Prediction System)	Nix (1986); Booth et al. (2014)	openModeller 1.5.0 y openModeller Desktop 1.1.0 (http://openmodeller.sourceforge.net/)	Muñoz et al. (2011)
		DIVA-GIS (https://www.diva-gis.org/)	Hijmans et al. (2001)
		Paquete de R: dismo (https://CRAN.R-project.org/package=dismo)	Hijmans et al. (2017)
		ModEco (http://www.3decology.org/modeco/)	Guo & Liu (2010)
		ANUCLIM 6.1 (https://fennerschool.anu.edu.au/research/products/anuclim)	Xu & Hutchinson (2011)
		mMWeb (https://sourceforge.net/p/mmweb/code/2/tree/trunk/)	Qiao et al. (2012)
HABITAT	Walker & Cocks (1991)	NA	NA
KDE. Estimación de Densidad del Kernel (Kernel Density Estimation)	Silverman (1986); Blonder et al. (2014)	Paquete de R: hypervolume (2.0.12) (https://cran.r-project.org/web/packages/hypervolume/index.html)	Blonder (2015)
RES. Idoneidad Ambiental Relativa (Relative Environmental Suitability)	Kaschner et al. (2006)	openModeller 1.5.0 y openModeller Desktop 1.1.0 (http://openmodeller.sourceforge.net/)	Muñoz et al. (2011)
		Disponible en: www.aquamaps.org	Kaschner et al. (2019)
2. Similitud ambiental (Environmental distance)			
Distancia de Mahalanobis (Mahalanobis Distance)	Clark et al. (1993); Etherington (2019)	Paquete de R: adehabitat (https://cran.r-project.org/web/packages/adehabitat/index.html)	Calenge (2006)
DOMAIN	Carpenter et al. (1993)	Paquete de R: dismo (https://CRAN.R-project.org/package=dismo)	Hijmans et al. (2017)
		DIVA-GIS (https://www.diva-gis.org/)	Hijmans et al. (2001)
		Paquete de R: adehabitat (https://cran.r-project.org/web/packages/adehabitat/index.html)	Calenge (2006)
DOMAIN	Carpenter et al. (1993)	ModEco (http://www.3decology.org/modeco/)	Guo & Liu (2010)

Algoritmo	Cita	Software	Cita
ENVDIST. Distancia ambiental (Environmental Distance)	Carpenter et al. (1993)	openModeller 1.5.0 y openModeller Desktop 1.1.0 (http://openmodeller.sourceforge.net/)	Muñoz et al. (2011)
		mMWeb (https://sourceforge.net/p/mmweb/code/2/tree/trunk/)	Qiao et al. (2012)
NPPEN. Nicho Ecológico No Paramétrico Probabilístico (Non Parametric Probabilistic Ecological Niche)	Beaugrand et al. (2011)	Paquete de R: (https://github.com/jiho/nppen)	Jean-Olivier (2020)
3. Basados en estadística multivariada (Multivariate statistics methods)			
CSM. Modelo de Espacio Climático (Climate Space Model)	Robertson et al. (2001)	openModeller 1.5.0 y openModeller Desktop 1.1.0 (http://openmodeller.sourceforge.net/)	Muñoz et al. (2011)
		Biomapper (https://www2.unil.ch/biomapper/)	Hirzel (2004)
ENFA. Análisis Factorial del Nicho Ecológico/ Análisis de Factores del Nicho Ecológico (Ecological Niche Factor Analysis)	Hirzel et al. (2002)	openModeller 1.5.0 y openModeller Desktop 1.1.0 (http://openmodeller.sourceforge.net/)	Muñoz et al. (2011)
		Paquete de R: adehabitat (https://cran.r-project.org/web/packages/adehabitat/index.html)	Calenge (2006)
		mMWeb (https://sourceforge.net/p/mmweb/code/2/tree/trunk/)	Qiao et al. (2012)
FDA. Análisis Flexible de Discriminantes (Flexible discriminant analysis)	Hastie et al. (1994)	Paquete de R: mda (0.5-2) (https://cran.r-project.org/web/packages/mda/index.html)	Hastie & Tibshirani (2020)
		Paquete de R: biomod2 (https://cran.r-project.org/web/packages/biomod2/index.html)	Thuiller et al. (2020)
FloraMap v 2.	Jones et al. (2002)	FloraMap	Jones et al. (2002)
MARS. Regresión Multivariada Adaptativa por Splines (Multivariate Adaptive Regression Splines)	Friedman (1991)	Paquete de R: biomod2 (https://cran.r-project.org/web/packages/biomod2/index.html)	Thuiller et al. (2020)
		Paquete de R: mda (0.5-2) (https://cran.r-project.org/web/packages/mda/index.html)	Hastie & Tibshirani (2020)
		mMWeb (https://sourceforge.net/p/mmweb/code/2/tree/trunk/)	Qiao et al. (2012)

Algoritmo	Cita	Software	Cita
4. Análisis de regresión y clasificación (Regression and classification analyses)			
CART. Árboles de Clasificación y Regresión (Classification and Regression Trees).	De'ath & Fabricius (2000)	CART (Incluido en software comercial de estadística (ej. JMP)).	NA
		Paquete de R: sdm (https://cran.r-project.org/web/packages/sdm/index.html)	Naimi & Araujo (2016)
CTA. Análisis de Árboles de Clasificación (Classification Tree Analysis).	Breiman et al. (1984)	Paquete de R: biomod2 (https://cran.r-project.org/web/packages/biomod2/index.html)	Thuiller et al. (2020)
		mMWeb (https://sourceforge.net/p/mmweb/code/2/tree/trunk/)	Qiao et al. (2012)
GAM. Modelos Aditivos Generalizados (Generalized Additive Model).	Hastie & Tibshirani (1990); Guisan et al. (2002)	Paquete de R: mgcv (https://cran.r-project.org/web/packages/mgcv/index.html)	Wood (2017)
		Paquete de R: biomod2 (https://cran.r-project.org/web/packages/biomod2/index.html)	Thuiller et al. (2020)
		Paquete de R: dismo (https://CRAN.R-project.org/package=dismo)	Hijmans et al. (2017)
		S-PLUS 8 (https://s-plus.software.informer.com/8.0/)	Insightful Corporation (2007)
		mMWeb (https://sourceforge.net/p/mmweb/code/2/tree/trunk/)	Qiao et al. (2012)
GDM. Modelos de Disimilitud Generalizados (Generalized Dissimilarity Modelling).	Ferrier et al. (2007)	Paquete de R: gdm (1.4.2) (https://cran.r-project.org/web/packages/gdm/index.html)	Fitzpatrick et al. (2020)
GLM. Modelos Lineales Generalizados (Generalized Linear Models).	Nelder & Wedderburn (1972); Guisan et al. (2002)	Paquete de R: biomod2 (https://cran.r-project.org/web/packages/biomod2/index.html)	Thuiller et al. (2020)
		Paquete de R: hier.part (https://cran.r-project.org/web/packages/hier.part/index.html)	Nally & Walsh (2004)
		Paquete de R: dismo (https://CRAN.R-project.org/package=dismo)	Hijmans et al. (2017)
		mMWeb (https://sourceforge.net/p/mmweb/code/2/tree/trunk/)	Qiao et al. (2012)
		ModEco (http://www.3decology.org/modeco/)	Guo & Liu (2010)
		S-PLUS (https://s-plus.software.informer.com/8.0/)	Insightful Corporation (2007)

Algoritmo	Cita	Software	Cita
MA. Algoritmo de Marble (Marble Algorithm).	Qiao et al. (2015)	mMWeb (https://sourceforge.net/p/mmweb/code/2/tree/trunk/)	Qiao et al. (2012)
SGDM. Modelos de Disimilitud Generalizada Dispersa (Sparse Generalized Dissimilarity Modelling).	Leitão et al. (2015)	Paquete de R: sgdm (https://github.com/sparsegdm/sgdm_package)	Leitão et al. (2017)
5. Métodos de procesamiento de imágenes (Images processing methods)			
WW. Por qué-Dónde (WhyWhere).	Stockwell (2006)	Paquete de R: WhyWhere (https://github.com/davids99us/whywhere)	Stockwell (2015)
6. Aprendizaje automático (Machine learning)			
ANN. Red Neuronal Artificial (Artificial Neural Network).	Zupan (1994)	OpenModeller 1.5.0 (http://openmodeller.sourceforge.net/)	Muñoz et al. (2011)
		Stuttgart Neural Network Simulator 4.1 (http://www.ra.cs.uni-tuebingen.de/SNNS/welcome.html)	Pearson et al. (2002)
		Paquete de R: biomod2 (https://cran.r-project.org/web/packages/biomod2/index.html)	Thuiller et al. (2002)
		mMWeb (https://sourceforge.net/p/mmweb/code/2/tree/trunk/)	Qiao et al. (2012)
		ModEco (http://www.3decology.org/modeco/)	Guo & Liu (2010)
GARP. Algoritmo Genético de Producción de Conjunto de Reglas (Genetic Algorithm for Rule-set Production)	Stockwell (1999); Stockwell & Peters (1999)	Paquete de R: nnet (https://CRAN.R-project.org/package=nnet/)	Venables & Ripley (2002)
		openModeller 1.5.0 y openModeller Desktop 1.1.0 (http://openmodeller.sourceforge.net/)	Muñoz et al. (2011)
		mMWeb (https://sourceforge.net/p/mmweb/code/2/tree/trunk/)	Qiao et al. (2012)
GBM. Modelo de Incremento Generalizado (Generalized Boosted Models).	Friedman et al. (2000)	DesktopGARP (https://desktop-garp.software.informer.com/1.1/)	Scachetti-Pereira (2003)
		Paquete de R: dismo (https://CRAN.R-project.org/package=dismo)	Hijmans et al. (2017)
		Paquete de R: gbm (https://cran.r-project.org/web/packages/gbm/index.html)	Ridgeway (2010)
		Paquete de R: biomod2 (https://cran.r-project.org/web/packages/biomod2/index.html)	Thuiller (2020)

Algoritmo	Cita	Software	Cita
GBM. Modelo de Incremento Generalizado (Generalized Boosted Models).	Friedman et al. (2000)	mMWeb (https://sourceforge.net/p/mmweb/code/2/tree/trunk/)	Qiao et al. (2012)
LOBAG. Envoltura de Sesgo Bajo (Low-Bias Bagging).	Drake (2014)	Paquete de R: kernlab (https://cran.r-project.org/web/packages/kernlab/index.html)	Karatzoglou et al. (2004)
LOBAG-OC. Envoltura de Sesgo Bajo de Una Clase (Low-Bias Bagging-One-Class).	Drake (2014)	Paquete de R: kernlab (https://cran.r-project.org/web/packages/kernlab/index.html)	Karatzoglou et al. (2004)
Maxent. Modelo de Máxima Entropía (Maximum Entropy Modeling).	Phillips et al. (2006, 2017b)	Paquete de R: dismo (https://CRAN.R-project.org/package=dismo)	Hijmans et al. (2017)
		Maxent 3.4.4 (https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/)	Phillips et al. (2017a)
		mMWeb (https://sourceforge.net/p/mmweb/code/2/tree/trunk/)	Qiao et al. (2012)
		ModEco (http://www.3decology.org/modeco/)	Guo & Liu (2010)
		Paquete de R: biomod2 (https://cran.r-project.org/web/packages/biomod2/index.html/)	Thuiller et al. (2020)
RF. Bosques Aleatorios (Random Forest).	Breiman (2001)	Paquete de R: biomod2 (https://cran.r-project.org/web/packages/biomod2/index.html/)	Thuiller et al. (2020)
		Paquete de R: randomForest (https://cran.r-project.org/web/packages/randomForest/)	Liaw & Wiener (2002)
		Paquete de R: dismo (https://CRAN.R-project.org/package=dismo)	Hijmans et al. (2017)
		mMWeb (https://sourceforge.net/p/mmweb/code/2/tree/trunk/)	Qiao et al. (2012)
SVM. Máquinas de Vectores de Soporte (Support Vector Machine).	Vapnik (1995); Guo et al. (2005)	openModeller 1.5.0 y openModeller Desktop 1.1.0 (http://openmodeller.sourceforge.net/)	Muñoz et al. (2011)
		mMWeb (https://sourceforge.net/p/mmweb/code/2/tree/trunk/)	Qiao et al. (2012)
		Paquete de R: kernlab (https://cran.r-project.org/web/packages/kernlab/index.html)	Karatzoglou et al. (2004)
		Paquete de R: e1071 (https://CRAN.R-project.org/package=e1071)	Meyer et al. (2020)
		ModEco (http://www.3decology.org/modeco/)	Guo & Liu (2010)

LITERATURA CITADA

- Beaugrand, G., S. Lenoir, F. Ibañez & C. Manté. 2011. A new model to assess the probability of occurrence of a species, based on presence-only data. *Marine Ecology Progress Series* 424:175-190.
- Blonder, B. & D.J. Harris. 2019. Hypervolume: High dimensional geometry and set operations using Kernel Density Estimation, Support Vector Machines, and Convex Hulls, Version 2.0.12 <http://CRAN.R-project.org/package=hypervolume> [Consultado en Febrero 2021].
- Blonder, B., C. Lamanna, C. Violle & B.J. Enquist. 2014. The n-dimensional hypervolume. *Global Ecology and Biogeography* 23:595-609.
- Booth, T.H., H.A. Nix, J.R. Busby & M.F. Hutchinson. 2014. BIOCLIM: the first species distribution modelling package, its early applications and relevance to most current MAXENT studies. *Diversity and Distributions* 20:1-9.
- Breiman, L. 2001. Random Forests. *Machine Learning* 45:5-32.
- Breiman, L., J.H. Friedman, R.A. Olshen & C.J. Stone. 1984. Classification and regression trees. Wadsworth International Group, Belmont, California, USA.
- Calenge, C. 2006. The package "adehabitat" for the R software: A tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecological Modelling* 197:516-519.
- Carpenter, G., A.N. Gillison & J. Winter. 1993. Domain: a flexible modeling procedure for mapping potential distributions of animals and plants. *Biodiversity and Conservation* 2:667-680.
- Clark, J.D., J.E. Dunn & K.G. Smith. 1993. A multivariate model of female black bear habitat use for a geographic information system. *Journal of Wildlife Management* 57:519-526.
- De'ath, G. & K.E. Fabricius. 2000. Classification and Regression Trees: a powerful yet simple technique for ecological data analyses. *Ecology* 81:3178-3192.
- Drake, J.M. 2014. Ensemble algorithms for ecological niche modeling from presence-background and presence-only data. *Ecosphere* 5:76.
- Etherington, T.R. 2019. Mahalanobis distances and ecological niche modelling: correcting a chi-squared probability error. *PeerJ* 7: e6678.
- Ferrier, S., G. Manion, J. Elith & K. Richardson. 2007. Using generalized dissimilarity modelling to analyse and predict patterns of beta diversity in regional biodiversity assessment. *Diversity and Distributions* 13:252-264.
- Fitzpatrick, M.C., K. Mokany, G. Manion, M. Lisk, S. Ferrier & D. Nieto-Lugilde. 2021. gdm: Generalized Dissimilarity Modeling, Version 1.4.2.1 <https://CRAN.R-project.org/package=gdm> [Consultado en Febrero 2021].
- Friedman, J.H. 1991. Multivariate adaptive regression splines. *The Annals of Statistics* 19:1-67.
- Friedman, J.H., T. Hastie & R. Tibshirani. 2000. Additive logistic regression: a statistical view of boosting. *The Annals of Statistics* 28:337-407.
- Guisan, A., T.C. Edwards & T. Hastie. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling* 157:89-100.
- Guo, Q., M. Kelly & C.H. Graham. 2005. Support vector machines for predicting distribution of Sudden Oak Death in California. *Ecological Modelling* 182:75-90.
- Guo, Y. & Y. Liu. 2010. ModEco: an integrated software package for ecological niche modeling. *Ecography* 33:637-642.
- Hastie, T.J. & R.J. Tibshirani. 1990. Generalized Additive Models. Chapman and Hall, London, UK.
- Hastie, T.J. & R. Tibshirani. 2020. Original R port by Friedrich Leisch, Kurt Hornik and Brian D. Ripley. Balasubramanian Narasimhan has contributed to the upgrading of the code mda: Mixture and Flexible Discriminant Analysis, Version 0.5-2. <https://CRAN.R-project.org/package=mda> [Consultado en Noviembre 2020].
- Hastie, T.J., R. Tibshirani & A. Buja. 1994. Flexible discriminant analysis by optimal scoring. *Journal of the American Statistical Association* 89:1255-1270.
- Hijmans, R.J., L. Guarino, M. Cruz & E. Rojas. 2001. Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 1. DIVA-GIS. *Plant Genetic Resources Newsletter* 127:15-19.

- Hijmans, R.J., S. Phillips, J. Leathwick & J. Elith. 2020. dismo: Species Distribution Modeling, Version 1.3-3. <https://CRAN.R-project.org/package=dismo> [Consultado en Febrero 2021].
- Hirzel, A. 2004. BioMapper 3 User's manual. University of Bern. Lausanne.
- Hirzel, A.H., J. Hausser, D. Chessel & N. Perrin. 2002. Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data?. *Ecology* 83:2027-2036.
- Insightful Corporation. 2007. S-PLUS 8 for Windows User's Guide. Seattle, Washington, USA.
- Jean-Olivier, I. 2020. nppen: Non-Parametric Probabilistic Ecological Niche. R package version 0.2.0. <https://github.com/jiho/nppen> [Consultado en Octubre 2020].
- Jones, P.G., L. Guarino & A. Jarvis. 2002. Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 2. FloraMap. *Plant Genetic Resources Newsletter* 130:1-6.
- Karatzoglou, A., A. Smola, K. Hornik & A. Zeileis. 2004. kernlab - An S4 Package for Kernel Methods in R. *Journal of Statistical Software* 11:1-20.
- Kaschner, K., R. Watson, A.W. Trites. & D. Pauly. 2006. Mapping world-wide distributions of marine mammal species using a relative environmental suitability (RES) model. *Marine Ecology Progress Series* 316:285-310.
- Kaschner, K., K. Kesner-Reyes, C. Garilao, J. Segschneider, J. Rius-Barile, T. Rees & R. Froese. 2019. AquaMaps: Predicted range maps for aquatic species, Version 10/2019. www.aquamaps.org [Consultado en Octubre 2020].
- Leitão, P., M. Schwieder & C. Senf. 2017. sgdm: An R Package for Performing Sparse Generalized Dissimilarity Modelling with Tools for gdm. *International Journal of Geo-Information* 6:1-12.
- Leitão, P.J., M. Schwieder, S. Suess, I. Catry, E.J. Milton, F. Moreira, P.E. Osborne, M.J. Pinto, S. van der Linden & P. Hostert. 2015. Mapping beta diversity from space: Sparse Generalised Dissimilarity Modelling (SGDM) for analysing high-dimensional data. *Methods in Ecology and Evolution* 6:764-771.
- Liaw, A. & M. Wiener. 2002. Classification and Regression by randomForest. *R News* 2:18-22.
- Meyer, D., E. Dimitriadou, K. Hornik, A. Weingessel & F. Leisch. 2020. e1071: Misc Functions of the Department of Statistics, Probability Theory Group (Formerly: E1071), TU Wien, Version 1.7-4. <https://CRAN.R-project.org/package=e1071> [Consultado en Noviembre 2020].
- Muñoz, M.E., R. de Giovanni, M. de Siqueira, T. Sutton, P. Brewer, R. Pereira, D.A. Canhos & V. Canhos. 2011. openModeller: a generic approach to species' potential distribution modelling. *Geoinformatica* 15:111-135.
- Naimi, B. & M.B. Araujo. 2016. sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography* 39:368-375.
- Nally, R.N. & C.J. Walsh. 2004. Hierarchical partitioning public-domain software. *Biodiversity and Conservation* 13:659-660.
- Nelder, J.A. & R.W. Wedderburn. 1972. Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A* 135:370-384.
- Nix, H.A. 1986. A biogeographic analysis of Australian elapid snakes. Pp. 4-15. En R. Longmore (Ed.), *Australian Flora and Fauna Series Number 7: Atlas of elapid snakes of Australia*. Australian Government Publishing Service, Canberra, Australia.
- Pearson, R.G., T.P. Dawson, P.M. Berry & P.A. Harrison. 2002. SPECIES: A Spatial Evaluation of Climate Impact on the Envelope of Species. *Ecological Modelling* 154:289-300.
- Phillips, S.J., R.P. Anderson & R.E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190:231-259.
- Phillips, S.J., M. Dudík & R.E. Schapire. 2017a. Maxent software for modeling species niches and distributions, Version 3.4.1. http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/ [Consultado en Octubre 2020].
- Phillips, S.J., R.P. Anderson, M. Dudík, R.E. Schapire & M.E. Blair. 2017b. Opening the black box: an open-source release of Maxent. *Ecography* 40:887-893.
- Qiao, H., C. Lin, L. Ji & Z. Jiang. 2012. mMWeb - An online platform for employing multiple ecological niche modeling algorithms. *PLoS ONE* 7:e43327.

- Qiao, H., C. Lin, Z. Jiang & L. Ji. 2015. Marble Algorithm: a solution to estimating ecological niches from presence-only records. *Scientific Reports* 5:14232.
- Ridgeway, G. 2020. gbm: Generalized Boosted Regression Models. Version 2.1.8. <http://CRAN.R-project.org/package=gbm> [Consultado en Febrero 2021].
- Robertson, M.P., N. Caithness y M.H. Villet. 2001. A PCA-based modelling technique for predicting environmental suitability for organisms from presence records. *Diversity and Distributions* 7: 15-27.
- Scachetti-Pereira, R. 2003. Desktop GARP User's Manual version 1.1.6. University of Kansas Biodiversity Research Center. Publicado por el autor. Lawrence, USA.
- Silverman, B.W. 1986. Density estimation for statistics and data analysis. Chapman and Hall, London, UK.
- Stockwell, D.R.B. 1999. Genetic Algorithms II. Pp. 123-124. En A.H. Fielding (Ed.), *Machine Learning Methods for Ecological Applications*. Springer Science & Business Media, Nueva York, USA.
- Stockwell, D.R.B. 2006. Improving ecological niche models by data mining large environmental datasets for surrogate models. *Ecological Modelling* 192:188-196.
- Stockwell, D.R.B. 2015. WhyWhere2.0: An R package for modeling species distributions on big environmental data. *Artificial Intelligence* 2:1-13.
- Stockwell, D.R.B. & D. Peters. 1999. The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information Science* 13:143-158.
- Thuiller, W., D. Georges, R. Engler & F. Breiner. 2020. biomod2: Ensemble Platform for Species Distribution Modeling. R package, Version 3.4.6. <https://CRAN.R-project.org/package=biomod2> [Consultado en Octubre de 2020].
- Vapnik, V.N. 1995. *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer, New York, USA.
- Venables, W.N. & B.D. Ripley. 2002. *Modern Applied Statistics with S*, 4th Edition. Springer, New York, USA.
- Walker, P.A. & K.D. Cocks. 1991. HABITAT: a procedure for modelling a disjoint environmental envelope for a plant or animal species. *Global Ecology and Biogeography Letters* 1:108-118.
- Wood, S.N. 2017. *Generalized Additive Models: an introduction with R* (2nd edition). CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Xu, T. & M. Hutchinson. 2011. ANUCLIM version 6.1 user guide. The Australian National University, Fenner School of Environment and Society, Canberra, Australia.
- Zupan, J. 1994. Introduction to Artificial Neural Network (ANN) methods: what they are and how to use them. *Acta Chimica Slovenica* 41:327-352.



SEGREGACIÓN DE HÁBITAT DE INDIVIDUOS ADULTOS Y JUVENILES DEL GARROBO *CTENOSAURA SIMILIS* EN EL PARQUE NACIONAL SANTA ROSA, GUANACASTE, COSTA RICA

HABITAT SEGREGATION OF ADULTS AND JUVENILES INDIVIDUALS FROM THE GARROBO *CTENOSAURA SIMILIS* IN SANTA ROSA NATIONAL PARK, GUANACASTE, COSTA RICA

HODALI ALMONTE ESPINOSA¹, EDNA DE LA LLATA¹ & JOSÉ MANUEL MORA^{2*}

¹Instituto Internacional en Conservación y Manejo de Vida Silvestre, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica

²Unidad de Ciencias Básicas, Sede Atenas y Carrera de Gestión Ecoturística, Sede Central, Universidad Técnica Nacional, Costa Rica.

*Correspondence: josemora07@gmail.com

Received: 2021-02-06. Accepted: 2021-03-20.

Abstract.— We analyzed the distribution of the Black Ctenosaur *Ctenosaura similis* in three habitat types in Santa Rosa National Park, Costa Rica: open area, forest and administrative area (suburban). We registered 101 individuals, 32.7% were females, 19.8% males and 47.5% of undetermined sex. We registered 58 adults and 43 juvenile individuals. The number of adults and juvenile individuals was different ($X^2 = 8.21$, $df = 2$, $p = 0.02$). Likewise, the distribution of individuals by age and canopy opening was different ($X^2 = 20.97$, $df = 4$, $p = < 0.001$). In contrast, the number of individuals by age and type of substrate was the same ($X^2 = 3.12$, $df = 3$, $p = 0.37$). We conclude that individuals of *C. similis* are segregated by age and habitat types. This segregation could be determined by the availability of food resources and habitat characteristics.

Keywords.— Dry forest, distribution, habitat, Iguanidae, thermoregulation.

Resumen.— Analizamos la distribución del garrobo *Ctenosaura similis* en tres tipos de hábitat del Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica: área abierta, área boscosa y área administrativa (suburbana). Registramos 101 individuos de los que un 32.7% eran hembras, 19.8% machos y 47.5% de sexo indeterminado. Registramos 58 individuos adultos y 43 individuos juveniles. El número de individuos adultos fue diferente al número de individuos juveniles ($X^2=8.21$, $df=2$, $p=0.02$). Igualmente, la distribución de individuos por edad y apertura del dosel fue diferente ($X^2=20.97$, $df=4$, $p= < 0.001$). En contraste, la cantidad de individuos por edad y tipo de sustrato fue igual ($X^2=3.12$, $df=3$, $p=0.37$), tanto los individuos juveniles como los adultos se encontraron mayoritariamente en el suelo. Concluimos que los garrobos se segregan por edad y tipos de hábitat. Es posible que esta segregación esté determinada por la disponibilidad de recursos alimentarios y características del hábitat.

Palabras clave.— Bosque seco, distribución, hábitat, Iguanidae, termorregulación.

INTRODUCCIÓN

La segregación sexual está muy extendida en el reino animal (Wearmouth & Sims, 2008). Los machos y las hembras viven separados durante la mayor parte del ciclo anual (Main et al., 1996; Ruckstuhl & Neuhaus, 2002). Esta segregación sexual puede ocurrir en diferentes niveles y, por lo tanto, se puede

subdividir en segregación espacial, social o de hábitat (Alonso et al., 2016). La segregación sexual entre vertebrados es un fenómeno común, generalmente se asume que está asociado con el dimorfismo sexual del tamaño corporal y se explica por las diferencias en el uso del hábitat o el comportamiento social (Alves et al., 2013). Como resultado los machos, las hembras y los individuos juveniles difieren en el uso de su ambiente

físico (Main & Coblenz, 1990; Conradt, 1998; Vidal et al., 2002; Wearmouth & Sims, 2008). Entre los factores que influyen en la segregación de los individuos por sexo y edad se han evaluado el riesgo de depredación, la alta densidad de individuos, la disponibilidad de recursos, la calidad de los hábitats y cambios en el comportamiento (Conradt, 1998; Vidal et al., 2002).

En el caso de los reptiles, el uso de hábitat se ve influenciado por las características de este como la estructura y la temperatura, así como por el riesgo de depredación e interacciones territoriales intraespecíficas (Hertz et al., 1994; Kearney, 2002; Langkilde & Shine, 2004). Además, es importante considerar el mecanismo de termorregulación utilizado por cada especie (Vidal et al., 2002). La temperatura es de importancia fundamental para la vida de los reptiles ya que gobierna la mayoría de los parámetros del desempeño total de los individuos, así como su adecuación (Sagonas et al., 2013). Otro factor a tomar en cuenta es la posibilidad de ser depredado por un conspecífico (Polis & Mayers, 1985; Gardner & Jasper, 2012).

El canibalismo es una de las principales causas de segregación por edad ya que tanto individuos adultos como adultos jóvenes pueden alimentarse de individuos juveniles (Ortiz, 1980). Entre las especies de reptiles en las que se ha observado canibalismo se encuentra el garrobo o iguana negra (*Ctenosaura similis*), una especie de iguana (Reptilia: Iguanidae) endémica de Mesoamérica (Mora, 2010; Mora et al., 2015). Esta especie se alimenta de una gran variedad de recursos como: frutas, hojas, invertebrados y vertebrados pequeños como aves, mamíferos, serpientes y otros (Mora, 2010). Asimismo, se ha reportado la depredación de individuos juveniles por adultos en condiciones

particulares como hacinamiento y sequía prolongada, quizá relacionada a escases de alimento (Mora, 1991; Mora et al., 2015).

Este trabajo tiene como propósito determinar cómo se distribuye el garrobo en tres tipos de hábitats en el Parque Nacional Santa Rosa (PNSR) en el bosque seco de Costa Rica. Identificamos cuáles características del hábitat favorecen la presencia y abundancia de garrobos adultos y juveniles por tipo de hábitat. Así, comparamos el número de garrobos por sexo, edad y tipo de hábitat. El propósito fue determinar si existe algún tipo de segregación de los garrobos por edad o sexo en el PNSR. Además, con este estudio buscamos contribuir al entendimiento de los patrones de distribución del garrobo en época no reproductiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El Parque Nacional Santa Rosa (PNSR), conocido también como Sector Santa Rosa (10°45'-11°00' N, 85°30'-85°45' W), es parte del Área de Conservación Guanacaste (ACG) y se ubica a 30 km al norte de Liberia, la capital de la provincia de Guanacaste, Costa Rica (McCabe & Fedigan, 2007). El ecosistema dominante en el PNSR según el Sistema de Zonas de Vida de Holdridge (1967) es el Bosque Seco Tropical, con ausencia de lluvias de diciembre a abril y una precipitación media anual de 1,623.7 mm (Calvo-Alvarado et al., 2018). La temperatura media anual fue de 26.7 °C con un ámbito de 25.6 a 28.5 °C (Calvo-Alvarado et al., 2018). El PNSR tiene una superficie de 10,800 ha (McCabe & Fedigan, 2007).

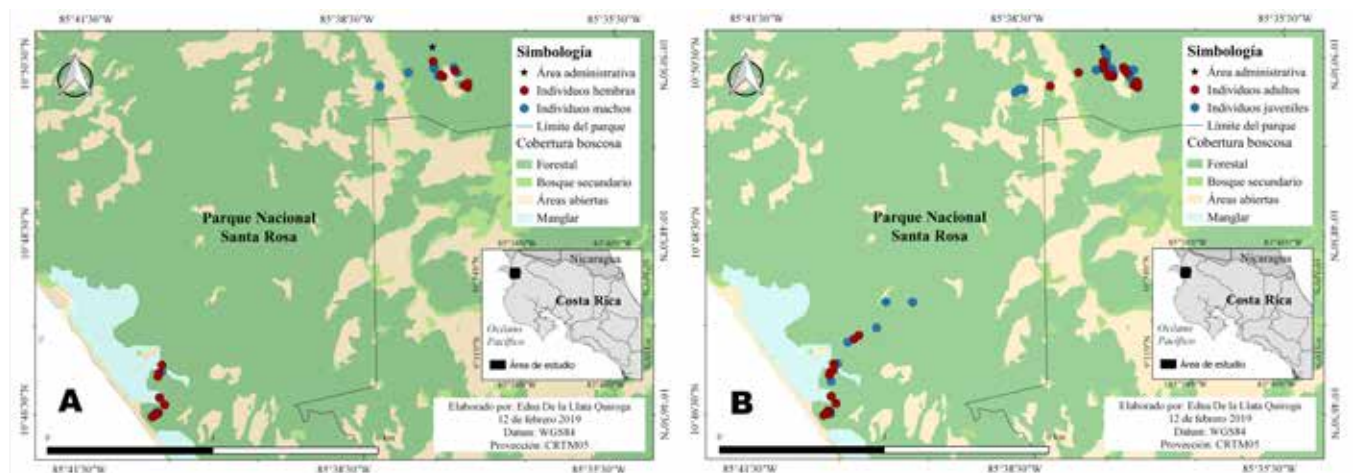


Figure 1. A) Distribution by sex and B) distribution by age (adult and juvenile individuals) of *Ctenosaura similis*, Santa Rosa National Park, Costa Rica.

Figura 1. A) Distribución por sexo y B) distribución por edad (individuos adultos y juveniles) de *Ctenosaura similis*, Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica.

Métodos de muestreo

Realizamos este estudio del 17 al 20 de agosto de 2018 en el PNSR. Establecimos tres transectos en tres tipos de hábitat dentro del parque: área boscosa, área abierta y área administrativa o suburbana. Para fines de este estudio utilizamos el término áreas boscosas para referirnos a senderos que atraviesan áreas de bosques y caminos cubiertos por vegetación arbórea (ej., sendero Indio Desnudo, área de manglar y parte del camino a playa Naranjo). Con área abierta hacemos referencia a caminos desprovistos de vegetación arbórea y con penetración directa de la radiación solar (p. ej. parte del camino hacia playa Naranjo, camino hacia la estación biológica Maritza). Finalmente, el área administrativa se refiere a áreas suburbanas, con infraestructura y con constante presencia humana (p. ej. área administrativa del parque, laboratorios, dormitorios y otra infraestructura).

Buscamos a los garrobo y registramos los datos desde las 0800 h hasta las 1700 h cada día, aunque los garrobo pueden estar activos desde las 0700 hasta las 1800 h (Mora, 1986). En cada tipo de hábitat recorrimos un transecto de 4 km, excepto en el área administrativa en el cual solo recorrimos 2 km debido a su menor extensión. En cada transecto realizamos caminatas lentas y buscamos garrobo mediante el método de encuentro por inspección visual (Crump & Scott, 1994). Este método consiste en buscar detenidamente los posibles lugares donde se encuentren los individuos: rocas, troncos secos, árboles y otros (Lips et al., 2001). Cada vez que observamos un garrobo georeferenciamos su ubicación y registramos su sexo (macho o hembra) y edad (adulto o juvenil). Para fines de esta investigación consideramos como individuos juveniles a ejemplares desde recién nacidos hasta

individuos de 1 año y 3 meses aproximadamente (nacimientos del año anterior), basados en su tamaño y coloración (Mora, 2010). En cada punto registramos la apertura del dosel (porcentaje de claros en el área), profundidad del mantillo (cm) y sustrato utilizado por cada individuo. Medimos la apertura del dosel con un densiómetro cóncavo tipo B con cuatro lecturas por punto, orientadas hacia cada punto cardinal. El mantillo lo medimos con una regla graduada en cm y georreferenciamos la ubicación de cada individuo con un GPS.

Análisis de datos

Para el análisis de datos dividimos el dosel en cinco categorías de acuerdo al porcentaje de apertura de este: 0-20%, 21-40%, 41-60%, 61-80% y 81-100%. También, dividimos el mantillo en tres categorías de acuerdo a su profundidad: 0-0.9cm, 1-1.9cm y de 2-3cm. Evaluamos la distribución de los garrobo adultos y juveniles en los hábitats estudiados por medio de una prueba de Chi-cuadrado. De la misma manera analizamos la apertura del dosel, la profundidad de mantillo y el uso de sustrato por los garrobo. Para estos análisis utilizamos las funciones básicas del software R versión 3.5. R Core Team (2017).

RESULTADOS

Observamos 101 garrobo de los que el 32.7% eran hembras, 19.8% machos y 47.5% de sexo indeterminado. Registramos 58 individuos adultos y 43 juveniles. Encontramos 63 individuos en el área administrativa, 35 en el área boscosa y tres en el área abierta. Encontramos que los machos y las hembras se distribuyeron equitativamente por tipo de hábitat ($X^2=0.28$, $df=1$, $p=0.59$). Registramos una mayor abundancia de garrobo en el área administrativa (38), una menor cantidad en área

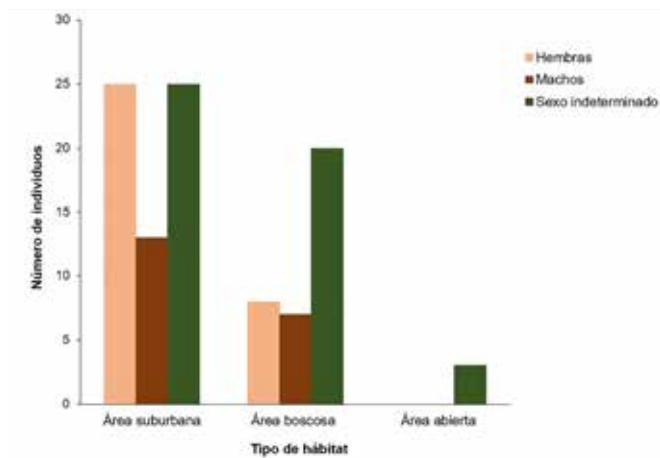


Figure 2. Distribution of males and females of *Ctenosaura similis* by habitat type at Santa Rosa National Park, Costa Rica

Figura 2. Distribución de machos y hembras de *Ctenosaura similis* por tipo de hábitat en el Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica.

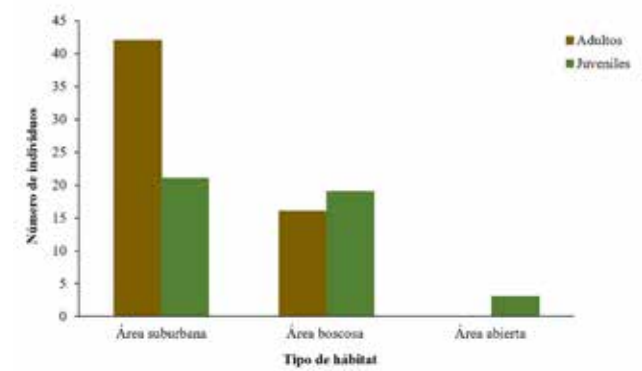


Figure 3. Distribution of adult and juvenile individuals of *Ctenosaura similis* by habitat type in Santa Rosa National Park, Costa Rica.

Figura 3. Distribución de individuos adultos y juveniles de *Ctenosaura similis* por tipo de hábitat en el Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica.

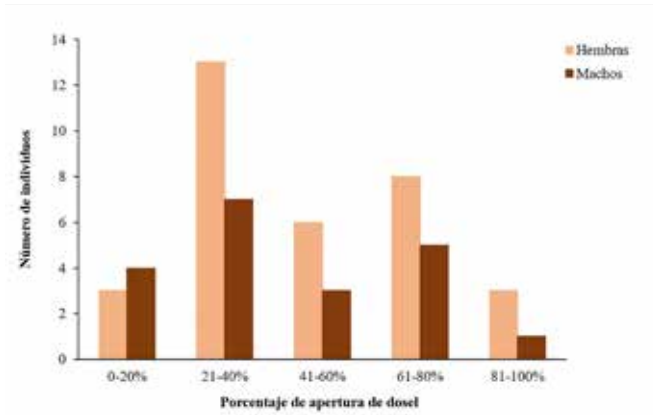


Figure 4. Distribution of males and females of *Ctenosaura similis* in different categories (percentages) of canopy opening in Santa Rosa National Park, Costa Rica.

Figura 4. Distribución de individuos machos y hembras de *Ctenosaura similis* en diferentes categorías (porcentajes) de apertura de dosel en el Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica.

boscosa (15) y solo tres individuos, de sexo indeterminado, en el área abierta (Figs. 1 y 2). El número de individuos por edad fue diferente según el tipo de hábitat ($X^2=8.21$, $df=2$, $p=0.01$). En el área administrativa registramos más individuos adultos (42), mientras que en el área abierta y boscosa observamos más individuos juveniles (22) (Figs. 1 y 3).

La cantidad de individuos por sexo en relación a la apertura de dosel fue la misma ($X^2=1.54$, $df=4$, $p=0.82$; Fig. 4). Sin embargo, sí encontramos diferencia entre la edad y apertura de dosel ($X^2=20.98$, $df=4$, $p<0.001$). El número de garrobos juveniles fue mayor en el intervalo de 41-60%, mientras que los individuos adultos fueron más abundantes en el ámbito de 21-40% (Fig. 5).

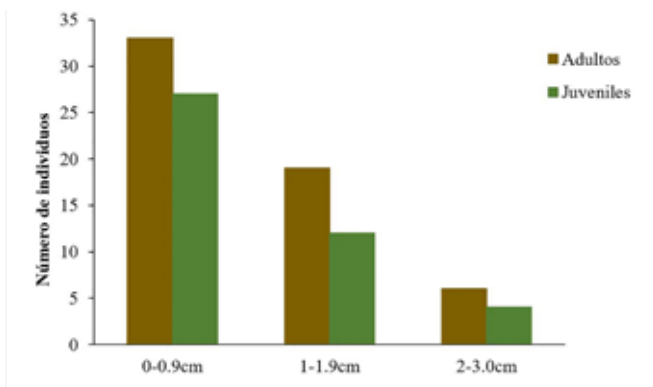


Figure 6. Distribution of *Ctenosaura similis* by age and litter depth in Santa Rosa National Park, Costa Rica.

Figura 6. Distribución de *Ctenosaura similis* por edad y profundidad de mantillo en el Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica.

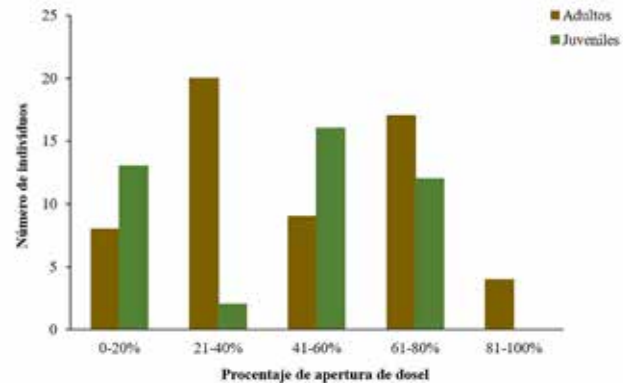


Figure 5. Distribution of adult and juvenile individuals of *Ctenosaura similis*, in different categories (percentages) of canopy opening in Santa Rosa National Park, Costa Rica.

Figura 5. Distribución de individuos adultos y juveniles de *Ctenosaura similis*, en diferentes categorías (porcentaje) de apertura de dosel en el Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica.

La cantidad de individuos por edad en relación a la profundidad del mantillo fue igual ($X^2=0.36$, $df=2$, $p=0.83$; Fig. 6). Tampoco encontramos diferencias entre la cantidad de individuos por sexo y la profundidad de mantillo ($X^2=0.22$, $df=2$, $p=0.89$; Fig. 7). Sin embargo, el número de individuos en conjunto fue mayor en las áreas sin mantillo (0-0.9 cm) que en las áreas con mantillo ($X^2=37.44$, $df=2$, $p<0.001$; Figs. 6,7). Registramos un 74% de los individuos en el suelo, 10% en árboles, 13% en troncos y 3% en rocas. La cantidad de individuos por sexo según el tipo de sustrato fue igual ($X^2=1.06$, $df=2$, $p=0.59$; Fig. 8), así como la cantidad de individuos por edad y tipo de sustrato ($X^2=3.12$, $df=3$, $p=0.37$). Tanto los individuos juveniles como los adultos se encontraron mayoritariamente en el suelo (Fig. 9).

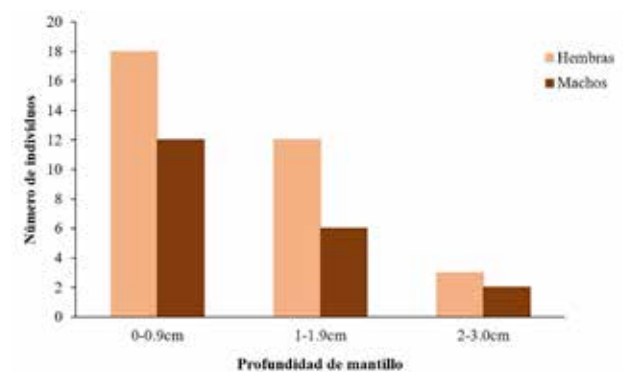


Figure 7. Distribution of *Ctenosaura similis* by sex and litter depth in Santa Rosa National Park, Costa Rica.

Figura 7. Distribución de *Ctenosaura similis* por sexo y profundidad de mantillo en el Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica.

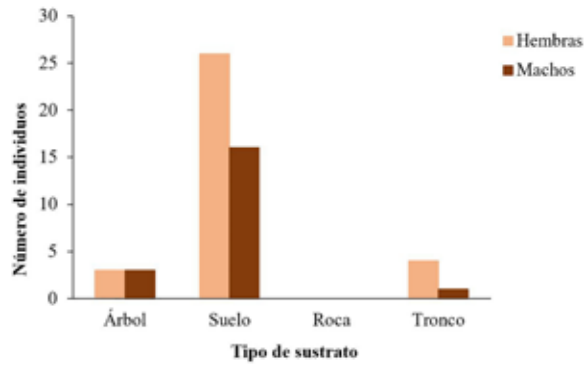


Figure 8. Quantity of individuals of *Ctenosaura similis* by sex and substrate type at Santa Rosa National Park, Costa Rica.

Figura 8. Número de individuos de *Ctenosaura similis* por sexo y tipo de sustrato en el Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica.

DISCUSIÓN

Encontramos que en el PNSR el garrobo es más abundante en áreas suburbanas y espacios abiertos. Esto puede deberse a que en las áreas administrativas del parque hay disponibilidad de refugios adicionales, radiación solar directa e incluso más alimento. Los garrobos adultos utilizan las estructuras de origen humano como alcantarillas, techos y otros, además de las naturales como árboles y rocas, como refugio (Mora, 1989). Congruente con este resultado, el número de garrobos adultos fue mayor en las áreas suburbanas y abiertas donde hay varios edificios y árboles grandes. Además, las actividades antrópicas propias de esa área, incluida la visitación turística, dejan restos de comida que los garrobos aprovechan, o atraen a otros organismos como insectos que también son consumidos por los

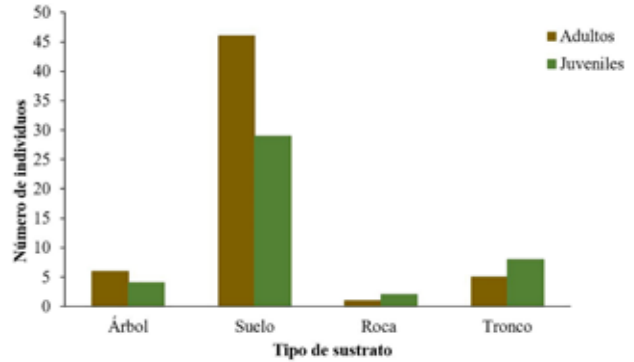


Figure 9. Quantity of individuals of *Ctenosaura similis* by age and substrate type at the Santa Rosa National Park.

Figura 9. Número de individuos de *Ctenosaura similis* por edad y tipo de sustrato en el Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica.

garrobos (Mora, 2010). Una situación parecida se ha observado en áreas similares como el Parque Nacional Palo Verde (PNPV) también en el noroeste de Costa Rica (Mora, 1989) y el campus de la Escuela Agrícola Panamericana en Honduras (Terán, 2006). Estos dos últimos autores indicaron que los garrobos adultos prefieren áreas abiertas y suburbanas. Aunque en el PNSR es prohibido alimentar a los animales silvestres, algunos residentes y visitantes dejan restos de comida que los animales toman, incluso desde los basureros. El cambio de dieta de varias especies de iguanas en zonas suburbanas suele tener implicaciones a largo plazo en su fisiología digestiva y puede causarles problemas como hiperdensidad fecal (Stein et al., 2014).

En las áreas suburbanas del PNSR, así como en las áreas abiertas, también encontramos garrobos juveniles, aunque a



Figure 10. A) Juvenile individual approximately two months old and B) young individual approximately 1.5 years old of Black iguana *Ctenosaura similis*. Photos: José M. Mora.

Figura 10. A) Individuo juvenil de aproximadamente dos meses de edad y B) individuo juvenil de aproximadamente 1.5 años de edad de garrobo *Ctenosaura similis*. Fotos: José M. Mora.

estos los observamos en sitios cubiertos por herbáceas. Esto fue notorio sobre todo para los individuos recién nacidos, y solo en tres ocasiones registramos individuos de un poco más de un año que compartían el hábitat con hembras adultas en playa Naranjo y en el área de acampar del PNSR. Estos datos sugieren que *C. similis* se segrega por edad, al igual que lo determinado en el PNPV donde los garrobos adultos y los individuos juveniles se encontraron en hábitats diferentes (Mora, 1989).

La segregación de garrobos juveniles hacia las áreas boscosas, abiertas y bordes del área suburbana, podría tener varias explicaciones. Los individuos recién nacidos por lo general son verdes, color de la vegetación, mientras que los individuos mayores, incluidos los de un año en adelante, son de color parduzco o grisáceo (Fig. 10). Otra posibilidad es que la segregación observada esté relacionada a la depredación, incluido el comportamiento de canibalismo que presenta esta especie (Mora et al., 2015). Este comportamiento también se da en otras especies de reptiles como las iguanas *Ctenosaura pectinata*, *Chalarodon madagascariensis* y en los lagartos *Microlophus atacamensis*, *Tropidurus montanus*, *Tropidurus hygoni* y *Tropidurus torquatus* en donde los individuos juveniles se segregan por tipo de hábitat para evitar ser depredados por individuos adultos (Kiefer & Sazima, 2002; Dias & Rocha, 2004; Gardner & Jasper, 2012; Sánchez-Hernández et al., 2017). Además, el registro de un mayor número de garrobos adultos que de individuos juveniles también podría estar relacionado con este tipo de comportamiento (Mora, 1989). No obstante, hay que tomar en cuenta que los avistamientos de los individuos pudieran estar sesgados ya que los garrobos juveniles son más difíciles de encontrar debido a su color y comportamiento que los hace muy crípticos (Fig. 10).

Los garrobos podrían segregarse también debido a sus hábitos alimentarios, dado que mientras los adultos son omnívoros oportunistas los juveniles son insectívoros (Mora, 2010). En las áreas abiertas crecen herbáceas que atraen muchos insectos lo que atrae también a los garrobos juveniles (Mora, 2010). Estas herbáceas altas como *Baltimora recta* no soportarían el peso de un adulto, pero es común observar garrobos juveniles en sus coronas (Crawford & Werman, 1981; Mora, 2010). Esta separación trófica reduciría el riesgo de los garrobos juveniles de ser depredados por un conspecífico. Así, el consumo diferenciado de algunos recursos alimentarios propiciaría la segregación de los garrobos adultos y juveniles en diferentes hábitats o microhábitats para alimentarse.

La profundidad del mantillo fue similar por sexo y edad ya que los garrobos se distribuyeron en áreas con profundidad de

mantillo entre 0-0.9 cm (Figs. 6, 7). Esto podría explicarse por dos factores: primero los garrobos fueron más abundantes en el área administrativa donde predomina el suelo desnudo o sin mantillo y segundo, los garrobos evitan las áreas con alta densidad de mantillo debido a que las temperaturas son más bajas y por tanto limitarían su proceso de termorregulación. De igual manera, el uso de sustratos fue similar por sexo, pero encontramos diferencias por edad, las que podrían deberse a que mientras los adultos utilizan los sustratos más expuestos a la radiación solar, los individuos juveniles utilizan una mayor variedad de sustratos para equilibrar sus necesidades de termorregulación. En el hábitat abierto del área suburbana del PNSR los sustratos de suelo y árboles, al estar más expuestos a la radiación solar, permiten una mayor absorción de calor (Huey & Slatkin, 1976; Bowker et al., 2010; Harlow et al., 2010).

Además, en el área suburbana existen estructuras de concreto, así como tramos de caminos pavimentados, que tienen una alta capacidad calorífica y absorben más calor que otros sustratos (De La Ossa et al., 2015). En el PNSR es común ver a los garrobos en las carreteras o en estructuras de cemento en las mañanas posiblemente para calentarse más rápido. Estos aspectos, además de explicar la similitud entre los sexos, también explica las diferencias en el uso de sustrato por edad. Por ejemplo, encontramos que los garrobos adultos se distribuyeron en las áreas abiertas expuestas a la radiación solar directa, en cambio los individuos juveniles están segregados en áreas boscosas y abiertas cubiertas por herbáceas, con menor cantidad de radiación solar directa.

La segregación de reptiles por edad también se relaciona con sus necesidades de termorregulación (Vidal et al., 2002). La efectividad de la termorregulación depende en gran medida del tamaño corporal (Huey & Stevenson 1979). Los individuos adultos se distribuirán en áreas con mayor apertura de dosel o en perchas totalmente expuestas a la radiación solar. Mientras tanto, los garrobos juveniles se encontrarán en áreas boscosas con menor intensidad de radiación solar, debido a que al ser de menor tamaño tendrían mayores problemas para su termorregulación (Bowker et al., 2010; Harlow et al., 2010; Sagonas et al., 2013). Esto explicaría las diferencias encontradas en la distribución de individuos adultos y juveniles por categoría de apertura del dosel en el PNSR (Fig. 5). Los tamaños pequeños favorecen tasas de calentamiento y enfriamiento más rápidas (Bowker et al., 2010) a través de la conducción (Crawford et al., 1983). Los reptiles grandes controlan mejor la tasa de intercambio de calor por flujo de sangre y exhiben inercia termal soportada por tasas de calentamiento y enfriamiento más lentas (Dzialowski & O'Connor, 1999). Las especies más grandes, y por

ende los individuos más grandes, pueden así termorregular con mayor precisión (Angilleta et al., 2002), pero son más sensibles al sobrecalentamiento (Sagonas et al., 2013).

CONCLUSIONES

Nuestros resultados indican que los garrobos se segregan por edad y tipos de hábitat. Los adultos se encuentran principalmente en las áreas abiertas donde hay una mayor variedad de recursos alimentarios y reciben una mayor cantidad de radiación solar, elemento esencial en su termorregulación. Los individuos juveniles se desplazan hacia las áreas boscosas y abiertas con herbáceas debido a varios posibles factores. Estos factores podrían ser evitar la depredación por sus conspecíficos, más facilidad de termorregulación, una mayor disponibilidad de insectos o alguna otra razón desconocida. La segregación de garrobos juveniles y adultos por tipos de hábitat estaría determinada por la disponibilidad de recursos alimentarios y características del hábitat, como la apertura del dosel ya que los individuos adultos y juveniles pertenecen a diferentes gremios tróficos y tienen diferentes requerimientos de termorregulación.

A la vez la termorregulación se ve afectada por la intensidad de depredación (Huey, 1982). Bajo depredación fuerte, los garrobos juveniles tendrían que ser cautelosos para evitar a sus enemigos, incluidos sus conspecíficos, por lo que deben aminorar el tiempo para asolearse (Sagonas et al., 2013). Un comportamiento que podría conducir a diferencias de hábitat entre los garrobos de diferentes edades es su uso potencialmente diferencial de refugio para evitar el sol al mediodía (Alonso et al., 2016). Sin embargo, la segregación por aspectos termales en ambientes cálidos es una hipótesis muy poco explorada (Alonso et al., 2016) por lo que queda abierta a investigación y el garrobo podría ser una especie modelo para este tipo de estudio.

Agradecimientos.— Esta investigación se llevó a cabo durante el curso de campo Ecología de Vertebrados del ICOMVIS, UNA, dictado por J.M. Mora y E. Carrillo. Agradecemos al ICOMVIS su apoyo académico y financiero. JMM agradece a Emilce Rivera directora de la Carrera de Gestión Ecoturística de la Sede Central y a Daniel Tobías de la Unidad de Ciencias Básicas de la Sede de Atenas, ambas de la Universidad Técnica Nacional, por el tiempo y apoyo brindado para realizar este trabajo.

LITERATURA CITADA

Alonso, J.C., I. Salgado & C. Palacín. 2016. Thermal tolerance may cause sexual segregation in sexually dimorphic species living in hot environments. *Behavioral Ecology* 27:717-724.

Alves, J., A. Alves da Silva, A.M.V.M. Soares & C. Fonseca. 2013. Sexual segregation in red deer: is social behaviour more important than habitat preferences? *Animal Behaviour* 85:501e509.

Angilletta, M.J., P.H. Niewiarowski & C.A. Navas. 2002. The evolution of thermal physiology in ectotherms. *Journal of Thermal Biology* 27:249-268.

Bowker, R.G., C.L. Wright & G.E. Bowker. 2010. Patterns of body temperatures: Is lizard thermoregulation chaotic? *Journal of Thermal Biology* 35:1-5.

Calvo-Alvarado, J.C., C.D. Jiménez-Rodríguez, A.J. Calvo-Obando, M.M. do Espírito-Santo & T. Gonçalves-Silva. 2018. Interception of Rainfall in Successional Tropical Dry Forests in Brazil and Costa Rica. *Geosciences* 8:486.

Conradt, L. 1998. Measuring the degree of sexual segregation in group-living animal. *Journal of Animal Ecology* 67:217-226.

Crawford, D.C. & D.S. Werman. 1981. Partitioning of food resources between juvenile and adult *Ctenosaura similis*. Pp. 213-215. In G.W. Otis, M.L. Higgins & B. Williamson (Eds.). *Tropical Biology: An Ecological Approach*. Organization for Tropical Studies, San José, Costa Rica.

Crump, M.L. & N.J. Scott Jr. 1994. Visual encounter surveys. Pp. 84-92. In W.R. Heyer, M.A. Donnelly, R.W. McDiarmid, L.A. C. Hayek & M.S. Foster (Eds.). *Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods for Amphibians*. Smithsonian Institution Press, Washington, USA.

De La Ossa, V.J., O. De La Ossa-Nadjar & E. Medina-Bohórquez. 2015. Atropellamiento de fauna silvestre. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 7:109-116.

Dias, E.J. & C.F. Rocha. 2004. Thermal ecology, activity patterns, and microhabitat use by two sympatric whiptail lizards (*Cnemidophorus abietensis* and *Cnemidophorus ocellifer*) from northeastern Brazil. *Journal of herpetology* 38:586-588.

Dzialowski, E.M. & M.P. O'Connor. 1999. Utility of blood flow to the appendages in physiological control of heat exchange in reptiles. *Journal of Thermal Biology* 24:21-32.

Gardner C. & L. Jasper. 2012. Cannibalism in *Chalarodon madagascariensis* (Squamata: Iguanidae) from southwest Madagascar. *Herpetology Notes* 5:127-128.

- Harlow, H.J., D. Purwandana, T.S. Jessop & J.A. Phillips. 2010. Body temperature and thermoregulation of Komodo dragons in the field. *Journal of Thermal Biology* 35:338-347.
- Hertz, P.E., L.J. Fleishman & C. Armsby. 1994. The influence and temperature on microhabitat selection in two *Anolis* lizards. *Functional Ecology* 8:720-729.
- Holdridge, L.R. 1967. Life zone ecology. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica.
- Huey, R.B. 1982. Temperature, physiology, and the ecology of reptiles. Pp. 25-91. In C. Gans & F.H. Pough (Eds.). *Biology of the Reptilia Physiology* (C), vol. 12. Academic Press, New York, USA.
- Huey, R. & M. Slatkin. 1976. Costs and benefits of lizard thermoregulation. *Quarterly Review of Biology* 51:363-384.
- Huey, R.B. & R.D. Stevenson. 1979. Integrating thermal physiology and ecology of ectotherms: a discussion of approaches. *American Zoologist* 19:357-366.
- Kearney, M. 2002. Hot rocks and much-too-hot rocks: seasonal patterns of retreat-site selection by a nocturnal ectotherm. *Journal of Thermal Biology* 27:205-218.
- Kiefer, M.C. & I. Sazima. 2002. Diet of juvenile tegu lizard *Tupinambis merianae* (Teiidae) in southeastern Brazil. *Amphibia-Reptilia* 23:105-108.
- Langkilde, T. & R. Shine. 2004. Competing for crevices: interspecific conflict influences retreat-site selection in montane lizards. *Oecologia* 140:684-691.
- Lips, K., J. Reaser, B. Young & Z. Ibañez. 2001. Amphibian monitoring in Latin America: a protocol manual. SSAR Herpetological Circular no. 30:1-115.
- Main, M.B. & B.E. Coblentz. 1990. Sexual segregation among ungulates: a critique. *Wildlife Society Bulletin* 18:204-210.
- Main, M.B., F.B. Weckerly & V.C. Bleich. 1996. Sexual segregation in ungulates, new directions for future research. *Journal of Mammalogy* 77:449-461.
- McCabe, G.M. & L.M. Fedigan. 2007. Effects of reproductive status on energy intake, ingestion rates, and dietary composition of female *Cebus capucinus* at Santa Rosa, Costa Rica. *International Journal of Primatology* 28:837-851.
- Mora, J.M. 1986. Actividad nocturna de *Ctenosaura similis* (Reptilia, Iguanidae) en Palo Verde, Costa Rica. *Vida Silvestre Neotropical* 1:81-82.
- Mora, J.M. 1989. Eco-behavioral aspects of two communally nesting iguanas and the structure of their shared nesting burrows. *Herpetologica* 45:293-298.
- Mora, J.M. 1991. Cannibalism in the ctenosaur lizard, *Ctenosaura similis*, in Costa Rica. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society* 26:197-198.
- Mora, J.M. 2010. Natural history of the black spiny-tailed iguana (*Ctenosaura similis*) at Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica, with comments on the conservation of the genus *Ctenosaura*. Pp. 716-733. En: L.D. Wilson, J.H. Townsend & J.D. Johnson (Eds.). *Conservation of Mesoamerican Amphibians and Reptiles*, Eagle Mountain Publishing, LC, Eagle Mountain, Utah, USA.
- Mora, J.M., F.H. Rodrigues, L.I. López & L.D. Alfaro. 2015. Reptilia: Squamata (lizards). *Mesoamerican Herpetology* 2:107-109.
- Ortiz, J. 1980. Estudios comparativos de algunas poblaciones de *Tropidurus* de la costa chilena. *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso (Chile)* 13:267-279.
- Polis, G. & C. Myers. 1985. A Survey of Intraspecific Predation among Reptiles and Amphibians. *Journal of Herpetology* 19:99-107.
- R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. versión 3.5. <https://www.R-project.org> R Foundation for statistical computing, Vienna, Australia. [Consultado en agosto 2018].
- Ruckstuhl, K.E. & P. Neuhaus. 2002. Sexual segregation in ungulates, a comparative test of three hypotheses. *Biological Review* 77:77-96.
- Sagonas, K., S. Meiri, E.D. Valakos & P. Pafilis. 2013. The effect of body size on the thermoregulation of lizards on hot, dry Mediterranean islands. *Journal of Thermal Biology* 38:92-97.
- Sánchez-Hernández, A.S., V.C. Rosas-Espinoza & F.A. Rodríguez Zaragoza. 2017. Canibalismo en *Ctenosaura pectinata* (Squamata: Iguanidae) en el Parque Nacional Isla Isabel, Nayarit, México. *Acta Zoológica Mexicana* 33:386-388.

- Stein, G.G., M.E. Baier, P.C. Broniczak & R.R. Policarpo. 2014. Ingestão de corpo estranho em iguana verde (*Iguana iguana*). Acta Scientiae Veterinariae 42:1-5.
- Terán, M.A. 2006. Densidad Poblacional del garrobo (*Ctenosaura similis*) en cuatro hábitats del Zamorano y su percepción por la comunidad local. Tesis de licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras.
- Vidal, M., J. Ortiz & A. Labra. 2002. Sexual and age differences in ecological variables of the lizard *Microlophus atacamensis* (Tropiduridae) from northern Chile. Revista Chilena de Historia Natural 75:283-292.
- Wearmouth, V.J. & W. Sims. 2008. Sexual segregation in marine fish, reptiles, birds and mammals: behaviour patterns mechanisms and conservation implications. Pp. 107-170. In W. Sims (Ed.), Advances in Marine Biology, Academic Press, USA.



BIOTIC ASSESSMENT INDEX BASED ON ANURAN SPECIES TO EVALUATE THE BIOTIC INTEGRITY OF THE FLOODED SAVANNAS ECOSYSTEM FROM PAUTO RIVER BASIN (CASANARE-COLOMBIA)

ÍNDICE DE EVALUACIÓN BIÓTICA BASADO EN ESPECIES DE ANUROS PARA EVALUAR LA INTEGRIDAD BIÓTICA DEL ECOSISTEMA SABANAS INUNDADAS DE LA CUENCA DEL RÍO PAUTO (CASANARE-COLOMBIA)

TEDDY ANGARITA-SIERRA ^{1*}

¹YOLUKA ONG. Fundación de Investigación en Biodiversidad y Conservación Carrera 68b No. 23-88. Bogotá. Colombia.

*Correspondence: tgangaritas@unal.edu.co

Received: 2020-04-16. Accepted: 2021-03-02.

Resumen.— Actualmente, enormes impactos ambientales como la pérdida de diversidad, la fragmentación del paisaje y la contaminación han modificado la dinámica de los ecosistemas de sabanas inundadas de la cuenca del río Pauto en Colombia. Por tal razón, desarrollé una herramienta práctica para la evaluación del estado de integridad biológica de estos ecosistemas basado en la riqueza y composición de los anuros que allí habitan (IBIA). Esta herramienta busca dar soporte a los tomadores de decisiones y gestores regionales en el monitoreo y manejo de los servicios ecosistémicos de la región. El IBIA mostró ser sensible a la transformación de la vegetación nativa. El índice proporcionó una clara correlación entre la integridad biológica y la calidad ambiental de las áreas en las que se realizó su validación. No obstante, el IBIA requiere implementación y monitoreo a mediano largo plazo dentro de diferentes mosaicos paisajísticos presentes en las sabanas inundadas de la región de la Orinoquia para su calibración.

Palabras clave.— Closed aquatic systems, crocodile conservation, encounter rate, open aquatic systems.

Abstract.— Currently, huge environmental impacts such as diversity loss, landscape fragmentation and pollution have been modifying the dynamics of the flooded savannas ecosystems from Pauto River basin in Colombia. Hereby, I have developed a practical management tool to support decision makers and stakeholders in assessing the state of biotic integrity within an ecosystem based on anuran species composition that inhabit this ecosystem (IBIA). The IBIA shown to be sensitive to native vegetation transformation which is correlated with anuran composition. Also, the index provided a clear indication regarding the biological integrity as well as environmental quality of the areas in which the IBIA was utilized. However, the IBIA requires medium- and long-term application and monitoring within different landscape mosaics present in the flooded savannas from the Orinoquia region for its calibration.

Keywords.— Herpetofauna, environmental conservation and management, biodiversity, Orinoquian ecoregion.

INTRODUCCIÓN

Karr and Dudley (1981) defined biological (or biotic) integrity as:

"...The ability to support and maintain a balanced, integrated, adaptive community of organisms having a species composition, diversity, and functional organization comparable to that of natural habitat of the region..."

Since then numerous assessments of biological integrity and methodologies have been developed trying to integrate ecological insights about the structure and dynamics of populations, communities and ecosystems (Karr 1981, Karr et al., 1987). Among the vertebrates, anurans have been considered excellent indicators of the biotic integrity and quality of habitats due to their high sensitivity to environmental changes (Welsh & Olliver, 1998; Alford & Richards, 1999; Shulze et al., 2009). In fact, their particular natural history traits such as biphasic life

cycle, permeable skin, metamorphosis, and their particular microhabitat preferences allow them focal organisms to study ecosystems' disturbances (Welsh & Olliver, 1998). Due to these biological traits as well as easy field detection, in the past three decades, anurans have been employed in the development of indices of biotic integrity (IBI) or indices of ecosystem health (IEH) at temperate latitudes (Welsh and Olliver, 1998; Shulze et al., 2009; Simons et al., 2000; Micacchion, 2004; Boyer & Grue, 1995; Wilcox et al., 2002; Hopkins, 2007). On the contrary, at Tropical South America ecosystems few species have been studied enough to gather the knowledge necessary to build an Index of Biotic Integrity that can measure the effects of human activities over these ecosystems (França & Araújo, 2006). The dearth of studies in these areas is further complicated by limitations in accessing research sites and a lack of financial support to conduct these.

The Colombia economic development is based on transformation of the ecosystems to use their natural resources into value chains (Viloria de la Hoz, 2009; Ávila-Montealegre, 2010; Abril-Salcedo et al., 2015). As a result, huge environmental impacts such as diversity loss, landscape fragmentation and pollution modify the dynamics of ecosystems. These impacts create risks in the environmental sustainability of goods and services provided to society (Rangel-Ch, 1997; Benavides, 2010; Angarita-Sierra, 2014). Particularly, the flooded savannas ecosystem from Pauto River at the Casanare department have been of impacted by major exploitation of oil reserves, the rapid economic growth of the region, and the radical transformations of the natural landscapes (IGAC 1999, Angarita-Sierra, 2014). As a result, a growing body of research has been developed representing enormous advances in the knowledge of the amphibian fauna of the region (Caro et al., 2006, Acosta-Galvis & Bejarano, 2011, Rangel-Ch, 2014).

Currently, the amphibian diversity of the flooded savannas is represented by 26 species of anurans and one caecilian *Siphonops annulatus* (Mikan, 1820), but the knowledge of their distributions is still limited (Pedroza-Banda et al., 2014, Rangel-Ch, 2014). According with Angarita-Sierra (2014) and Blanco-Torres et al. (2017) about 75% to 96.8% of the anuran assemblage biomass during dry and wet season is allocated at natural savannas and forests, as well as that the anuran assemblage inhabiting savannas are unlike from those that harbors the pastures areas or transformed grasslands for extensive livestock farming (Appendix, Table 8). In fact, during the dry season, the forests are keystone for the establishment and maintenance of anuran assemblages because they work as shelter that safeguards 96.8% of the anuran assemblage biomass (Cortés-Duque & Sánchez-

Palomino, 2011, Angarita-Sierra, 2014; Blanco-Torres et al., 2017). Additionally, 70% of the species prefer the natural savanna and forest over any transformed vegetation (Angarita-Sierra, 2014). These studies have provided the necessary elements for researchers, decision makers, and stakeholders to build an index of biotic integrity that monitors and assesses human disturbances to the ecosystem.

The aim of this work is to present a prototype of a Biotic Assessment Index based on anuran species (IBIA) to evaluate the biotic integrity of an ecosystem in the flooded savannas of the Pauto River (Casanare-Colombia). The index is like those developed by Shulze et al. (2009) and Waringer et al. (2005), and is based on the inventory of herpetofauna of Angarita-Sierra (2014) and Pedroza-Banda et al. (2014). This index seeks to provide a practical management tool to help decision makers and stakeholders in assessing biotic integrity and conservation state of the anuran assemblages that inhabit the flooded savannas of the Pauto River basin.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The flooded savannas in the Pauto River are located at the municipalities of Trinidad and San Luis de Palenque. Sampling areas were nested into three stations. Station 1 clustered four sampling areas: school Emaus 5.144567°N, 70.972944°W; Altamira farm 5.1860472°N, 70.981639°W; La Bretaña farm 5.144778°N, 70.95775°W; and Matamoriche farm 5.152111°N, 70.968167°W. Station 2 clustered two sampling areas Candalayes farm 5.013111°N, 71.0015°W and Matevaquero 5.338389°N, 71.335861°W. Station 3 clustered three sampling areas: La Palmita farm 5.003167°N, 71.014167°W; El Mirador farm 5.002527°N, 71.013°W; and San Miguel farm 5.013833°N, 71.01067°W (Fig. 1).

I defined the following landscape units on each station. **HYPERSEASONAL SAVANNAS:** Savannas which exhibit remarkable differences within dry and wet seasons (savannas of alluvial valley overflow, typical flooded savannas, and eolic savannas), that present soils with long periods of hydric stress and unimodal rainfall pattern (Sarmiento 1984). **FOREST:** Forests that are located at semi-terrestrial transitional areas regularly influenced by continental waters that extend from the banks of the waterways to the inland limits (gallery forest and isolate woodland forest = "Matas de Monte"). **RICE CROPS:** Savannas and forests transformed into rice fields of *Oryza sativa* established on moderately flooded lowland "bajos". **PASTURE:** Savannas and forests transformed into grass fields of *Urochloa humidicola* and *Urochloa decumbens* established on non-flooded low ridge

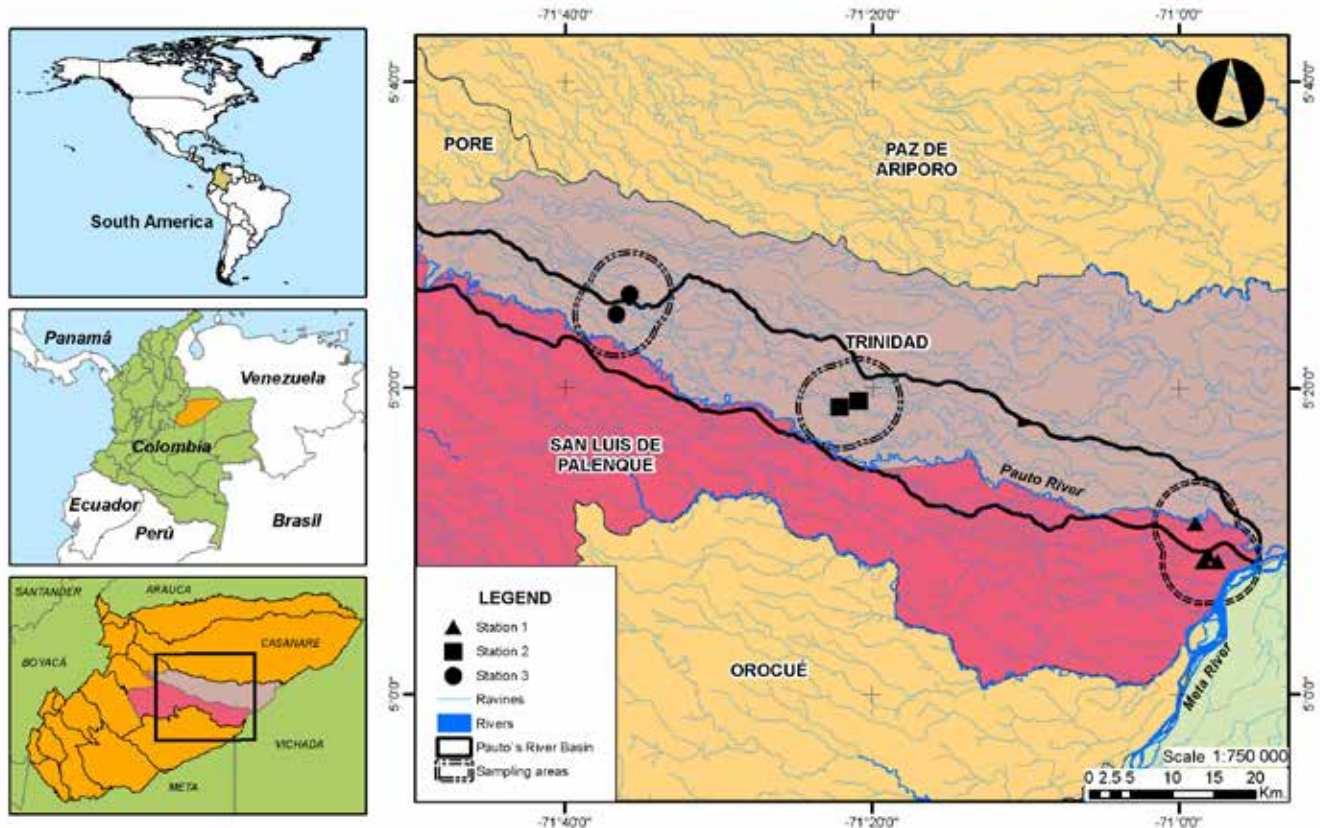


Figura 1. Área de estudio. Los municipios de Trinidad y San Luis de Palenque están divididos por el río Pauto: Lado superior Trinidad y Lado inferior San Luis de Palenque. Triángulos: áreas de muestreo de la estación 1. Cuadrados: áreas de muestreo de la estación 2. Puntos: áreas de muestreo de la estación 3.

Figure 1. Study area. The municipalities of Trinidad and San Luis de Palenque are split by Pauto River: Upper side Trinidad and lower side San Luis de Palenque. Triangles: Sampling areas from station 1. Squares: Sampling areas from station 2. Dots: Sampling areas from station 3.

or “banquetas.” To obtain relative abundance of the landscape units as well as to apply the index of cover dominance (O’Neill et al., 1988), 10 spot5 satellite images (2008) from Pauto River basin were analyzed by following the procedures described by Chuvieco (2007) and also by applying the guidelines of CORINE Land Cover methodology adapted to Colombia (IDEAM 2010, Melo & Camacho, 2005; Table 1). All the land cover units obtained based on spot5 satellite images were verified during fieldwork made on 2011 (see Angarita-Sierra, 2014, Cabrera-Amaya et al., 2020).

Sampling protocol proposed for measuring the IBIA in flooded savanna ecosystems.

First, sampling stations along the Pauto River basin must have a minimum buffer of five kilometers radius that attempts to include as many types of landscape units as possible having an analytical scale of 1:25.000 (Table 1). Second, the suggested method is a stratified sampling (McDiarmind, 1994, Angulo et al., 2006) of the habitats. Therefore, microhabitat surveys represent

a habitat’s sub-sample unit. Each sampling must be done as a visual encounter survey (Crump & Scott, 1994) with a sampling effort of at least eight hours/two researchers/day during a period of 12-15 days.

Sampling should always be done during the wet season, especially during the first weeks because it helps to detect species with explosive reproduction strategies such as *Elachistocleis "ovalis"* (Schneider 1799) (*nomen dubium*) and *Trachycephalus typhonius* (Linnaeus, 1758). Third, during the fieldwork, at least two or three specimens should be collected for accurate taxonomic identification following Cochran and Goin (1970), Dixon and Staton (1976), Lynch (2006a, 2006b), Acosta-Galvis and Alfaro-Bejarano (2011), and Angarita-Sierra et al. (2013). Sampling tadpoles at daytime is essential to maximize species detection (McDiarmind & Altig, 1999). Thus, stratified samplings in ponds, temporary and/or standing bodies of water at the sampling stations are necessary. Following the procedures described by Hutchins et al. (1980) each pond, temporary and/

Tabla 1. Unidades de paisaje y vegetación asociada**Table 1.** Landscape unit and associated vegetation.

Landscape Unit	Vegetation cover
Crops	Annual crops Crop mosaic
Pastures	Clean pastures Wooded pastures Weedy pastures
Hyperseasonal Savanna	Non-flooded wooded savannas Flooded savanna Dense shrubland Wetlands or "esteros" Burned areas Sandy areas
Forest	High secondary forest Low secondary forest Fragmented secondary forest Gallery forest Isolated forest "Matas de monte"

or standing bodies must be divided into 9 imaginary quadrants or strata of equal size. One cast should be made at random in each quadrant (stratified random sampling) for each cast series in the pond. Bottom trawls or hand-held fishnets must be used to catch tadpoles. All collected tadpoles are fixed in 10% formalin for subsequent taxonomic identification in the laboratory. Taxonomic determination of tadpoles might should followed McDiarmid and Altig (1999), Lynch (2006a) and Lynch and Suarez-Mayorga (2011). Researchers recorded the location in the landscape unit, habitat, and micro-habitat in which the adult or larvae specimen was found. Finally, pitfall traps are recommended to maximize capture success and increase the likelihood of species detection in habitats with fallen leaves. This technique should be used inside the gallery forest and/or on the ecotone between the forest and savanna 24 hours per day during 15 days, using at least 10 pitfall sets.

Development of the Index of Biotic Integrity Based on Anurans (IBIA).

The main assumption that supports the IBIA is the closed ecological relationship between the anuran assemblage and the natural vegetation of the flooded savannas (Angarita-Sierra, 2014, Pedroza-Banda et al., 2014, Blanco-Torres et al., 2017). The IBIA has been developed in a similar way as Shulze et al. (2009) and Waringer et al. (2005) as follows.

First, the Ecological Coefficients (EC) were defined following criteria: 1) the availability and habitat use of anuran assemblages; 2) the effect on anuran assemblage of seasonal and flood pulse; and 3) the effect on anuran assemblage after the transformation of savannas and forests into rice fields or pastures. Second, the variables that comprise the ECs for each species were chosen. According with the dataset reported by Angarita-Sierra (2014) and Pedroza-Banda et al. (2014) (Appendix), the habitat preference and relative abundances of each species were included. Likewise, I considered the life history traits of each species as a key factor that defines sensitivity of each species toward environmental changes in the ECs estimation. Consequently, life history traits such as body size reproductive strategies, eggs and larvae development, and oviposition site were variables employed in the ECs estimation because they have been shown to be sensitive to natural vegetation loss (by sowing crops) or landscape transformation (Sinsch et al., 2007; Becker et al., 2009). Life history traits as well as habitat use of the 26 anuran species that inhabit flooded savannas have been summarized in Table 2, and these are based on the biological features reported by Bokerman (1967), Dixon and Staton (1976), Hoogmoed and Gorzula (1979), Hoogmoed (1979), Cochran and Goin (1970), Cei (1980), McDiarmid and Altig (1999), Nieto (1999), Savage (2002), Lynch and Vargas (2000), Duellman (2005), Lynch (2006a), Lynch (2006b), Prado and d'Heursel (2006), Wells (2007), Romero-Martínez et al., (2008), Cáceres-Andrade and Urbina-Cardona (2009), Tárrano (2010), Acosta-Galvis and Alfaro-Bejarano (2011), Lynch and Suarez-Mayorga (2011), Angarita-Sierra (2014), Pedroza-Banda et al. (2014).

Finally, the ecological coefficient values were estimated. I employed a mixed-approach in which the EC value come from the average obtained from EC experts-opinion and the assessment done in this study (Rowe & Wright, 2001). Herpetologists from the main universities of Colombia and herpetologist consultants with a long history of fieldwork in the Orinoquian region were asked to participate in a survey. On the survey, each researcher scored each species from 1 to 10, with 10 being the best affinity to the ecological criteria:

1) SENSITIVITY TO DISTURBANCE DUE TO FOREST LOSS, SHRUB, OR TREE COVER LOSS: Those species that used forest cover or high stubble as shelter during the dry season, or those species that live the most part of their life cycle in forest, shrubs, or high stubble which provide vertical stratification necessary for mating and vocalization.

2) RARENESS: Those species of difficult detection, explosive reproduction, cryptic habits, and/or a high degree of

Table 2. Resumen del uso del hábitat y los rasgos de la historia de vida de las 26 especies de anuros que habitan las sabanas inundadas del río Pauto: Cuerpos de agua permanentes (CP), Estanques temporales (CT), Suelo desnudo (HB), Vegetación sumergida (OV), Pastizales (P), sobre el suelo (S), estanques de superficie (SCH), perchada sobre dosel (DB), casas (DOM), tierras bajas moderadamente inundadas = "Bajo" (BA), Humedal = "Estero" (ES), las categorías de tamaño corporal siguen a Savage (2002), donde el tamaño <20 mm es muy pequeño, los tamaños entre 20-30 mm son pequeños, los tamaños entre 30-60 mm son medianos, los tamaños entre 60-200 mm son grandes y tamaño > 200 mm es gigante.

Table 2. Matrix that summarizes the habitat use and life history traits of the 26 anuran species inhabiting the flooded savannas of the Pauto River: Permanent water bodies (CP), Temporary ponds (CT), Soil voids (HB), Hide Vegetation (OV), Pastures (P), on vegetation (SV), above-ground (S), surface ponds (SCH), hanger-on at canopy (DB), Domestic buildings (DOM), moderately flooded lowland = "Bajo" (BA), Wetland= "Estero" (ES). Body size categories follow Savage (2002), where sizes < 20mm are very small, sizes between 20-30mm are small, sizes between 30-60mm are medium, sizes between 60-200mm are large, and sizes > 200mm is giant.

Species	Household habitat	Tadpole habitat	Preference vegetation cover (dry season)	Preference vegetation cover (wet season)	Preference micro-habitat (dry season)	Preference micro-habitat (wet season)	Adult size	Reproductive strategy	Calling site	Tadpole size	Oviposition site	Eggs	Tadpole type	Tadpole pigmentation
<i>Dendropsophus mathiaseni</i>	Presence	CT, BA, ES	Savanna	Savanna	Under scrubs and high grass (wetland)	Scrubs and high grass	Small	Continuous	SV, P, CP, P	Small	CT, ES	Small floating bodies	Macro-phage	Feeble (yellow and brown)
<i>Elachistocleis "ovalis" (nomen dubium)</i>	Absent	CT	Forest	Forest	Leaf litter	Leaf litter and under Grass bunch	Small	Explosive	S	Small	CT	Surface sheets	Filter feeder	---
<i>Baona baona</i>	Absent	CT	Forest	Forest	Scrubs	Forest canopy, Scrubs and Shrubbery	Large	Opportunistic	SCH, DB	Large	---	Small bodies	Filter feeder	Faint (cream)
<i>Baona xerophylla</i> (1841)	Presence	CT	Forest	Savanna	Scrubs	Scrubs and Shrubbery	Large	Continuous	SV, DB, CT, P, DOM	Large	CT, DOM, BA	Small bodies	Filter feeder / Benthic	Faint (cream)
<i>Baona lanciformis</i>	Absent	CT, BA	Forest	Forest	Shrubbery	Scrubs and Shrubbery	Large	Opportunistic	SV, DB	Large	CT	Small bodies	Filter feeder	Faint (cream)
<i>Baona pugnax</i>	Presence	CT, BA	---	Forest	---	Scrubs and Shrubbery	Large	Continuous	SV, DB, CT	Large	CT, DOM, BA	Small bodies	Filter feeder / Benthic	Faint (cream)
<i>Leptodactylus colombiensis</i>	Absent	CT, BA	Forest	Forest	Leaf litter	Leaf litter	Medium	Opportunistic	S, CT	Medium	CT, BA	Foam nest	Benthic	Prominent (black back and white belly)
<i>Leptodactylus fragilis</i>	Presence	CT, BH	Forest	Savanna/ rice crops	Leaf litter at edge of the forest	Under Grass bunch and Soil voids	Medium	Continuous	HB	Medium	CT, BH	Foam nest	Benthic	Prominent (black back and white belly)
<i>Leptodactylus fuscus</i>	Presence	CT, BH	Savanna	Savanna	Soil voids	Under Grass bunch and Soil voids	Medium	Continuous	S	Medium	CT, BH	Foam nest	Benthic	Prominent (black back and white belly)

Tabla 2 (cont.). Resumen del uso del hábitat y los rasgos de la historia de vida de las 26 especies de anuros que habitan las sabanas inundadas del río Pauto: Cuerpos de agua permanentes (CP), Estanques temporales (CT), Suelo desnudo (HB), Vegetación sumergida (OV), Pastizales (P), sobre vegetación (SV), sobre el suelo (S), estanques de superficie (SCH), perchada sobre dosel (DB), casas (DOM), tierras bajas moderadamente inundadas = "Bajo" (BA), Humedal = "Estero" (ES), las categorías de tamaño corporal siguen a Savage (2002), donde el tamaño <20 mm es muy pequeño, los tamaños entre 20-30 mm son pequeños, los tamaños entre 30-60 mm son medianos, los tamaños entre 60-200 mm son grandes y tamaño> 200 mm es gigante.

Tabla 2 (cont.). Matrix that summarizes the habitat use and life history traits of the 26 anuran species inhabiting the flooded savannas of the Pauto River: Permanent water bodies (CP), Temporary ponds (CT), Soil voids (HB), Hide Vegetation (OV), Pastures (P), on vegetation (SV), above-ground (S), surface ponds (SCH), hanger-on at canopy (DB), Domestic buildings (DOM), moderately flooded lowland = "Bajo" (BA), Wetland= "Estero" (ES), Body size categories follow Savage (2002), where sizes < 20mm are very small, sizes between 20-30mm are small, sizes between 30-60mm are medium, sizes between 60-200mm are large, and sizes > 200mm are giant.

Species	Household habitat	Tadpole habitat	Preference vegetation cover (dry season)	Preference vegetation cover (wet season)	Preference micro-habitat (dry season)	Preference micro-habitat (wet season)	Adult size	Reproductive strategy	Calling site	Tadpole size	Oviposition site	Eggs	Tadpole type	Tadpole pigmentation
<i>Leptodactylus insularum</i>	Absent	CT, CP	Forest	Forest	Leaf litter at edge of the streams	On stream edges	Large	Opportunistic	S, CP	Medium	CT, CP	Foam nest	Benthic	Prominent (black back and white belly)
<i>Lithodytes lineatus</i>	Absent	CT, CP	Forest	Forest	Leaf litter	Leaf litter	Medium	Opportunistic	S	Medium	CT, CP	Foam nest	Benthic	Prominent (black back and white belly)
<i>Leptodactylus macrosternum</i>	Absent	CP	Savanna	Savanna	Soil voids	Under Grass bunch	Large	Opportunistic	HB	Medium	CP	Foam nest	Benthic	Prominent (black back and white belly)
<i>Osteocephalus taurinus</i>	Absent	CT	Forest	Forest	Forest canopy	Under Grass bunch	Large	Opportunistic	S, DB	Medium	CT	Over hanging egg mass	Macrophage, oophagy	Prominent (black back and white belly)
<i>Lithobates fisheri</i>	Absent	P, CT, CP	Forest	Forest/ rice crops	Soil voids	Under Grass bunch and Soil voids	Small	Continuous	S	Medium	CT, SCH	Foam nest	Benthic	Prominent (black back and white belly)
<i>Phyllomedusa hypochondrialis</i>	Absent	CT, BA	Forest	Savanna	Canopy layer of forests	On grass bunch and Shrubbery	Medium	Opportunistic	SV, DB, CP	Large	SV, DB	Over hanging egg mass	Scraper feeder	Prominent (black back and white belly)
<i>Pseudopaludicola llanera</i>	Absent	CT	Forest	Savanna/ rice crops	Soil voids	Under Grass bunch and Soil voids	very small	Continuous	S	Small	CT	---	---	Prominent (black back and white belly)
<i>Pseudis paradoxa</i>	Absent	CT, CP, DOM, BA	---	Savanna	---	Under scrubs and high grass (wetland)	Large	Continuous	OV, SCH, CT	Giant	CT, OV	Small bodies	Macrophage, nektonic/ platonic	Prominent (black back and white belly)
<i>Rhinella beebei</i>	Presence	CT	Forest	Savanna	Leaf litter at edge of the forest	Backyards on Grass bunch and road edges	Medium	Opportunistic	S, CT	Small	CH, E	Small bodies	Benthic	Prominent (black back and white belly)

Tabla 2 (cont.). Resumen del uso del hábitat y los rasgos de la historia de vida de las 26 especies de anuros que habitan las sabanas inundadas del río Pauto: Cuerpos de agua permanentes (CP), Estanques temporales (CT), Suelo desnudo (HB), Vegetación sumergida (OV), Pastizales (P), sobre vegetación (SV), sobre el suelo (S), estanques de superficie (SCH), perched sobre el suelo (DB), casas (DOM), tierras bajas moderadamente inundadas = "Bajo" (BA), Humedal = "Estero" (ES), las categorías de tamaño corporal siguen a Savage (2002), donde el tamaño <20 mm es muy pequeño, los tamaños entre 20-30 mm son pequeños, los tamaños entre 30-60 mm son medianos, los tamaños entre 60-200 mm son grandes y tamaño > 200 mm es gigante.

Tabla 2 (cont.). Matrix that summarizes the habitat use and life history traits of the 26 anuran species inhabiting the flooded savannas of the Pauto River: Permanent water bodies (CP), Temporary ponds (CT), Soil voids (HB), Hide Vegetation (OV), Pastures (P), on vegetation (SV), above-ground (S), surface ponds (SCH), hanger-on at canopy (DB), Domestic buildings (DOM), moderately flooded lowland = "Bajo" (BA), Wetland= "Estero" (ES), Body size categories follow Savage (2002), where sizes < 20mm are very small, sizes between 20-30mm are small, sizes between 30-60mm are medium, sizes between 60-200mm are large, and sizes > 200mm is giant.

Species	Household habitat	Tadpole habitat	Preference vegetation cover (dry season)	Preference vegetation cover (wet season)	Preference micro-habitat (dry season)	Preference micro-habitat (wet season)	Adult size	Reproductive strategy	Calling site	Tadpole size	Oviposition site	Eggs	Tadpole type	Tadpole pigmentation
<i>Rhinella marina</i>	Presence	CT, BH	---	Savanna	---	Backyards on Grass bunch and road edges	Large	Opportunistic	S, CP, CT	Medium	OV, BA	Small bodies	Benthic	Prominent (black back and white belly)
<i>Scinax blairi</i>	Absent	CT	Savanna	Forest	Under scrubs and high grass	Under Grass bunch	Small	---	SV, DB,	Small	CT	---	---	---
<i>Scinax kennedyi</i>	Absent	CT	---	---	---	---	Medium	---	OV	Small	CT, SCH	Small bodies	---	---
<i>Scinax rostratus</i>	Presence	CT, BA	Forest	Savanna	---	Backyards on Grass bunch and road edges	Medium	Continuous	SV, DOM	Small	CT, SCH	Small bodies	---	---
<i>Scinax ruber</i>	Presence	CT, BA	Forest	Savanna	Leaf litter at edge of the forest	Backyards on Grass bunch and road edges	Medium	Opportunistic	SV, DOM	Small	CT, SCH	Small bodies	Benthic	Feeble (olive green back and white belly)
<i>Scinax wandae</i>	Absent	CT, BA	Forest	Savanna	Leaf litter at edge of the forest	Between the trunks of trees	Small	Opportunistic	OV, SV, DB	Small	CT, SCH	Small bodies	Benthic	---
<i>Scinax x-signatus</i>	Absent	CT	---	Savanna	---	Between the trunks of trees	Medium	Continuous	SV	Small	CT, SCH	Small bodies	Benthic	Feeble (back olive green and white belly)
<i>Trachycephalus typhonius</i>	Absent	CT	Forest	Forest	---	Scrubs and Shrubbery	Large	Explosive	S, SV, DB, CT	Medium	CT	Small bodies	---	Prominent (brown back and white belly)

specialization in habitat use; with low relative abundances and/or few records in major biological collections and literature.

3) TOLERANCE TO DISTURBANCE OR NATURAL VEGETATION

LOSS: Those species that prefer open areas, disturbed habitats such as pastures, crops, road edges, etc. In general, they are species that are present during dry and wet seasons. Ecological coefficient values were calculated as the arithmetic average of the sum obtained from the evaluation of the herpetologists that participated in the survey, the assessment of three ecological criteria done in this study (Table 3), and the assessment of the matrix that summarizes habitat use and life history traits for each of the anuran species (Table 4).

Index of Biotic Integrity Based on Anurans (IBIA).

The Index of Biotic Integrity Based on Anurans (IBIA) describes the relation between the species' richness and their sensitivity to landscape transformation or natural vegetation loss. It is calculated using the following equation:

$$\text{Equation 1. Index (IBIA)} = \left(\frac{\sum_i^n (EC \cdot HV)}{N} \right) \times 100 \text{ Anuran (IBIA).}$$

Where EC is the ecological coefficient (see Table 4), habitat value (HV) which results from equation 2 (which considers the relative abundance of the landscape units in which each species is present), and N is species richness at the sampling area. The index values range from 0% to 100%, in which percentages between 0% to 30% mean low integrity levels, percentages between 31% to 50% mean medium integrity levels, and percentages over 51% mean high levels of integrity. The habitat value (HV) was calculated using the equation:

$$HV = \frac{(1 \cdot H_1 + 2 \cdot H_2 + 3 \cdot H_3 + \dots + j \cdot H_n)}{10}$$

Equation 2. Habitat value, where H_i is the relative abundance of the landscape units in which each species is present; j=1, 2, 3, or 4.

Each habitat was weighted and ranged between 1 (for habitats without vertical stratification) to 4 (for habitats with high vertical stratification). These weights have been allocated to each habitat in order to identify sensitive habitats, in which four (4) represent the most sensitive habitat. Comparisons between index of cover dominance (D) developed by O'Neill et al. (1988) (Equation 3) versus the IBIA were made to test the sensitiveness of the IBIA to landscape transformation.

The index of cover dominance developed by O'Neill, et al. (1988) is calculated using the equation 3, where D is the index of cover dominance; S is number of cover classes; p_i is the ratio of the ith type of cover.

$$D = \frac{\ln(S) + \sum_i p_i \cdot \ln(p_i)}{\ln(S)}$$

Equation 3. Index of cover dominance.

RESULTS

After the application of IBIA on three stations under study, stations 2 and 3 showed a clear difference between wet and dry seasons (Table 5 and 6). While station 2 exhibits low integrity levels during the wet season, station 3 shows low integrity levels during the dry season. However, it must be noted that station 2 suffered a big event of vegetation loss due to the sowing of more than 100 hectares of rice during the time of the study.

In contrast, the assessment of biological integrity for Station

Tabla 3. Ejemplo del cálculo de los Coeficientes Ecológicos (CE). / **Table 3.** Example of the calculation of the Ecological Coefficients (EC).

Species	Survey to Researchers /Consultants						Sensitivity average	Rareness average	Tolerance average
	Researcher No. 1	Researcher No. 2	Researcher No. 3	Researcher No. 4	Anonymous	Current study			
<i>Dendropsophus mathiassoni</i>	2	1	1	1	1.17	1	1.2	-	-
	1	1	3	2	1.61	1	-	1.60	-
	1	1	1	4	1.57	1	-	-	1.60

Tabla 4. Coeficientes Ecológicos (CE). / **Table 4.** Ecological Coefficients (EC).

Species	Sensitiveness average	Rareness average	Tolerance average	Ecological Coefficient (EC)
<i>Dendropsophus mathiassoni</i> (Cochran and Goin, 1970)	1.20	1.60	1.60	1.47
<i>Elachistocleis "ovalis" (nomen dubium)</i> (Schneider, 1999)	3.60	3.40	3.00	3.33
<i>Boana boans</i> (Linnaeus, 1758)	9.00	4.20	9.00	7.40
<i>Boana xerophylla</i> (Duméril & Bibron, 1841)	2.00	1.40	2.20	1.87
<i>Boana lanciformis</i> (Cope, 1871)	7.00	5.80	7.00	6.60
<i>Boana pugnax</i> (Schmidt, 1857)	2.80	6.00	2.20	3.67
<i>Leptodactylus colombiensis</i> (Heyer, 1994)	4.00	3.80	5.00	4.27
<i>Leptodactylus fragilis</i> (Brocchi, 1877)	1.80	1.60	1.60	1.67
<i>Leptodactylus fuscus</i> (Schneider, 1999)	1.80	1.40	1.40	1.53
<i>Leptodactylus insularum</i> (Barbour, 1906)	2.80	3.00	4.20	3.33
<i>Lithodytes lineatus</i> (Schneider, 1999)	8.20	4.20	7.40	6.60
<i>Leptodactylus macrosternum</i> (Miranda-Ribeiro, 1926)	3.40	4.80	4.80	4.33
<i>Osteocephalus taurinus</i> (Steindachner, 1862)	9.20	5.40	8.80	7.80
<i>Lithobates fisheri</i> (Stejneger, 1893)	1.60	2.00	2.60	2.07
<i>Phyllomedusa hypochondrialis</i> (Daudin, 1800)	4.80	3.20	5.60	4.53
<i>Pseudopaludicola llanera</i> (Lynch, 1989)	2.80	3.40	3.00	3.07
<i>Pseudis paradoxa</i> (Linnaeus, 1758)	3.40	3.60	6.60	4.53
<i>Rhinella beebei</i> (Gallardo, 1965)	1.00	1.20	1.00	1.07
<i>Rhinella marina</i> (Linnaeus, 1758)	1.00	3.00	1.00	1.67
<i>Scinax blairi</i> (Fouquette and Pyburn, 1972)	5.60	9.00	7.40	7.33
<i>Scinax kennedyi</i> (Pyburn, 1973)	4.40	5.60	5.80	5.27
<i>Scinax rostratus</i> (Peters, 1863)	2.00	2.40	3.60	2.67
<i>Scinax ruber</i> (Laurenti, 1768)	1.20	1.00	2.40	1.53
<i>Scinax wandae</i> (Pyburn and Fouquette, 1971)	1.40	1.80	2.20	1.80
<i>Scinax x-signatus</i> (Spix, 1824)	1.20	2.40	3.40	2.33
<i>Trachycephalus typhonius</i> (Linnaeus, 1758)	6.60	5.8	7.80	6.73

1 appears to be unaffected by seasonal changes and it showed high integrity levels during both seasons (Table 5). In general, the assessment using the IBIA shows that station 2 has the lowest levels of biological integrity and that stations 1 and 3 have medium levels. This implies that IBIA was sensitive to transformations of natural vegetation, vegetation loss, and landscape fragmentation due to human activity. In this case, human activity consisted mostly of agricultural activities, such

as establishing grassland pastures and rice plantations.

The index of cover dominance (D) reported a value of 0.625 for station 1, which means that the landscape is dominated by one or a few types of vegetation coverage (Fig. 2A). This result is consistent with the score obtained by IBIA (Wet season: 46.43%; Dry season: 45.03%) as well as the greater representation of natural vegetation cover (as dense flooded savanna, woodland,

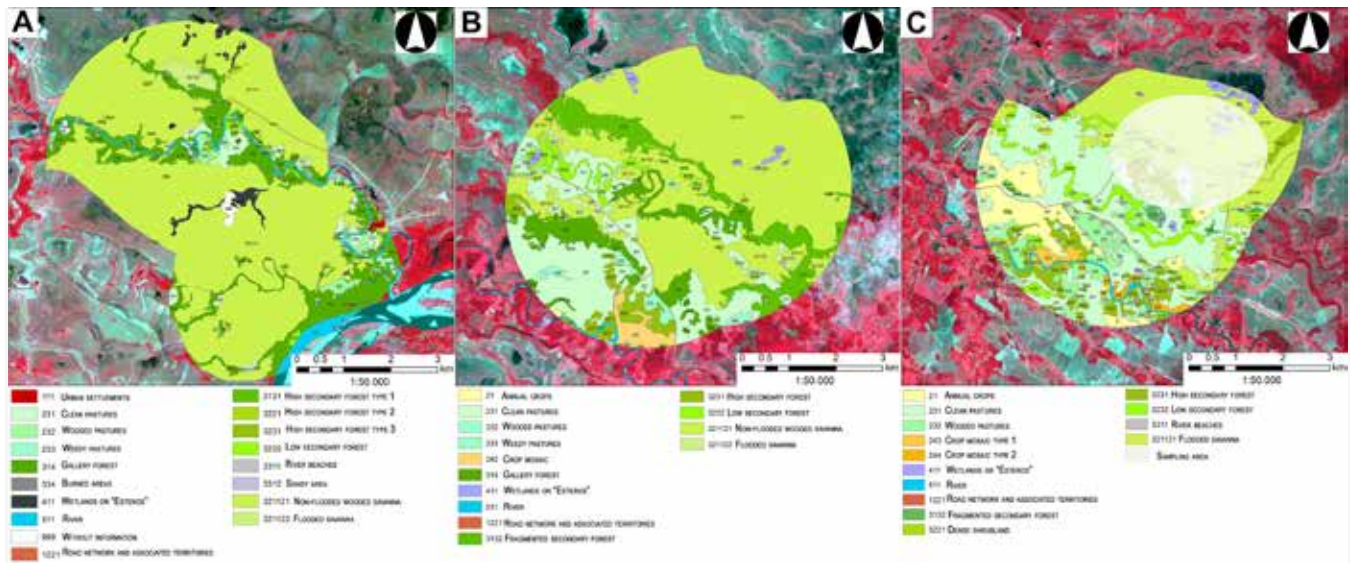


Figura 2. Categorías paisajísticas de las coberturas vegetales. (A) Estación 1: 9 454,7 hectáreas. (B) Estación 2: 9 843,5 hectáreas. Estación 3: 7 637,4 hectáreas. Escala de análisis 1: 25000. coeficientes Ecológicos (CE).

Figure 2. Landscape classes of the vegetation covers. (A) Station 1: 9 454.7 hectares. (B) Station 2: 9 843.5 hectares. Station 3: 7 637.4 hectares. Analytical scale 1:25000.

and gallery forest) versus lesser representation of savannas and forests transformed into pastures.

In contrast, the (D) values reported for station 2 and 3 were 0.447 and 0.424 respectively. These values indicate that the landscape is composed of numerous types of vegetation coverage in which the natural cover has low dominance (Fig. 2B and 2C). Under this scenario, the IBIA score reported at station 2 is consistent (Wet season: 20.48%; Dry season: 47.46%) with natural vegetation loss and landscape fragmentation as well as with the decrease in species richness in the wet season. It also indicates that a greater proportion of tolerant (or very tolerant) species are capable of inhabiting pastures, crops, road edges, or vegetation cover that is fragmented. On the other hand, the IBIA score reported from station 3 is not consistent with the (D) values reported and with the marked transformation of natural cover by human activities.

DISCUSSION

The stability over time of the ecological dynamics of the anuran assemblage from the flooded savannas is being compromised by the accelerated and intense transformation of the natural vegetation into rice crops and pasture for extensive livestock farming (Cáceres-Andrade & Urbina-Cardona 2009; Angarita-Sierra, 2014). As a consequence, the whole ecosystem has been suffering a decrease of its biological integrity which was clearly detected by the IBIA score (20.48%) for station 2. This

phenomenon is derived from the habitat homogeneity and the weak load capacity of the rice crops and pastures to support the diverse anuran assemblages which normally require heterogeneous habitats that must be stratified and permanent over time (Wells, 2007; Peñuela & Fernández, 2010; Peñuela et al., 2011; Zúñiga-Palma & Zúñiga-Vargas, 2012).

In general, anuran assemblages are excellent indicators of the biotic integrity of the flooded savannas. The IBIA scores of the three stations evaluated never reached a high integrity level (> 51%) which is consistent with the vegetation loss and landscape fragmentation reported by the index of cover dominance, as well as huge environmental transformation due human activity over the last decade (Viloria de la Hoz, 2009; Benavides, 2010; Angarita-Sierra, 2014; Pedroza-Banda et al., 2014; Rangel-Ch. 2014). However, station 1 which is located at the mouth of Pauto River, showed the area with the highest level of biological integrity (IBIA score = 49.60%), as well as the highest proportion of natural vegetation covers (D = 0.625) that provide great stratification and habitat availability for anuran assemblages.

This pattern of vegetation disturbance has been observed as the typical result of human colonization that employed rivers as colonization pathways (Stanford et al., 1996; IGAC 1999, Townsend & Riley, 1999; CORPORINOQUÍA, 2013) and it fits with the historical human colonization pattern of the Orinoquian savannas (Viloria de la Hoz, 2009; Benavides, 2010). The colonization began from piedmont to savannas using river basins

Tabla 5. Índice integridad biótica basado en anuros (IBIA) aplicado en la estación 1. / **Table 5.** Index of biotic integrity base on anuran assemblage (IBIA) applied at station 1.

Total area station 1 (ha)	9 454.69		
Landscape Unit	Relative dominance (ha)	weighing	HV
Crops	0	1	0.00
Pastures	0.05	2	0.11
Savannas	0.74	3	2.21
Forest	0.17	4	0.68
WET SEASON			
Species	EC	HV	(EC*HV)
<i>Dendropsophus mathiassoni</i>	1.47	0.29	0.43
<i>Boana xerophylla</i>	1.87	0.23	0.43
<i>Leptodactylus colombiensis</i>	4.27	0.07	0.29
<i>Leptodactylus fragilis</i>	1.67	0.30	0.50
<i>Leptodactylus fuscus</i>	1.53	0.30	0.46
<i>Leptodactylus insularum</i>	3.33	0.07	0.23
<i>Leptodactylus macroternum</i>	4.33	0.22	0.96
<i>Phyllomedusa hypochondrialis</i>	4.53	0.08	0.36
<i>Lithobates fisheri</i>	2.07	0.07	0.14
<i>Pseudis paradoxa</i>	4.53	0.22	1.00
<i>Rhinella beebei</i>	1.07	0.23	0.25
<i>Rhinella marina</i>	1.67	0.23	0.39
<i>Pseudis paradoxa</i>	4.53	0.22	1.00
<i>Scinax rostratus</i>	2.67	0.29	0.77
<i>Scinax ruber</i>	1.53	0.23	0.36
<i>Scinax wandae</i>	1.80	0.23	0.42
<i>Trachycephalus typhonius</i>	6.73	0.07	0.46
Σ (EC*HV)			8.45
Species Richness			17
IBIA			49.70%
DRY SEASON			
Species	EC	HV	(EC*HV)
<i>Dendropsophus mathiassoni</i>	1.47	0.29	0.32
<i>Boana xerophylla</i>	1.87	0.23	0.45
<i>Leptodactylus colombiensis</i>	4.27	0.07	0.29
<i>Leptodactylus fuscus</i>	1.53	0.30	0.48
<i>Leptodactylus macroternum</i>	4.33	0.22	0.71
<i>Lithobates fisheri</i>	2.07	0.07	0.11
<i>Scinax rostratus</i>	2.67	0.29	0.54
<i>Scinax ruber</i>	1.53	0.23	0.29
<i>Scinax wandae</i>	1.80	0.23	0.34
<i>Sinax blairi</i>	7.33	0.17	1.24
Σ (EC*HV)			4.95
Species Richness			11
IBIA			45.03%

Tabla 6. Índice integridad biótica basado en anuros (IBIA) aplicado en la estación 2. / **Table 6.** Index of biotic integrity base on anuran assemblage (IBIA) applied at station 2.

Total area station 1 (ha)		9 454.69	
Landscape Unit	Relative dominance (ha)	weighing	HV
Crops	0.02	1	0.02
Pastures	0.21	2	0.42
Savannas	0.55	3	1.64
Forest	0.22	4	0.88
WET SEASON			
Species	EC	HV	(EC*HV)
<i>Dendropsophus mathiassoni</i>	1.47	0.002	0.003
<i>Boana crepitans</i>	1.87	0.02	0.043
<i>Leptodactylus fragilis</i>	1.67	0.04	0.074
<i>Leptodactylus fuscus</i>	1.53	0.13	0.202
<i>Lithodytes lineatus</i>	6.60	0.09	0.580
<i>Leptodactylus macrosternum</i>	4.33	0.04	0.192
<i>Pseudopaludicola llanera</i>	3.07	0.04	0.136
Σ (EC*HV)			1.229
Species Richness			6
IBIA			20.48%
DRY SEASON			
Species	EC	HV	(EC*HV)
<i>Dendropsophus mathiassoni</i>	1.47	0.088	0.129
<i>Elachistocleis "ovalis" (nomen dubium)</i>	3.33	0.13	0.43
<i>Boana xerophylla</i>	1.87	0.166	0.310
<i>Leptodactylus colombiensis</i>	4.27	0.16	0.70
<i>Leptodactylus fragilis</i>	1.67	0.294	0.491
<i>Leptodactylus fuscus</i>	1.57	0.16	0.26
<i>Leptodactylus insularum</i>	3.33	0.251	0.837
<i>Leptodactylus macrosternum</i>	4.33	0.16	0.71
<i>Pseudopaludicola llanera</i>	3.70	0.251	0.930
<i>Rhinella beebei</i>	1.07	0.16	0.18
<i>Scinax ruber</i>	1.53	0.164	0.250
Σ (EC*HV)			5.22
Species Richness			11
IBIA			47.46%

as pathways in which urban settlements gradually took place (Instituto Geográfico Agustín Codazzi 1999, Mora-Fernández et al., 2011). As a consequence, human colonization and settlements have been creating a gradient of disturbance that begins from piedmont to the river mouth, and where the greatest disturbance is located near the piedmont and their urban settlements. Thus, the lesser disturbance is located around the river mouth and its gallery forest and savannas (Mora-Fernández et al., 2011; Peñuela

and Fernández, 2010). The index of cover dominance (D) agreed with this pattern (Fig. 2). It reported greatest homogeneity on the river mouth (Station 1) where rural population is low, and forest and savannas are the dominant covers. On the contrary, the (D) values toward the piedmont (Station 2 and 3) reported a gradual increase on the landscape heterogeneity, higher density of crops, native vegetation transformation and dense rural settlements. This gradient of disturbance has been typified as

Tabla 7. Índice integridad biótica basado en anuros (IBIA) aplicado en la estación 3. / **Table 7.** Index of biotic integrity base on anuran assemblage (IBIA) applied at station 3.

Total area station 1 (ha)			9 454.69
Landscape Unit	Relative dominance (ha)	weighing	HV
Crops	0.10	1	0.10
Pastures	0.38	2	0.75
Savannas	0.33	3	0.99
Forest	0.17	4	0.69
WET SEASON			
Species	EC	HV	(EC*HV)
<i>Dendropsophus mathiassoni</i>	1.47	0.17	0.26
<i>Elachistocleis "ovalis" (nomen dubium)</i>	3.33	0.60	2.00
<i>Boana xerophylla</i>	1.87	0.17	0.33
<i>Leptodactylus fragilis</i>	1.67	0.09	0.14
<i>Leptodactylus fuscus</i>	1.53	0.09	0.13
<i>Lithodytes lineatus</i>	6.60	0.07	0.46
<i>Leptodactylus macrosternum</i>	4.33	0.08	0.33
<i>Phyllomedusa hipochondrialis</i>	4.53	0.14	0.66
<i>Lithobates fisheri</i>	2.07	0.08	0.16
<i>Pseudis paradoxa</i>	4.53	0.24	1.11
<i>Pseudopaludicola llanera</i>	3.07	0.09	0.26
<i>Rhinella beebei</i>	1.07	0.08	0.08
<i>Scinax blairi</i>	7.33	0.07	0.51
<i>Scinax rostratus</i>	2.67	0.07	0.18
<i>Scinax wandae</i>	1.80	0.10	0.18
<i>Boana lanciformis</i>	6.60	0.07	0.46
<i>Scinax x-signatus</i>	2.33	0.10	0.23
Σ (EC*HV)			7.47
Species Richness			17
IBIA			43.94%
DRY SEASON			
Species	EC	HV	(EC*HV)
<i>Elachistocleis "ovalis" (nomen dubium)</i>	3.33	0.07	0.23
<i>Boana xerophylla</i>	1.87	0.07	0.13
<i>Leptodactylus colombiensis</i>	4.27	0.07	0.30
<i>Leptodactylus fragilis</i>	1.67	0.17	0.28
<i>Leptodactylus fuscus</i>	1.53	0.17	0.26
<i>Leptodactylus linneatus</i>	6.6	0.07	0.46
<i>Leptodactylus macrosternum</i>	4.33	0.17	0.73
<i>Lithobates fisheri</i>	2.07	0.17	0.35
<i>Pseudopaludicola llanera</i>	3.07	0.07	0.21
<i>Rhinella beebei</i>	1.07	0.14	0.15
<i>Scinax rostratus</i>	2.67	0.10	0.27
<i>Scinax ruber</i>	1.53	0.07	0.11
Σ (EC*HV)			4.95
Species Richness			11
IBIA			45.03%

a characteristic trend of human activity that simplifies patch complexity, increases fragmentation of native vegetation as well as crops and livestock pasture (Gordon & Forman, 1983; Boren et al., 1997). Also, this link between spatial patterns and ecological processes at a landscape scale has been reported for many taxonomic groups (Rosenzweig, 1995; Krauss et al., 2003) in which negative effects for species richness were found with increasing habitat isolation and/or landscape fragmentation (Ricketts et al., 2001; Krauss et al., 2003).

The inconsistency between the IBIA score and the (D) value in station 3 reflects that IBIA measurement depends on two factors: 1) the landscape context, which implies an appropriate sampling effort that includes at least one representative cover of each landscape unit of the flooded savannas, and 2) a careful sampling to detect the greatest number of species in each landscape unit. Consequently, station 3 showed a sampling that was incomplete due to access limitations in some locations, which reduced 19% (1 817.28 ha) of the sampled area. As a consequence, the real heterogeneity of the vegetation included on the geographic analysis was not assessed in the IBIA measurement. In fact, the fieldwork encountered more natural vegetation covers than transformed vegetation covers (Fig. 2C). Hence, the IBIA score showed station 3 as a medium integrity level zone when in reality it has the highest heterogeneity due to landscape fragmentation.

Because anurans are ectoderms with permeable skin, they are more susceptible to the vicissitudes of the environment, especially in conditions of low moisture (Duellman & Trueb 1994). However, by combinations of many unique morphological structures, physiological mechanisms, and behavioral responses, they have adapted to life in adverse environments such as the Orinoquian flooded savannas in which the dry season extends more than four months (Dixon & Staton, 1976; Montoya et al., 2011). This climatic condition has acted as a strong selective pressure to the anuran ensembles that inhabit the flooded savannas. It has caused great changes of its richness, composition, and abundance between dry and wet seasons (Montoya et al., 2011; Angarita-Sierra, 2014; Blanco-Torres, 2017). For example, three out of five frog families present in this ecosystem (Leptodactylidae, Bufonidae and Microhylidae) contain the highest species abundance and are composed by species with opportunistic life traits, semi-fossorial habits, low water dependence, and wide habitat preference such as *Leptodactylus fuscus* (Schneider, 1799), *Leptodactylus fragilis* (Brocchi, 1877), *Rhinella beebei* (Gallardo, 1965; Dixon & Staton, 1976; Duellman & Trueb, 1994; Tárano, 2010). There are a few species, like *Pseudopaludicola llanera* (Lynch, 1989), *Boana xerophila* (Wied-Neuwied, 1824), *Dendropsophus mathiassoni* (Cochran & Goin, 1970) that have adapted to use specific habitats

during the dry season, such as the forest leaf litter, backyards, and under the dry vegetation of the wetlands. On the other hand, the highest species abundance of the remaining families (Hylidae, Leuperidae) are present only during the wet season and are composed by species with explosive reproduction like *Osteocephalus taurinus* (Steindachner, 1862) and *Trachycephalus typhonius* (Linnaeus, 1758), who ovoposit on temporary puddles thus have a high water dependence and high specificity in habitat preference (Höld, 1990; Lynch, 2006b; Cáceres-Andrade & Urbina-Cardona, 2009; Tárano, 2010). As a consequence, the IBA is sensitive to spatial-temporal variation in richness and composition of the anuran assemblage. This is mainly due to the anuran's richness variation which fluctuate 30% between the dry and wet seasons (Angarita-Sierra 2014; Pedroza-Banda et al., 2014).

Therefore, the IBIA score changes according to the richness observed as well as the species' composition and its ecological coefficient (EC). For instance, the IBIA scores from stations 1 and 3 during the dry season are always lower than the wet season because the species richness is lower during dry season and their composition has species with low EC values. The low values of EC correspond to life history traits of the tolerant species that prefer open areas and disturbed habitats such as pastures, crops, road edges and backyard. In general, those are species that are present during dry season and have lower water dependence. Hence, low EC values are expected when there are increases of fragmentation of native vegetation as well as increases of the landscape heterogeneity. Additionally, it is also expected that species composition for such areas contains mostly frogs with continuous or opportunistic reproductive life traits, foam nests, preferences to open areas for the display of advertisement calls, and presence in people's yards.

Rareness, as a measure to assess biotic integrity, has had detractors when used to build ecological coefficients or indices. Detractors argue that rare species may add noise to assessment and provide little additional information beyond more common species (Gauch, 1982; McCune et al., 2002; Poos & Donald, 2012). On the other hand, supporters often retain rare species in assessments because they may be better indicators of ecosystem stress than common species (Faith & Norris, 1989; Cao & Williams, 1999; Poos & Donald, 2012). In both cases, the underlying question over the rareness concept is, how species richness affects ecosystem functionality? The effect of species on an ecosystem function appears to vary depending on their commonness and rarity (Flather & Hull, 2007).

Contradictory evidence of this effect has been seen in several studies, where reductions in the abundance of common or “dominant” species resulted in immediate negative impacts on productivity (Smith & Knapp, 2003), as well as where rare species were removed. These effects reduced overall richness, and were more prone to generate exotic species’ establishments than other plots where an equivalent biomass of common species was removed (Lyons & Schwartz, 2001). According to Rabinowitz (1981), rareness is a concept defined by three dimensions: geographic range, habitat specificity and local abundance. The IBIA considers these dimensions in its definition of rareness, in which the geographic range of the species assessed is restricted to flooded savannas of the Pauto River. In addition, habitat specificity is related by preference of the landscape unit and associated vegetation (Table 3), and local abundance was based on data reported by Angarita-Sierra 2014 and Pedroza-Banda et al., 2014, as well as by the knowledge of the researchers surveyed.

Therefore, the IBIA considered *Boana boans*, *Boana lanciformis*, *Osteocephalus taurinus*, *Scinax blairi* and *Trachycephalus typhonius* as rare species based on the agreement that resulted from surveys and previous studies. Comparing between the outcomes of Acosta-Galvis and Alfonso-Bejarano (2011), Angarita-Sierra (2014), Pedroza-Banda et al. (2014) and Blanco-Torres et al. (2017), rare species are not a bias from sampling protocols. On the contrary, they are frogs that have a common denominator: low relative abundance, a narrow habitat use, and high degree of specialization in the use of forests as their main habitat (Lynch, 2006b; Lynch & Arroyo, 2009; Camacho-Rozo & Camacho-Reyes, 2010). Hence, if they are removed according to detractors, we could be limiting the number of species assessed in the anuran assemblage (Preston, 1948; Arscott et al., 2006; Poos & Donald 2012), as well as missing the relationship between specialist frogs and loss of the native vegetation.

The biological integrity loss of the flood savanna ecosystem has deep repercussions on the benefits and services that anuran assemblages provide to the people that inhabit the flooded savannas in the Pauto River basin. Among the services of direct use, the main loss is the aesthetic scenery as well as the recreational, scientific and educational information. The “Llanera” culture is defined by their landscape and how the people use the fauna that inhabit their territory. The anuran decline due to habitat loss represents to rural communities from River Pauto basin the loss of the “gibberish that gives life to the savanna” (Manuel Barragan *pers. comm.* July 2012). In other words, the soundscape provided by the anurans has been lost due to deep transformation of the forest and savannas.

On the other hand, the IBIA was sensitive to deterioration and the transformation process of the natural vegetation covers, which is reflected in the decrease of biological integrity and detriment of the ecosystem services provided by the anuran assemblage. These outputs have been considered the symptoms of an unhealthy ecosystem (Godron & Forman, 1983; Odum, 1985; Steedman & Regier, 1987). Thus, decision makers and stakeholders could use the IBA into a monitoring program as environmental barometer of the pressures on the Pauto River ecosystem. Additionally, the IBIA can help to build conservation actions towards amphibian conservation communities, exploring if anuran assemblages of the flood savannas of the Pauto River are following the worldwide pattern of species decline, or by contrast, they are exhibiting wide degree of variation in the current trends (Campbell-Grant et al., 2020).

Although the IBIA was tested at some areas of the flooded savannas of the Pauto River, the index still needs to be further refined, evaluated and tested especially in response to unknown environmental disturbances. For example, none have estimated the degradation and natural vegetation loss due to the hypothesized increase of oil palm plantations or cane crops on the flooded savannas of Pauto River. These are some of the crops that will be cultivated within the next decade. (CORPORINOQUÍA, 2013). Likewise, the metric and criteria presented should be tested in order to provide insights about the types of considerations necessary for regional applications. Finally, it is recommended to further scrutinize the IBIA in order to achieve its refinement by applying it on other flooded savannas ecosystems with the involvement of resource managers.

Acknowledgements.— I want to give special thanks to the “Llaneros” who inhabit the flooded savannas of Pauto River, especially Ramón Gómez, Juan Carlos Gómez (Chigüi), Pedro Chaquea, Nilson Gualdrón, Manuel Torres, Marixa Barragán, Esaú Gualdrón, Crispulo Bernabé (Venado). I thank Jhon Infante-Betacour and Rebeca Morantes for help me with the map. I thank Andrés Felipe Aponte and Alejandro Montes for their support and friendship during fieldwork. I thank Fabio I. Daza, Jose Nicolas Urbina-Cardona, Craig Hassapakis and Mayra Oyervides for their advice and review. I thank John D. Lynch, Amphibian Collection of the Instituto Nacional de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia (ICN) for making material under his care available for study.

Finally, I thank Andres Acosta, Heron Romero, Raul Pedroza-Banda, John D. Lynch and the anonymous colleagues who participated in the surveys.

This study was developed under the collaboration agreement DHS No. 5211409 between ECOPETROL S.A and YOLUKA NGO, Biodiversity and Conservation Research Foundation and Fundación Horizonte Verde for implementation of the project "Evaluation of ecosystem health of the flooded savannas from the middle and lower Pauto River Basin, Casanare."

CITED LITERATURE

- Abril-Salcedo, D.S., L.F. Melo-Velandia & D. Parra-Amado. 2015. Heterogeneidad de los índices de producción sectoriales de la industria colombiana. Borradores de Economía 888:1-32.
- Acosta-Galvis, A.R. & J. Alfonso-Bejarano. 2011. Anfibios del Casanare. Pp. 138-152. In J.S. Usma & F. Trujillo (Eds.), Biodiversidad del Casanare: ecosistemas estratégicos del Departamento. Gobernación de Casanare - WWF Colombia.
- Alford, R.A., & S.J. Richards. 1999. Global amphibian declines: A problem in applied ecology. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 30:133-165.
- Angarita-Sierra, T. 2014. Diagnóstico del estado de conservación del ensamble de anfibios y reptiles presnetes en los ecosistemas de sabanas inundables de la cuenca de río Pauto, Casanare, Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 38:53-78.
- Angarita-Sierra, T., J.J. Ospina-Sarria, M. Anganoy-Criollo, R.F. Pedroza-Banda & J.D. Lynch. 2013. Guía de Campo de los Anfibios y Reptiles del Departamento de Casanare (Colombia). Serie de Biodiversidad para la Sociedad. YOLUKA ONG. Fundación de Investigación en Biodiversidad y conservación. Bogotá D.C. Colombia.
- Angulo, A., J.V. Rueda-Almonacid, J.V. Rodríguez-Mahecha & E. La Marca. 2006. Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina. Conservación internacional. Serie Manuales de campo No. 2. Panamericana Forma e Impresos S.A. Bogotá D.C. Colombia.
- Arscott D.B., K.K. Jackson & A. Kratzer. 2006. Role of rarity and taxonomic resolution in a regional and spatial analysis of stream macroinvertebrates. Journal of the North American Benthological Society 25: 977-997.
- Ávila-Montealegre, O.I. 2010. The structural transformation and aggregate productivity in Colombia. Borradores de economía. 334:1-14.
- Becker, C.G., R.D. Loyola, C.F.B. Haddad & K.R. Zamudio. 2009. Integrating species life-history traits of deforestation in amphibian conservation planning. Diversity and Distributions 15:1-10.
- Benavides, J. 2010. El desarrollo económico de la Orinoquia como aprendizaje y construcción de instituciones. Pp.279-320. In: R. Steiner & V. Traverso (Eds.), Colombia 2010-2014: Propuestas de Política Pública. CAF Fedesarrollo. Bogotá. Colombia
- Blanco-Torres, A., B. Bastidas-Molina & F. Parra-Torres. 2017. Variación espacial y temporal de la herpetofauna en ecosistemas de sabanas inundables de la Orinoquia-Colombia. Calsasia 39:354-369.
- Bokerman, W.C.A. 1967. Três novas especies de *Physalaemus* do sudeste brasileiro (Amphibia: Leptodactylidae). Brazilian Journal of Biology 24:135-43.
- Boren, J.C., D.M. Engle, M.S. Gregory, R.E. Masters, T.G. Bidwell & V.A. Mast. 1997. Landscape structure and change in a hardwood forest-tallgrass grass prairie ecotone. Journal of Range Management 50:244-249.
- Boyer, R. & C.E. Grue. 1995. The need for water quality criteria for frogs. Environmental Health Perspectives 4:327-57.
- Cabreara-Amaya, D.M., L.J. Giraldo-Kalil, O. Rivera-Díaz & F. Castro-Lima. 2020. Riqueza, composición y distribución de las plantas vasculares en sabanas y bosques ribereños de la cuenca baja del río Pauto (Casanare-Colombia). Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 44:1018-32.
- Cáceres-Andrade, S.P. & J.N. Urbina-Cardona. 2009. Ensamble de anuros en sistemas productivos y bosques en el piedemonte llanero. departamento del Meta. Colombia. Calsasia 31:175-194.
- Camacho-Rozo, C.P. & J.A. Camacho-Reyes. 2010. Listado preliminar de larvas de anuros presentes en lagunas tropicales semipermanente y charcos temporales de sabana en época de altas lluvias. Yopal- Casanare. Orinoquia 14:83-91.
- Campbell-Grant, E.H., D.A. Miller, & E. Muths. 2020. A Synthesis of evidence of drivers of amphibian declines. Herpetologica 76:101-107.
- Caro, C., F. Trujillo & C. Suárez. 2006. Evaluación y oferta regional de humedales de la Orinoquia: contribución a un sistema de clasificación de ambientes acuáticos. Pp 432-437. In: C.A.,

- Lasso, J.S. Usma, F. Trujillo & A. Rial (Eds.), Biodiversidad de la Cuenca del Orinoco: Bases Científicas para la Identificación de Áreas Prioritarias para la Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, WWF Colombia. Fundación Omacha, Fundación La Salle, Instituto de Estudios de la Orinoquia (Universidad Nacional de Colombia), Bogotá, Colombia.
- Cei, J.M. 1980. Amphibians of Argentina. Italian Journal of Zoology 2:1-609.
- Chuvieco, E. 2007. Earth Observation and Global Change. Springer. New York. U.S.A.
- Cochran, D.M., & C.J. Goin. 1970. Frogs of Colombia. Smithsonian Institution Press. Lawrence. Kansas, U.S.A.
- [CORPORINOQUÍA] Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía. 2013. Plan de Gestión Ambiental Regional. Instrumento de planificación estratégico. CORPORINOQUÍA, Yopal, Casanare, Colombia.
- Cortés-Duque, J. & P. Sánchez-Palomino. 2011. Diversidad de reptiles del bloque Cubiro. Pp 247-73 In: T.L. Sicard (Ed), Mamíferos, reptiles y ecosistemas del bloque Cubiro (Casanare): Educación Ambiental para la Conservación. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Crump, M.L, & N.J. Scott. 1994. Visual encounters surveys. Pp. 354-352. In: W.M. Heyer, R. Donnelly, L. McDiarmid & M. Hayek Foster (Eds.), Measuring and monitoring biological diversity, standard methods for amphibians. Smithsonian Institution Press, Washington D.C. U.S.A.
- Dixon, J.R. & M.A Staton. 1976. Some aspects of the biology of *Leptodactylus macrosternum* Miranda-Ribero (Anura. Leptodactylidae) of the Venezuelan llanos. Herpetologica 32:227-232.
- Duellman, W.E., & L. Trueb. 1994. Biology of amphibians. Johns Hopkins University Press. Baltimore. U.S.A.
- Duellman, W.E. 2005. Cusco Amazonico: The lives of amphibians and reptiles in an Amazonian rainforest. Cornell University. Ithaca. Nueva York. U.S.A.
- França, F.G.R. & A.F.B. Araújo. 2006. The conservation status of snakes in central Brazil. South American Journal of Herpetology 1:25-36.
- Gauch, H.G. 1982. Multivariate Analysis in Community Ecology. Press Syndicate of the University of Cambridge. Cambridge. England.
- Godron, M. & R.T Forman. 1983. Landscape modification and changing ecological characteristics. Pp. 12-28. In: H.A. Mooney & M. Gordon (Eds.), Disturbance and Ecosystem Components of Response. Springer. New York. U.S.A.
- Höld, W. 1990. Reproductive diversity in Amazonian lowland frogs. Fortschritte der Zoologie 38:41-60.
- Hoogmoed, M.S. & S.F. Gorzula. 1979a. Checklist of the savanna inhabiting frogs of the El Manteco region with notes on their ecology and the description of a new species of tree-frog (Hylidae. Anura). Zoologische Mededelingen 54:183-216.
- Hoogmoed, M.S. 1979b. The Herpetofauna of the Guianan Region. In: The South American herpetofauna: its origin. evolution and dispersal. Pp 241-279. Duellman, W.E. University of Kansas Press. Lawrence. Kansas. U.S.A.
- Hopkins, W.A. 2007. Amphibians as Models for Studying Environmental Change. ILAR Journal 48:270-70.
- Hutchins, D.L., G.W. Chamberlain, J.C. Parker. 1980. Estimation of shrimp population in experimental ponds using Mark-Recapture and stratified random sampling methods. Proceedings of the World Mariculture Society 11:142-150.
- [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología. Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá D.C. Colombia.
- [IGAC] Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1999. Casanare: Características Geográficas. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá D.C., Colombia.
- Karr, J.R. 1981. Assessment of the biotic integrity using fish communities. Fisheries 6:21-27.
- Karr, J.R. & D.R. Dudley 1981. Ecological perspective on water quality goals. Environmental Management 5:55-68.
- Karr, J.R, P.R. Yant, K.D. Fausch & I.J. Schlosser. 1987. Spatial and temporal variability of the index of biotic integrity in three

- midwestern streams. Transactions of the American Fisheries Society 116:1-11.
- Krauss, J., I. Steffan-Dewenter & T. Tshamtkhe. 2003. How does landscape context contribute to effects of habitat fragmentation on diversity and population density of butterflies? Journal of Biogeography 30:889-900.
- Lynch, J.D. & M.A. Vargas. 2000. Lista preliminar de especies de anuros del departamento del Guainía. Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 24:579-589.
- Lynch, J.D. 2006a. The tadpoles of frogs and toads found in the lowlands of Northern Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 30:443-457.
- Lynch, J.D. 2006b. The amphibian fauna in the Villavicencio region of eastern Colombia. Caldasia 28:135-155.
- Lynch, J.D. & S.B. Arroyo. 2009. Risks to Colombian Amphibian Fauna from Cultivation of Coca (*Erythroxylum coca*): A Geographical Analysis. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A 72:974-985.
- Lynch, J.D. & A. Suarez-Mayorga. 2011. Clave ilustrada de los renacuajos en las tierras bajas al oriente de los Andes con énfasis en Hylidae. Caldasia 33:139-174.
- Lyons, K.G. & M.W. Schwartz. 2001. Rare species loss alters ecosystem function-invasion resistance. Ecology Letters 4:358-365.
- McCune, B., J.B. Grece & D.L. Urban. 2002. Analysis of Ecological Communities. MjM Software Design. Gleneden Beach. Oregon. U.S.A.
- McDiarmid, R.W. 1994. Bases para la estandarización y cuantificación. Pp 17-20. In: W.M. Heyer, R. Donnelly, L. McDiarmid, & M. Hayek Foster (Eds.), Measuring and monitoring biological diversity, standard methods for amphibians. Smithsonian Institution Press, Washington D.C. U.S.A.
- McDiarmid, R.W. & R. Altig. 1999. Tadpoles: The biology of Anuran Larvae. University of Chicago Press. Chicago, Illinois, U.S.A.
- Melo, H. & M. Camacho. 2005. Interpretación Visual de Imágenes de Sensores Remotos y su Aplicación en Levantamientos de Cobertura y Uso de la Tierra. Instituto Agustín Codazzi. Bogotá D.C. Colombia.
- Micacchion, M. 2004. Integrated Wetland Assessment Program. Part 7: Index of Biotic Integrity (AmphIBI) for Ohio Wetlands. Environmental Protection Agency, Columbus. U.S.A.
- Montoya, J.V., M.N. Castillo & L. Sánchez. 2011. La importancia de las inundaciones periódicas para el funcionamiento y conservación de los ecosistemas inundables de grandes ríos. Interciencia 36:899-907.
- Mora-Fernández, C., C. Castellanos, C. Cardona, C. Pinzon & O. Vargas-Ríos. 2011. Introducción. Pp. 15-56. In: T.L. Sicard Mamíferos, reptiles y ecosistemas del bloque Cubiro (Casanare): educación ambiental para la conservación. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. Colombia.
- Nieto, M.J. 1999. Estudio preliminar de las especies del género *Scinax* (Amphibia: Anura: Hylidae) en Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 23:339-46.
- O'Neil, R.V., J.R. Krummel, R.H. Gardner, G. Sugihara, B. Jackson, D.L. De Angelis, B.T. Milne, M.G. Turner, B. Zygmunt, S. Christensen, V.H. Dale & R.L. Graham. 1988. Indices of landscape pattern. Landscape Ecology 1:153-62.
- Odum, E.P. 1985. Trends expressed in stresses ecosystems. Bioscience 35:419-422.
- Pedroza-Banda, R.F., J.J. Ospina-Sarria, T. Angarita-Sierra, M. Anganoy-Criollo & J.D. Lynch. 2014. Estado del conocimiento de la fauna de anfibios y reptiles del departamento de Casanare. Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 38:17-34.
- Peñuela, L., A.P. Fernández, F. Castro & A. Ocampo. 2011. Uso y manejo de forrajes nativos en la sabana inundable de la Orinoquía. The Natura conservancy (TNC). Fundación Horizonte Verde (FHV). Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía (CORPORINOQUIA). Villavicencio. Meta. Colombia.
- Peñuela, L. & A.P. Fernández. 2010. La ganadería ligada a procesos de conservación en la sabana inundable de la Orinoquía. Orinoquía 14:5-19.
- Prado, C.P. & A. d'Heursel. 2006. The tadpole of *Leptodactylus elenae* (Anura: Leptodactylidae). with the description of the internal buccal anatomy. South American Journal of Herpetology 1:79-86.
- Poos, M. & D.A. Jackson. 2012. Addressing the removal of rare species in multivariate bioassessments: The impact of methodological choices. Ecological Indicators 18: 82-90.

- Rangel-Ch, J.O. 1997. Colombia Diversidad Biótica II. Tipos de vegetación en Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Rangel-Ch, J.O. 2014. Colombia Diversidad Biótica XIV La región de la Orinoquía de Colombia Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. Colombia.
- Ricketts, T.H., C.D. Daily, P.R. Ehrlich & J.P. Fay . 2001. Countryside biogeography of moths in a fragmented landscape: biodiversity in native and agricultural habitats. *Conservation biology* 15:378-388.
- Romero-Martinez, H.J., C. Vidal-Pastrana, J.D. Lynch & P. Duenas. 2008. Estudio preliminar de la fauna Amphibia en el cerro Murrucú. PNN Paramillo y Zona amortiguadora. Tierralta. Córdoba. *Caldasia* 30:209-229.
- Rosenzweig, M.L. 1995. Species diversity in space and time. Cambridge University Press Cambridge. England.
- Sarmiento, G. 1984. Ecology of Neotropical Savannas. Harvard University Press. Boston, Massachusetts, U.S.A.
- Savage, J.M. 2002. The Amphibians and Reptiles of Costa Rica. A Herpetofauna between Two Continents. between Two Sea. University of Chicago Press. Chicago, Illinois, U.S.A.
- Shulse, C.D., R.D. Semlitsch & K.M. Traut. 2009. Development of an amphibian index biotic index to evaluated wetland health in Northern Missouri. *World Environmental and Water Resources Congress* 2657-2667.
- Simons, T.P., R. Jankowskib & C. Morris. 2000. Modification of an index of biotic integrity for assessing vernal ponds and small palustrine wetlands using crayfish and amphibian assemblages along the southern Lake Michigan. *Aquatic Health and Management* 3:407-418.
- Smith, M.D. & A.K. Knapp. 2003. Dominant species maintain ecosystem function with nonrandom species loss. *Ecology letters* 6:509-517
- Sinsch, U., J. Leskovar, A. Droblgm & W.R Grosse. 2007. Life-history traits in green toad (*Bufo viridis*) populations: indicators of habita quality. *Canadian Journal of Zoology* 85:665-73.
- Stanford, J.A., J.V. Ward, L.William, J. Frissell, C.A. Williams, R.N. Lichatowich & J.A Coutant. 1996. A general protocol for restoration of regulated rivers. US Department of Energy Publications. Lincoln, Nebraska, U.S.A.
- Steedman, R.J. & H.A. Regier. 1987. Ecosystem science for the Great Lakes:perspectives on degradative and rehabilitative transformations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 44:95-103.
- Tárano, Z. 2010. Advertisement calss calling habits of frogs from a flood savanna of Venezuela. *South American Journal of Herpetology* 5:221-240.
- Townsend, C.R. & R.H. Riley. 1999. Assessment of river health: accounting for perturbation pathways in physical and ecological space. *Freshwater Biology* 41:393-405.
- Valencia-Aguilar, A., A. Cortés-Gómez & C.A. Ruiz-Agudelo. 2012. Servicios ecosistemicos brindados por los anfibios y reptiles del neotropico:una visión general. Serie Capital natural Colombia No.3. Conservación Internacional. Cali, Valle del Cauca, Colombia.
- Viloria de la Hoz, J. 2009. Geografía económica de la Orinoquía. Documentos de trabajo sobre economía regional 113:1-97.
- Waringer, J.A. M. Chovanec, W. Straif, W. Graf, A. Reckendorfer, H. Waringer-Löschenkohl, G. Waidbacher & H. Schultz. 2005. The Floodplain Index:habitat values and indication weights for molluscs, dragonflies, caddisflies, amphibians and fish from Austrian Danube floodplain waterbodies. *Lauterbornia* 54:177-186.
- Wells, K.D. 2007. The Ecology and Behavior of Amphibians. University of Chicago Press. Chicago, Illinois, U.S.A.
- Welsh, H.H. & L.M. Olliver. 1998. Stream amphibians as indicators of ecosystem Stress: A case study from California's Redwoods. *Ecological applications* 4:1118-1132.
- Wilcox, D.A., J.E. Meeker, P.L. Hudson, B.J Armitage, M.G. Black & D.G. Uzarski. 2002. Hydrologic variability and the a pplication on index of biotic integrity metrics to wetlands: A great lakes evaluation. *Wetlands* 22:588-615.
- Zúñiga-Palma, H. & P.P. Zúñiga-Vargas. 2012. Valoración comercial del suelo rural de acuerdo a su capacidad de carga territorial y producción pecuaria. M.Sc, Thesis, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogota D.C. Colombia.

APPENDIX 1

Tabla S1. Abundancia relativa de anuros durante la estación seca y húmeda (Angarita-Sierra 2014)**Table S1.** Relative abundance of anurans during dry and wet season (Angarita-Sierra 2014). .

Species	Dry season %				Wet season %			
	Pastures	Forest	Savanna	Rice crop	Pastures	Forest	Savanna	Rice crop
<i>Dendropsophus mathiassoni</i>	0	2	0	0	3	6	14	7
<i>Elachistocleis "ovalis" (nomen dubium)</i>	0	2	0	0	3	6	1	0
<i>Boana xerophylla</i>	0	5	3	0	12	3	12	0
<i>Leptodactylus colombiensis</i>	0	4	2	0	0	19	0	0
<i>Leptodactylus fragilis</i>	83	18	20	0	6	6	30	53
<i>Leptodactylus fuscus</i>	0	7	17	0	12	6	8	13
<i>Leptodactylus insularum</i>	0	1	3	0	0	13	0	0
<i>Leptodactylus linneatus</i>	0	1	0	0	0	6	0	0
<i>Leptodactylus macrosternum</i>	0	11	29	0	35	0	3	17
<i>Leptodactylus sp.</i>	--	--	--	--	3	0	0	0
<i>Lithobates fisheri</i>	0	3	5	0	0	3	0	3
<i>Phyllomedusa hypochondrialis</i>	--	--	--	--	6	6	4	0
<i>Pseudopaludicola llanera</i>	0	33	10	0	6	0	0	7
<i>Pseudis paradoxa</i>	--	--	--	--	6	3	12	0
<i>Rhinella marina</i>	--	--	--	--	0	0	2	0
<i>Rhinella beebei</i>	0	6	7	0	9	0	4	0
<i>Scinax blairi</i>	0	0	2	0	0	3	0	0
<i>Scinax rostratus</i>	17	2	0	0	0	9	2	0
<i>Scinax ruber</i>	0	7	2	0	0	0	2	0
<i>Scinax wandae</i>	0	1	0	0	0	0	3	0
<i>Scinax sp.</i>	--	--	--	--	0	0	1	0
<i>Trachycephalus typhonius</i>	--	--	--	--	0	9	1	0

Tabla S2. Cobertura vegetal preferida por los anuros durante las épocas seca y húmeda (Angarita-Sierra 2014).**Table S2.** Vegetation preference of anurans during dry and wet seasons (Angarita-Sierra 2014).

Species	Dry season %				Wet season %			
	Pastures	Forest	Savanna	Rice crop	Pastures	Forest	Savanna	Rice crop
<i>Dendropsophus mathiassoni</i>	0	100	0	0	6	11	72	11
<i>Elachistocleis "ovalis" (nomen dubium)</i>	0	100	0	0	25	50	25	0
<i>Boana xerophylla</i>	0	75	25	0	25	6	69	0
<i>Leptodactylus colombiensis</i>	0	83	17	0	0	100	0	0
<i>Leptodactylus fragilis</i>	13	56	31	0	4	4	58	33
<i>Leptodactylus fuscus</i>	0	44	56	0	24	12	41	24
<i>Leptodactylus insularum</i>	0	67	33	0	0	100	0	0
<i>Leptodactylus linneatus</i>	0	100	0	0	0	100	0	0
<i>Leptodactylus macrosternum</i>	0	43	57	0	60	0	15	25
<i>Leptodactylus</i> sp.	--	--	--	--	100	0	0	0
<i>Lithobates fisheri</i>	0	57	43	0	0	50	0	50
<i>Phyllomedusa hypochondrialis</i>					25	25	50	0
<i>Pseudopaludicola llanera</i>	0	87	13	0	50	0	0	50
<i>Pseudis paradoxa</i>	--	--	--	--	14	7	79	0
<i>Rhinella marina</i>	--	--	--	--	0	0	100	0
<i>Rhinella beebei</i>	0	64	36	0	43	0	57	0
<i>Scinax blairi</i>	0	0	100	0	0	100	0	0
<i>Scinax rostratus</i>	20	40	0	0	0	60	40	0
<i>Scinax ruber</i>	0	89	11	0	0	0	100	0
<i>Scinax wandae</i>	0	100	0	0	0	0	100	0
<i>Scinax</i> sp.	--	--	--	--	0	0	100	0
<i>Trachycephalus typhonius</i>	--	--	--	--	0	75	25	0



AISLAMIENTO Y DETECCIÓN DE *BRUCELLA* SP. (PROTEOBACTERIA) EN *SCELOPORUS* *MEGALEPIDURUS* (LAGARTIJA ESPINOSA CORREDORA DE VIENTRE BLANCO) DE LA CUENCA ORIENTAL, PUEBLA, MÉXICO

ISOLATION AND DETECTION OF *BRUCELLA* SP. (PROTEOBACTERIA) IN *SCELOPORUS*
MEGALEPIDURUS (WHITE BELLIED CURSorial SPINY LIZARD) FROM THE EASTERN BASIN,
PUEBLA, MEXICO

JUAN RICARDO CRUZ-AVIÑA^{1,2*}, CARLOS ALFONSO ÁLVAREZ-GONZALEZ², EMYR SAUL PEÑA-MARÍN², ELSA
IRACENA CASTAÑEDA-ROLDÁN³ & GABRIEL BARRIOS-QUIROZ⁴

¹Universidad Tecnológica de Calakmul, Departamento de Recursos Naturales, Carr Xpujil-Dzibalchen Km. 2+260, Xpujil, Calakmul CP 24640, Campeche, México.

²Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. DACBIOL. Laboratorio de Acuicultura Tropical, Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, Villahermosa, Tabasco, 86139, México.

³Posgrado en Ciencias Ambientales, CICM, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. San Claudio, Ciudad Universitaria, Jardines de San Manuel, 72570, Puebla, México.

⁴Centro de Investigación y Experimentación de Alternativas Agroecológicas CIEA S. C., Fresnos 52 Edif. F 501 Col. Santa Úrsula Coapa, 04650, Coyoacán, CDMX.

*Correspondence: ambystomag@hotmail.com

Received: 2020-07-09. Accepted: 2021-01-02.

Abstract.—Brucellosis is a zoonosis that affects humans, livestock, and wildlife. Currently, 14 species of the genus *Brucella* are recognized, some of them have been reported in marine mammals, fish and amphibians. However, its role in wild herpetofauna is currently unknown. In recent years, in the Mexican Eastern Basin, *Brucella* sp. was detected in agricultural soil and water samples from the Crater Lakes, so it was speculated whether *Brucella* had the ability to infect lacertilian *Sceloporus megalepidurus*. Between February 2014 and April 2015, 75 specimens of *Sceloporus megalepidurus* were collected in the crater lake region of central Mexico. An experiment was designed in triplicate, by performing the soft tissue-derived agar-plate isolation; identification was made using standard microbiological tests. It was compared by PCR with the reference vaccine strains (BM16 and BS19). *Brucella* sp. was isolated in adults (40%) of the studied samples, the microbiological profiles were comparatively similar with the reference strains and the specific gene for the *Brucella* genus, *bp26* was amplified with 1029 bp. This is the first report of isolation and identification for *Brucella* in a native Mexican lizard. These data may be a useful tool to improve understanding of the pathogenesis and virulence of the genus *Brucella* in the wild and its potential effect on wildlife, as new reservoirs of the disease.

Keywords.— Axalapazcos, brucellosis, emerging diseases, herpetozoonosis.

Resumen.— La brucelosis es una zoonosis que afecta al humano, al ganado y fauna silvestre, la cual se ha ido expandiendo hacia nuevos reservorios. Se reconocen actualmente 14 especies reportadas para mamíferos marinos, peces y anfibios; sin embargo, actualmente se desconoce su papel en la saurofauna silvestre mexicana. En los últimos años, en la Cuenca Oriental Mexicana, se

detectó a *Brucella* sp. en muestras de suelo agrícola y en el agua de los Lagos Cráter, por lo que se especula si *Brucella* sp. tiene la capacidad de infectar algún lacertilio nativo. Entre febrero del 2014 y abril del 2016, se colectaron 75 ejemplares de *Sceloporus megalepidurus*. Se diseñó un experimento, realizando el primoaislamiento en placa de Agar derivado de muestras de tejido blando, la identificación se planteó mediante las pruebas microbiológicas estándar. Se comparó por PCR, con las cepas vacunales de referencia (BM16 y BS19). Se aisló a *Brucella* sp. en ejemplares adultos con (40%) de positivos de las muestras estudiadas, los perfiles microbiológicos resultaron comparativamente idénticos con las cepas de referencia, se amplió el gen específico para el género *Brucella*, *bp26* con 1029pb. Este es el primer reporte de aislamiento e identificación para *Brucella* en un lacertilio nativo mexicano. Estos datos pueden ser una herramienta útil para mejorar la comprensión sobre la patogénesis y virulencia del género *Brucella* en el medio natural y su efecto potencial en la fauna silvestre, así como nuevos reservorios de la enfermedad.

Palabras clave.— Axalapascos, brucelosis, enfermedades emergentes, herpetozoonosis.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, nuevos patógenos zoonóticos emergen (Laperche, 2011) derivados principalmente de la fauna silvestre, los cuales generan problemas en la salud pública y la biodiversidad local (Cabello & Cabello, 2008), derivado de las malas prácticas agrícolas, así como del manejo de animales domésticos, como vacas, cabras y otros (Gummow, 2010), pero la dinámica, ecología y mecanismos de acción, prevalencia, sobrevivencia, de este tipo de patógenos sigue siendo poco conocida (Cleaveland et al., 2001; Woolhouse et al., 2005; Valenzuela-Sánchez & Medina-Vogel, 2014; Whatmore et al., 2015).

Desde hace varios años se ha observado una rápida y constante disminución en las poblaciones de herpetofauna

en todo el mundo, llegando al grado de que un 40% de las especies descritas se encuentran en algún grado de amenaza, incluyendo poblaciones nativas en Áreas Naturales Protegidas (Pechmann & Wilbur, 1994; Houlahan et al., 2000; Alford et al., 2001; IUCN 2019). Las principales causas son la pérdida de hábitat, la sobreexplotación de acuíferos, las especies invasoras introducidas, el cambio climático, la contaminación ambiental y las nuevas enfermedades zoonóticas (Young et al., 2001; Heatwole, 2013). La brucelosis es una también una enfermedad zoonótica emergente (EZE), que tiene un impacto significativo en la salud y la economía de comunidades rurales, en muchas partes del mundo (Cabello & Cabello, 2008; Whatmore et al., 2015). En México, existe un notable incremento en el impacto de las EZE, que se tiene documentadas para humanos y animales de granja; sin embargo, se desconoce cómo esta enfermedad pueda afectar a la fauna silvestre local (Jones et al., 2008; Bulman & Lamberti, 2011).

Brucella es un género de bacterias Gram negativas, aerobias, inmóviles, no esporuladas, capaz de sobrevivir fuera del ambiente celular, en otros medios, por ejemplo, en agua embotellada (2 meses, pH= 8 y 20°C), en agua mineral (hasta 58-72 días, pH 8.0-8.3, 20°C) (Falenski et al., 2011) y ahora sabemos que hasta 200 días en agua natural de los lagos Cráter: Alchichica, Atexcac, La Preciosa y Quechulac (pH 9-9.3, 15-18°C, 0.5-9.8 o/oo) (Cruz-Aviña et al., 2015). Actualmente, el género *Brucella* comprende 14 especies, de las que el 60% han sido descritas los últimos 25 años, incluyendo la descripción de nuevos hospederos, como la trucha arcoiris (*Onchoryncus mykiss*), el bagre del Nilo (*Clarias gariepinus*), la Tilapia (*Oreochromis niloticus*) y diversas ranas (El-Tras et al., 2010; Pappas et al., 2010; Whatmore et al., 2015; Ramos-Ramírez et al., 2020) por lo que se considera que este género está en expansión hacia nuevos hospederos y nichos (Pappas, 2006; El-Tras et al., 2010; Gelev & Gelev, 2010; O'Callaghan & Whatmore, 2011).

Por su parte *Sceloporus megalepidurus* (Smith, 1934; Fig. 1), es



Figure 1. Specimen of *Sceloporus megalepidurus* in the crater lake Atexcac, Puebla.
Photo: Juan Ricardo Cruz Aviña.

Figura 1. Especimen de *Sceloporus megalepidurus* en el Lago cráter Atexcac, Puebla.
Foto: Juan Ricardo Cruz Aviña.

una especie de lagartija vivípara endémica de México (Aldama et al., 2007), nativa de la Cuenca Oriental Mexicana (COM) en los límites de los estados de Puebla, Tlaxcala y Veracruz, en el centro de México (Camarillo-Rangel, 1998). La Región de la COM, es una zona con alta prevalencia y alta morbilidad de brucelosis caprina (Herrera et al., 2001; Alcocer et al., 2004; García-Juárez et al., 2014) y de brucelosis humana (*Brucella abortus* y *Brucella melitensis*), entre los habitantes de las comunidades cercanas a estos lagos cráter (Herrera et al., 2001; Arredondo-Figueroa, 2002; Cruz-Aviña et al., 2015; Cruz-Aviña et al., 2017), por lo que se le considera una zona endémica de esta enfermedad (Caron et al., 2011). El advenimiento registrado de la brucelosis en esta zona, fue a partir de las importaciones de cabras Murcianas infectadas, en 1921 (Pláceres, 1921), actualmente se ha aislado a *Brucella* sp. de muestras de suelo y de agua de estos lagos cráter, además de otras especies silvestres como charales, ajolotes y ratones de campo (Castañeda-Roldán et al., 2010; Cruz-Aviña et al., 2015; Cruz-Aviña et al., 2017; Cruz-Aviña et al., 2020). Por lo que el propósito de este trabajo fue, el realizar el aislamiento e identificación de bacterias del género *Brucella* en un lacertilido

nativo (*Sceloporus megalepidurus*), de una zona endémica de brucelosis humana y de ganado caprino, reconociéndose a los reptiles como una extensión del nicho ecológico y hospederos para el género *Brucella*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Entre febrero del 2014 y abril del 2016, se recolectaron conforme a Heyer et al., (1994), 75 ejemplares de *S. megalepidurus* (45 hembras, 15 machos y 15 juveniles) en la ribera de los lagos cráter La Preciosa y Atexcac (19°20'-19°22' N y 97°27'-97°25' W a 2350 m s.n.m.; Fig. 2). Los organismos capturados fueron colocados en cámaras de plástico con anestesia hasta provocar la inconsciencia y expiración (Dolensek, 1971; Martínez & Ramis, 2012). Posteriormente fueron puestos en hielo para su transporte ($t \leq 3$ h) y trasladados para su análisis respectivo en el Laboratorio de Patogenicidad Bacteriana (LPB) del Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas (CICM) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) en

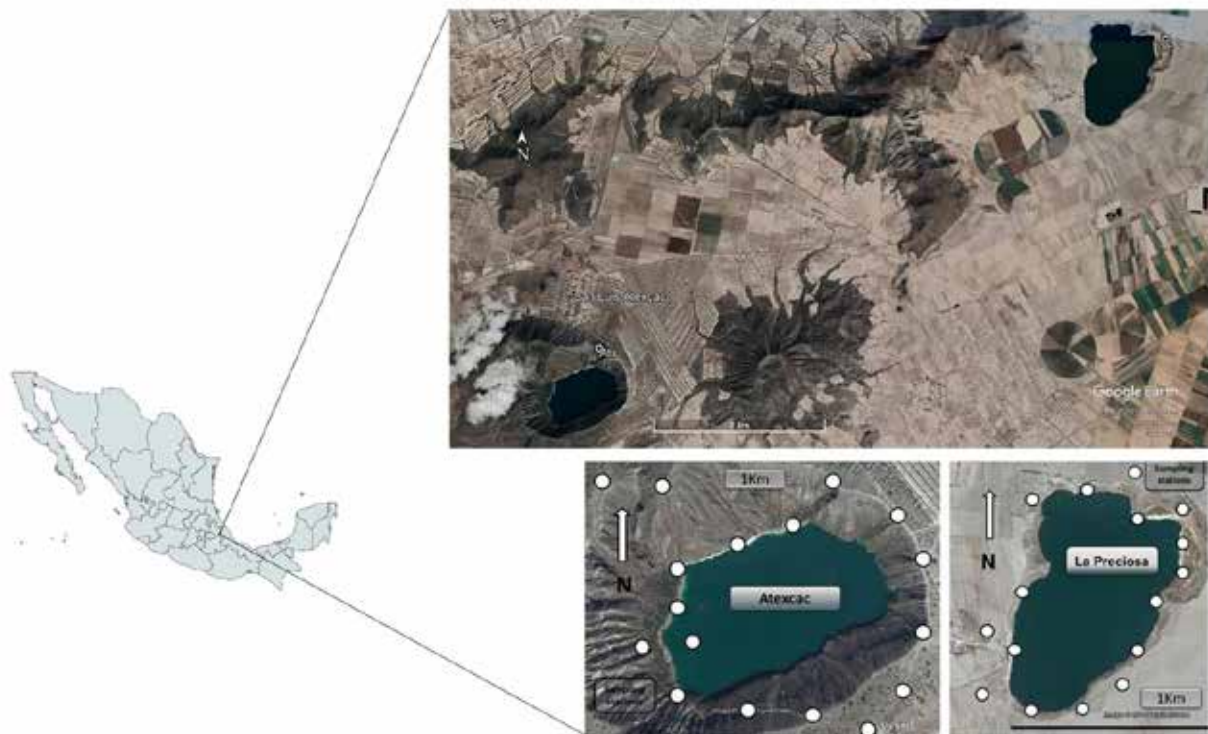


Figure 2. Study site: Shoreline of the crater lakes La Preciosa and Atexcac, Puebla, the circles show the collection sites for *S. megalepidurus* GPS Garmin XL12. Images taken from Google Earth, 2015.

Figura 2. Sitio de estudio: Ribera de los lagos cráter La Preciosa y Atexcac, Puebla, los círculos muestran los lugares de colecta de *S. megalepidurus* GPS Garmin XL12. Imágenes tomadas de Google Earth, 2015.

la Ciudad de Puebla, México. Los ejemplares estudiados se encuentran actualmente depositados en la Colección Nacional de Anfibios y Reptiles (CNAR) en el Instituto de Biología, de la Universidad Nacional Autónoma de México con números de catálogo (CNAR: 28199-28274).

Métodos bacteriológicos

De los ejemplares de *S. megalepidurus* colectados, se obtuvieron muestras serológicas y se practicaron las pruebas de rutina estándar, conforme a Alton et al., (1976) y Alton et al., (1988); posteriormente se tomaron muestras de tejidos y de órganos internos por separado (hígado, riñón, bazo y placenta) para cada organismo (Dolensek, 1971; Jacobson, 2007). Estos se maceraron con solución (Ringer lactato) y se sembraron en placas de Petri Agar con medio BRUCCELLA-BUAP® (Laboratorio de Patogenicidad Bacteriana, CICM, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, 2015), medio específico para *Brucella* sp. y cristal violeta (Alton et al., 1976; Eisenberg et al., 2012), a las colonias cultivadas se realizaron pruebas de microbiología estándar conforme a lo establecido por Alton et al., (1976). Los cultivos se incubaron a 37 °C durante 48 h con una atmósfera de CO₂ al 5 % (Alton et al., 1988) para el primoaislamiento (cepas número BMS001-BMS0018 de *S. megalepidurus*) del Banco de Cepas de *Brucella* del LAB- CICM-BUAP. Los primoaislamientos se resembraron y se separaron durante las siguientes 8-24 h, posteriormente se realizaron pruebas de tinción de Gram y de actividad metabólica (TSI, LIA, URE, CIT, MIO, OXI, CAT, RM-VP, H₂S, HEMOL) y curva de crecimiento (Alton et al., 1976 y Alton et al., 1988). Se realizaron pruebas estándar de rutina para diagnóstico por sensibilidad a diferentes tintes colorantes de anilina: Tionina (115929 Merck Millipore) a las diluciones 1:100,000, 1:50,000 y 1:25,000, Fucsina (115937 Merck Millipore) a una dilución 1:10,000, Safranina (115948 Merck Millipore) a una dilución de 1:10,000 (Alton et al., 1976; Alton et al., 1988). Se calculó el total de resultados positivos obtenidos para *Brucella* sp. derivados de los cultivos. Los primoaislamientos cultivados se separaron durante las siguientes 8 a 24 h y se resembraron en el medio BrucellaBUAP® bajo las condiciones anteriormente descritas. Posteriormente se les realizaron las pruebas (SAT), 2-β-mercaptoetanol (2BME), y Serion ELISA classic Brucella IgG/IgM/IgA. Estos se llevaron a cabo en el depósito y comparativamente con los controles positivos de cepas vacunales de *Brucella*, Rev-1 y M16 (Yagupsky, 1999 y Alton et al., 1988).

Test rosa de Bengala.- El antígeno (3.0 mL cada uno) se mezcló en una placa de vidrio esmerilada. La mezcla se agitó suavemente en un balancín durante 5 min. La aglutinación visible se consideró positiva (Alton et al., 1988; OIE, 2004). Sueros de control positivo

y negativo y Antígeno de rosa de Bengala.

Test de Rivanol. - El antígeno de Rivanol *Brucella* y la solución de Rivanol fueron obtenidos en el Laboratorio de Patología del CICM-BUAP. El ensayo se realizó mezclando 40 mL de muestra de suero con igual volumen de rivanol. La solución se agitó en un tubo de ensayo, luego se dejó reposar durante 5-60 minutos y finalmente se centrifugó durante 5 minutos a 1500 rpm. Se mezclaron 30 mL de antígeno de rivanol con 80 mL, 40 mL, 20 mL y 10 mL del sobrenadante respectivamente para obtener diluciones 1:25, 1:50, 1:100 y 1:200. Las placas se rotaron y se mantuvieron durante 6 min bajo cubierta para evitar la evaporación, 6 min después las placas, fueron rotadas de nuevo. La aglutinación completa a la 1:25, fue considerada positiva (Quinn et al., 1994). Finalmente, se realizó extracción y purificación de ADN genómico bacteriano, Kit comercial QIAamp Tissue kit (QiaGen Inc, Valencia, CA) siguiendo las recomendaciones de los fabricantes (QiaGen, 2009). Los pellets bacterianos fueron resuspendidos en la solución ATL, luego para provocar la lisis y digerir las proteínas se añadió 200 µg de Proteinasa K y la solución AL incubándose las muestras a 65°C-70°C por 1 h. Luego de añadir etanol absoluto (Merck, CAS No. 64-17-5, EC Number 200-578-6) se colocó las muestras en las columnas de purificación. Después de lavados de las columnas, se eluyó el ADN genómico en 100 µL de agua tridestilada. La integridad del ADN se confirmó en 1.5% de gel agarosa, mientras que la pureza y concentración se determinó y calculo mediante espectrofotómetro NanoDrop 2000, Thermo SCIENTIFICMR a 260 y 280 nm (Sambrook et al., 1989).

Análisis molecular

Se realizaron corridas de PCR con el ADN bacteriano (Genomic DNA purification Kit, Fermentas life Science) conforme al Manual de Laboratorio de Clonación Molecular y las instrucciones del fabricante (Sambrook et al., 2001), buscando la amplificación del gen *bp26/IS711* que es específico del género *Brucella* (Cloeckaert et al., 2000). El gen *bp26* codifica la proteína BP26 (Omp28) que es un antígeno inmunodominante en la infección de *Brucella* sp. en fauna silvestre y humanos.

Los oligonucleótidos utilizados fueron conforme a Cloeckaert, (2000): Oligo 1: 5'GCCCCTGACATAACCCGCTT3'y Oligo 2: 5'GAGCGTGACATTGCGGATA3'. Las cepas de referencia empleadas como controles positivos fueron B. S19 (carril 1), B. M16 (carril 2) y como control negativo se utilizó una cepa de referencia de *Escherichia coli* (carril 3), la muestra problema del estudio se situó en la (carril 4). Se utilizó un termociclador MultiGene Optimax con ciclos: (95 °C) 07', (95 °C) 35", (64 °C) 15", (72 °C) 03' Rep 35 ciclos, (07 °C) 06', (04 °C) indefinido. Los

productos de PCR se corrieron en un gel de agarosa al 1.3% (p/v) y se tiñeron con bromuro de etidio (0.5 µg/mL) 15". Se observaron las bandas de amplificación del gen *bp26* en un transiluminador de rayos UV marca Spectoline, las fotografías de los geles fueron tomadas con un equipo marca Kodak Edas.

RESULTADOS

Análisis Microbiológico y Primoaislamiento.— De las 75 muestras analizadas de *S. megalepidurus* para primoaislamiento de *Brucella*, se obtuvieron 40 resultados positivos solo de los ejemplares adultos (66%), con un radio de infección aproximado por sexo de 2:1 a favor de las hembras (25 hembras y 15 machos), estas se resembraron por triplicado, posteriormente se examinaron a las 48 horas y el (40%) del total (24 ejemplares, todas hembras) fueron positivas a las pruebas de diagnóstico de rutina para brucelosis: rosa de Bengala, tinción de Gram, Rivanol, SAT y 2ME (Tabla 1). Las muestras restantes de este estudio (15 ejemplares juveniles), resultaron negativos o indeterminados, con un bajo porcentaje en concentraciones de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) en rango de 1x10⁶ hasta 1x10¹⁰.

Actividad metabólica.— CO₂ independiente. No produjo H₂S, Mostró crecimiento positivo en presencia de fucsina básica y de tionina, positivo para safranina e hidrolizó de manera normal la urea.

Detección por PCR.— Se obtuvo la ampliación del gen *bp26* con longitud de 1029 pb (carril M, marcador molecular) de las muestras problema del ADN bacteriano purificado (carril 4) y se les comparó con los controles positivos B. M16 (carril 1), B. S19 (carril 2) y ADN de *E. coli* (carril 3) como control negativo (Fig. 3).

DISCUSIÓN

Las nuevas infecciones por *Brucella* se han documentado en todo el mundo en una amplia variedad de mamíferos silvestres (Godfroid, 2002; Eisenberg et al., 2017). Se han reportado también casos de brucelosis en mamíferos marinos (Foster et al., 2007), además de peces de agua dulce (Wael et al., 2010, Eisenberg et al., 2016, Ramos et al., 2020). En el periodo de 2012-2017 ya se consideraron algunas ranas como hospederas de éste género bacteriano (Eisenberg et al., 2012; Fischer et al., 2012; Whatmore et al., 2014; Mühldorfer et al., 2017). Hasta la fecha no se tenía el registro en el mundo de casos para los reptiles, aunque al extenderse el rango del genero *Brucella* hacia otros grupos taxonómicos diferentes a los mamíferos, se abría esa posibilidad (Moreno et al., 2002; Pappas, 2010; Eisenberg et al., 2012). Eisenberg et al., (2012) también reportan el crecimiento de sus aislados bacterianos para la rana toro, *Pyxicephalus edulis*, en placa de Petri Agar (Agar Gassner®, Oxoid, Alemania y Agar Brucella®, Merck, Alemania) en un ambiente atmosférico aeróbico con, o sin cristal violeta.

En contraste con esta investigación, los aislados bacterianos de *Brucella* sp. en placa de Petri Agar selectivo con (BRUCELLA-BUAP®) crecieron mejor en un ambiente con 5% de CO₂ y cristal violeta más antibióticos. Conforme a Alton et al., (1988), los resultados de Corbel (2006) y de Eisenberg et al., (2012) demuestran un comportamiento diferente de sus cepas de resiembra de *Brucella* sp. a las brucelas clásicas o tradicionales. Por su parte Shahzad et al., (2017) realizaron un estudio en varios taxones de Pakistán usando la prueba de rosa de Bengala (RB, n=117), donde incluyeron aves de corral (pavos, pavos reales, guineas, patos y paloma azul) y especies silvestres de anfibios y reptiles (serpiente ratonera oriental *Ptyas mucosus*, serpiente

Table 1. Comparative table of routine diagnostic biochemical tests for *Brucella* sp. vs MM isolated from adult organisms (male and female) of *S. megalepidurus*. The remaining samples of this study were negative (in juveniles) or indeterminate to these tests with a low percentage in concentrations of Colony Forming Units (CFU) from 1x10⁶ to 10¹⁰. Taken and modified from De Alton et al. (1988), Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Brucelosis (1986), Whatmore (2009), y Whatmore et al. (2014).

Tabla 1. Cuadro comparativo de las pruebas bioquímicas de diagnóstico de rutina para *Brucella* sp. vs aislado de MM de organismos adultos (machos y hembras) de *S. megalepidurus*. Las restantes muestras de este estudio resultaron negativas (en juveniles) o indeterminados a estas pruebas con un bajo porcentaje en concentraciones de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de 1x10⁶ hasta 10¹⁰. Tomado y modificado de De Alton et al. (1988), Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Brucelosis (1986), Whatmore (2009), y Whatmore et al. (2014).

Cepa de Referencia	Biotipo	Apariencia	Oxi	CO ₂	H ₂ S	Urea	Tionina	Safra	Fucsina
<i>B. melitensis</i> 16 M ATCC 23456 NCTC 10094	Biotipo 1	S	(+)	(-)	(-)	V	(+)	(+)	(+)
MM de <i>S. megalepidurus</i>		S	(+)	(-)	(-)	V (24h)(+)	(+)	(+)	(+)



Figure 2. Agarose gel results from PCR for the detection of *Brucella* genus, amplification of the bp26 gene with 1029 bp. Lane M, Molecular Weight DNA Marker, Lanes 1 and 2, *Brucella* S19, *Brucella* M16, Lane 3, *E. coli* DNA negative control, Line 4, sample sample, bacterial DNA derived from MM of adults *S. megalepidurus*.

Figura 2. Resultados en gel agarosa del PCR para la detección de género *Brucella*, amplificación del gen bp26 con 1029 pb. carril M, Marcador de ADN de peso molecular, Carriles 1 y 2, *Brucella* S19, *Brucella* M16, Carril 3, control negativo ADN de *E. coli*, Línea 4, muestra problema, ADN bacteriano derivado de MM de ejemplares adultos de *S. megalepidurus*.

lobo *Lycodon aulicus* y tortuga del barro de manchas amarillas, *Geoclemys hamiltoni*), en donde *Geoclemys hamiltoni* fue el único reptil seropositivo para anticuerpos de *Brucella*, ($n=31$; 32.3%). Cabe señalar que en dicho estudio no se hicieron pruebas confirmatorias, ni metabólicas, ni moleculares, sin embargo; el estudio es relevante ya que deducen la infección vertical o de interfaz entre los taxones, por el estiércol de animales de granja enfermos, conforme a lo reportado también por (Scholz et al., 2009; Aune et al., 2011; Cruz-Aviña et al., 2015; Cruz-Aviña et al., 2017) donde refieren que *Brucella* es capaz de sobrevivir ambientalmente por años, en materia fecal, suelo y agua natural.

Con respecto a la detección de anticuerpos, esto no es novedoso, anteriormente Maung (1963) ya había realizado experimentos *in vitro* con la tortuga griega, *Testudo graeca* ibera inoculándola con *B. abortus*, generando infección y por ende identificando anticuerpos. Posteriormente, Fiebig (1972) obtuvo resultados similares con la tortuga rusa, *Testudo horsfieldii*, por lo que se infería que el grupo de los testudines es un potencial hospedero de esta zoonosis. Del mismo modo, existen estudios que describen el aislamiento de *Brucella inopinata* y bacterias cocoides parecidas a *Brucella* móviles de ranas toro africanas, *Ptychocheilus edulis* y de la rana arbórea blanca, *Litoria caerulea*, respectivamente (Dominik et al., 2012; Eisenberg et al., 2012;

Whatmore et al., 2015).

Para este estudio, los resultados de las pruebas de rutina y metabólicas son cercanos a *Brucella melitensis* Var 1 (Corbel, 2016). Sin embargo; con fines prácticos, se limitó en este trabajo a reportarlo a nivel de género. Lo anterior concuerda con lo reportado por Castañeda-Roldán et al., (2005) para suelo y por Cruz-Aviña et al., (2015) para agua de los lagos cráter de esta zona. En contraparte, Castañeda-Roldán et al., (2005) demostraron contaminación en suelo en un área cercana a estos lagos cráter (Emilio Portes Gil, municipio de San Nicolás Buenos Aires), por lo que la infección por el sustrato es factible, ya que el suelo es reservorio de *Brucella* hasta por 80 días, adicionalmente otras especies de *Brucella* han sido aisladas del suelo y se han relacionado con procesos infecciosas en fauna silvestre (Pappas, 2010). En otro orden de ideas, con respecto a la afinidad sexual de *Brucella* por las hembras adultas resultado de este estudio, se debe señalar que existen reportes para hembras silvestres con radio 2:1, como el caso de la rana toro de Tanzania, los zorros rojos en Austria, y los armadillos de Argentina (Eisenberg et al., 2012; Hofer et al., 2012; Kin et al., 2014). Es de resaltar que, en organismos ungulados, también existe una mayor afinidad por las hembras, mismo caso que en humanos (Salem & Mohnsen, 1997; Pappas et al., 2006; Pappas, 2010).

Por otra parte, en correspondencia, los datos de la prueba de 2-ME que detecta las IgG1 y la IgG2 en mamíferos (en este caso su correspondiente ortólogo es IgY en reptiles), demuestran que estas inmunoglobulinas se encuentran *a posteriori* a la infección y pueden persistir durante un largo período de tiempo (Godfroid et al., 2011). Sin embargo, como lo refieren Jaffredo et al., (2006), la mayoría de los reptiles sintetizan dos clases de anticuerpos diferentes, uno de alto peso molecular que es el equivalente del IgM sérico y otro de bajo peso molecular llamado IgY que sería el caso de este trabajo. En contraste, Jacobson & Origgi (2002); Gambon-Deza et al., (2007); Jacobson, (2007); y Zhang et al., (2017), coinciden en que los ensayos serológicos, son una herramienta poderosa para diagnóstico de infecciones emergentes en reptiles, pero también reconocen, el gran vacío que existe en la información básica al respecto, por lo que estos datos son importantes como aporte al conocimiento del sistema inmunológico, en reptiles vivíparos de altura, que presupone relaciones evolutivas, de complemento o redundantes (Scholz et al., 2016). Por lo que se propone hacer más pruebas en un futuro, al respecto.

En la fase aguda de la infección del organismo, existe una excreción elevada de *Brucella* sp. en el medio ambiente que puede perdurar hasta 18 semanas (Bathke, 1981). Además, la transmisión

de la brucelosis en los animales rumiantes ocurre a través de la excreción de materiales contaminados del aparato genital femenino (placenta, mortinatos, fluidos, etc.), constituyendo la principal forma de transmisión infectiva a otros animales y al hombre en concentraciones incluso del orden de los UFC 1x10¹² (WHO, 1997; Godfroid et al., 2013). Desde luego no existe esta información en reptiles, pero es de importancia señalar que *S. megalepidurus* potencialmente podría tener un rol como reservorio de este género bacteriano, ya que las hembras son vivíparas y presentan una placenta rudimentaria (Godínez, 1985; Méndez de la Cruz y Manríquez, 2014; Scholz et al., 2016), y tanto las crías como la madre no presentan lesiones aparentes, por tanto, la afección por *Brucella* sp. en estas lagartijas sigue siendo incierta, por lo que los siguientes estudios estarán enfocados a conocer la patología. Las pruebas serológicas realizadas en el test de este estudio, demostraron una prevalencia importante de la infección en los ejemplares adultos estudiados de *S. megalepidurus* (40%). Mientras que los juveniles estudiados fueron negativos a las pruebas serológicas o la carga bacteriana es indeterminada, por tanto, es probable que los ejemplares adultos infectados adquirieron a esta bacteria en una edad posterior, o incrementaron su carga bacteriana tal vez después de su primer año de vida, debido a que las hembras positivas a las pruebas de *Brucella* sp. en algunos casos estaban preñadas lo que pudiera estar ligado a eventos de placentación como en otros grupos (Godfroid et al., 2013).

Existe un problema zoonótico importante en esta región, mismo que ha permeado a otros grupos taxonómicos (Cruz-Aviña et al., 2015; Cruz-Aviña et al., 2017), estos resultados aportan información novedosa, reconociéndose a los reptiles como una extensión del nicho ecológico del género *Brucella* como nuevos vectores, anfitriones u hospederos; sin embargo; aún no conocemos su papel ecológico (Scholz et al., 2016; Eisenberg et al., 2017). Hasta hace unas décadas se reconocía históricamente las diferencias entre especies de *Brucella* por el tropismo, la patogenicidad y la expresión fenotípica del huésped, hoy en día habrá que pensar en otros aspectos y nuevas posibilidades epidemiológicas.

Las fuentes contaminadas adquieren una gran importancia epidemiológica, debido a la gran resistencia ambiental del género *Brucella* (Moreno, 2002). Por su parte *B. melitensis* fue reportada en la zona para pastos, suelo, establos, medios de transporte y agua (Castañeda-Roldán et al., 2005; Tiller et al., 2010; Cruz-Aviña, 2013; Cruz-Aviña et al., 2015). Con base en lo anterior, es viable que el suelo como sustrato sea una fuente importante de contaminación para *S. megalepidurus* en esta zona en particular (Castañeda-Roldán et al., 2005; Scholz et al., 2009;

Scholz et al., 2016).

Por su parte, el diagnóstico de la detección de *Brucella* sp. por PCR como herramienta confirmatoria presenta muchas ventajas, por poseer mayor sensibilidad y mayor especificidad que otras pruebas. No obstante el aislamiento y resiembra del patógeno sigue siendo la prueba en el estudio de la brucelosis (Godfroid, 2002; Godfroid et al., 2005) y en el caso de la Organización Mundial para la Salud Animal (OIE) las pruebas de rosa de Bengala (RB) y aglutinación en Placa (SAT) son el estándar para la confirmación de *Brucella* en fauna silvestre (<http://www.oie.int>, 2017). Por su parte Eisenberg et al., (2012) en su trabajo en rana toro amplificaron el gen *bscp31* (IS711) comparándolo con cepas de referencia de *B. abortus*, *B. melitensis*, *B. ovis* y *B. suis* respectivamente. En contraste para este estudio, se utilizó PCR punto final, buscando la amplificación del gen *bp26*/ IS711 que es específico del género *Brucella* (Cloeckaert et al., 2000). El gen *bp26* codifica la proteína BP26 (Omp28) que es un antígeno inmunodominante en la infección de *Brucella* en fauna silvestre y humanos. De acuerdo con la secuencia de genes en el ARNr 16S, el género *Brucella* está categorizado como una proteobacteria (α -2) con relación filogenética con *Agrobacterium*, *Rickettsia*, *Rhizobium* y *Rhodobacteraceae* (Moreno et al., 2002). La clasificación de las especies de *Brucella* es controvertida porque los estudios de hibridación DNA-DNA han demostrado una alta homología (mayor a un 95%) entre los distintos tipos y especies de *Brucella*. Sin embargo; se tiende a utilizar la taxonomía clásica, considerando las especies y las biovariedades, cuyo eje clasificador es la afinidad por distintos huéspedes, aunque no existe una adaptación absoluta a los mismos (Ortega et al., 2013). A diferencia de lo que sucede con otras bacterias patógenas, la identificación de las distintas especies de *Brucella* no se logra mediante la secuenciación del ARNr 16S (Gee et al., 2004) ni con la amplificación de la región del ADN ribosómico situada entre el 16S y el 23S. (Ortega et al., 2013). Por lo que para este trabajo se optó por la región BP26 (Omp28).

Por otra parte, las cepas de referencia de *B. abortus* S19 y *B. melitensis* M16 son parte importante en los programas gubernamentales de control y erradicación de la brucelosis en el ganado en esta Región, por parte de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), de ahí la importancia de este estudio, además, recientemente se ha reportado su potencial efecto deletéreo en la fauna nativa, como contaminante ambiental en suelo (Almuneef et al., 2004; Castañeda-Roldán et al., 2005; Godfroid et al., 2011; Godfroid et al., 2013; Scholz et al., 2009; Papas, 2010) y agua natural (Cruz-Aviña et al., 2017). Actualmente no hay vacuna disponible para la vida silvestre, ni tampoco vacuna para la brucelosis humana

(Yang et al., 2013). La prevención de la infección ambiental por brucelosis vertical y horizontal depende del control de la enfermedad en el ganado y animales de granja en lo general (WHO, 1997; Azpiri et al., 2000; Pappas et al., 2006). Nuevas especies de *Brucella* pueden emerger y coexistir con las especies tradicionales debido a su capacidad de adaptación a cambios sociales, culturales, viajes y prácticas agropecuarias; es decir a cambios medio-ambientales (Godfroid, 2002; Godfroid et al., 2005; Pappas et al., 2006; Pappas, 2010).

CONCLUSIONES

Se aisló y determinó la presencia de *Brucella* sp. en muestras de tejido por métodos microbiológicos y moleculares, derivado de *Sceloporus megalepidurus* (lagartija corredora de vientre blanco), Puebla, México, con una incidencia del (53%) del primoaislamiento y (40%) de las pruebas confirmatorias y por PCR, en 75 muestras para este estudio. Este es el primer reporte de aislamiento de *Brucella* sp. en un lacertilio nativo de México. Existe un problema zoonótico importante en esta Región, mismo que ha permeado a otros grupos taxonómicos, estos resultados aportan información novedosa, reconociéndose a los lacertilios como una extensión del nicho ecológico del género *Brucella* como nuevos vectores, anfitriones u hospederos.

La brucelosis es una enfermedad zoonótica que tiene importancia socioeconómica, veterinaria, ecológica en muchas áreas del mundo. Su presencia en especies no target u objetivo es una indicación de su diversificación y de la gama de potenciales hospederos. Esta es también una condición alarmante en un país, donde no hay control o erradicación de brucelosis silvestre. Además, la presencia de brucelosis en reptiles, no solo aumentan el riesgo potencial de dicha enfermedad para el ganado, si, no también para los seres humanos.

Agradecimientos.— Agradecemos al CONACYT por el apoyo financiero de la beca de Posdoctorado del primer autor. Agradecemos la colaboración de las siguientes instituciones: UJAT, CICART, Laboratorio de Acuicultura Tropical, UAM-Iztapalapa, Departamento de Hidrobiología, PEXPA, FES-I UNAM Laboratorio de Limnología Tropical, Dr. Miroslav Macek, y Dr. Jorge Ciro-Pérez; Colección Nacional de Anfibios y Reptiles (CNAR) IBUNAM, Dr. Victor Hugo Reynoso-Rosales y Adriana J. X. González-Hernández; SS Puebla, Departamento de Zoonosis, MVZ Juan Manuel Balderas, habitantes de San Luis Atexcac y San Juan La Muralla, Municipio Guadalupe Victoria, Puebla (Doña Lety, Don Juan, Don Lupe y Don Pedro), Permiso de colecta SEMARNAT 08578/12.

LITERATURA CITADA

- Alcocer, J.D., F.O.A. Escolero, S.L.E. Martín. 2004. Problemática del agua de la Cuenca de Oriental, estados de Puebla, Veracruz y Tlaxcala. Pp. 57-77. En: Jiménez, B. & L.E. Marín (Eds.), El Agua en México Vista desde la Academia. Academia Mexicana de Ciencias, D.F, México.
- Al Dahouk, S., S. Köhler, A. Occhialini, M.P. Jiménez de Bagüés, J.A. Hammerl, T. Eisenberg & H.C. Scholz. 2017. *Brucella* spp. of amphibians comprise genomically diverse motile strains competent for replication in macrophages and survival in mammalian hosts. Scientific Reports 7:44420-44437.
- Almada, A., B. Goetsch, J.S. Mainero, M. Tambutti, M., O. Sánchez & R. Medellín. 2007. Método de evaluación del Riesgo de Extinción de las Especies Silvestres en México (MER). INE. México.
- Alford, R.A., P.M. Dixon & J. Pechmann. 2001. Ecology: Global amphibian population declines. Nature 412-499.
- Ali, S., S. Saleem, M. Imran, M. Rizwan, K. Iqbal, G. Qadir & I. Khan. 2018. Detection of *Brucella* antibodies in selected wild animals and avian species in Pakistan. Indian Journal of Animal Research B 799:1-4.
- Almuneef, M.A., Z.A. Memish, H.H. Balkhy, B. Alotaibi, S. Algoda, M. Abbas & S. Alsubaie. 2004. Importance of screening household members of acute brucellosis cases in endemic areas. Epidemiology and Infection 132:533-540.
- Alton, G.G., M. Jones, C. García-Carrillo & D.M.V.A. Trenchi. 1972. *Brucella melitensis* Rev-1 and *Brucella abortus* Vaccines in Goats: Immunity. American Journal of the Veterinary Research 33:1747-1756.
- Alton, G.G., L.M. Jones & D. Pietz. 1976. Técnicas de laboratorio en la brucelosis. Organización Mundial de la Salud, O.M.S., Génova, Italia.
- Alton, G.G., L.M. Jones, R.D. Angus & J.M. Verger. 1988. Techniques for the brucellosis laboratory. INRA, Institut National de la Recherche Agronomique I.N.R.A., Paris, France.
- Arredondo-Figueroa, J.L. 2002. Los Axalapascos de la Cuenca Oriental, Puebla Pp.81-106. En: De la Lanza, G. & J.L. García

- (Eds.), Lagos y presas de México. AGT., México.
- Aune, K., J.C. Rhyen, R. Russell, T.J. Roffe & B. Corso. 2011. Environmental persistence of *Brucella abortus* in the Greater Yellowstone Area. *The Journal of Wildlife Management* 76:253-261.
- Azpíri, S.G., F. Galindo & G. Ceballos. 2000. La importancia del estudio de las enfermedades en la conservación de fauna silvestre. *Veterinaria México* 31:223-230.
- Bathke, W. 1981. Brucelosis. Enfermedades infecciosas de los animales domésticos. Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- Bilal, N., J. Ghazi, A.B. Raymond, F.M. Olfat & M. Nariman. 1991. Brucellosis in Asia region of Saudi Arabia. *Saudi Medical Journal* 12:37-41.
- Bulman, G.M. & J. Lamberti. 2011. Parásitos y enfermedades parasitarias emergentes y reemergentes: Calentamiento global, cambio climático, transmisión y migración de especies evaluación de la participación del hombre. *Veterinaria Argentina* 28:1-15.
- Camarillo-Rangel, J.L. 1998. Observaciones preliminares sobre los anfibios y reptiles de los lagos cráter, Puebla-Veracruz. *Anales del Instituto de Biología UNAM, serie zoología* 69:125-127.
- Caron, A., S. Morand & M. De Garine-Wichatitsky. 2011. Epidemiological interaction at the wildlife/livestock/human interface: can we anticipate emerging infectious diseases in their hotspots? A framework for understanding emerging diseases processes in their hot spots. Pp. 311-332. En: Morand, S., F. Beaudreau & J. Cabaret (Eds.), *New frontiers of molecular epidemiology of infectious diseases*. Springer, Berlin, Germany.
- Castañeda-Roldán, E.I., S. Ouahrani-Bettache, Z. Saldaña, F. Avelino, M.A. Rendon, J. Dornand & J.A. Giron. 2006. Characterization of SP41, a surface protein of *Brucella* associated with adherence and invasion of host epithelial cells. *Cellular Microbiology* 8:1877-1887.
- Castañeda-Roldán, E.I., F.F. Avelino, A. Espinosa & E. Chávez. 2005. Determinación de *Brucella melitensis* en una red, agua residual, agua de lluvia, suelo de una comunidad de alta morbilidad en el estado de Puebla. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología* 25:4-15.
- Cabello, C.C. & C.F. Cabello. 2008. Zoonosis con reservorios silvestres: Amenazas a la salud pública y a la economía. *Revista Médica de Chile* 136:385-393.
- Can-Chulim, Á., H.M. Ortega-Escobar, N.E. García-Calderón, A.L. Reyes-Ortigoza, V.A. González-Hernández & D. Flores-Román. 2011. Origen y calidad del agua subterránea en la Cuenca Oriental de México. *Terra Latinoamericana* 29:189-200.
- Ceballos, G. & B.P. Ortega. 2011. La sexta extinción: la pérdida de especies y poblaciones en el Neotrópico. Pp. 95-108. En: J., Simonetti & R. Dirzo (Eds.), *Conservación Biológica Perspectivas de Latinoamérica*, Editorial Universitaria. Chile.
- Cleaveland, S., M.K. Laurenson & L.H. Taylor. 2001. Diseases of humans and their domestic mammals: pathogen characteristics, host range and the risk of emergence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 356:991-999.
- Cloekaert, A., N. Bernardet, M.S. Koylass, A.M. Whatmore & M.S. Zygmunt. 2011. Novel IS711 Chromosomal Location Useful for Identification of Marine Mammal *Brucella* Genotype ST27, Which Is Associated with Zoonotic Infection. *Journal of Clinical Microbiology* 49:3954-3959.
- Cotruvo, J.A., A. Dufour, G. Rees, J. Bartram, R. Carr, D.O. Cliver & V.P.J. Gannon. 2004. *Waterborne Zoonoses*. Published on behalf of the World Health Organization by IWA Publishing, London, UK.
- Corbel, M.J. 2006. Brucellosis in humans and animals. World Health Organization in collaboration with the Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Organization for Animal Health, WHO, Switzerland.
- Corbel, M.J. 2016. Brucelosis en humanos y animales. Organización Mundial de la Salud, en colaboración con la Organización de las Naciones y la Organización en Salud Animal, Editorial de la OMS, Ginebra, Suiza.
- Corbel, M.J. & W.J. Brinley-Morgan. 1984. Genus *Brucella*. Pp. 377-388. En: N.R. Krieg & J.G. Holt (Eds.), *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, vol. 1. Williams and Wilkins, Baltimore, USA.
- Cruz Aviña J. R., Álvarez-González, C. A., Peña, E., Castañeda Roldán E. I. (2020). Aislamiento de *Brucella melitensis* en el charal del Lago Cráter La Preciosa *Poblana letholepis* (Atheriniformes: Atherinopsidae) en el Centro de México. *Hidrobiológica*, 29: 419-427.

- Cruz-Aviña, J.R., Castañeda-Roldán. E.I., S.E. Silva-Gómez. 2017. La problemática ambiental de la Región de los Axalapascos de Puebla: erosión, pobreza, enfermedades emergentes, biodiversidad y etnocultura. Pp. 129-150. En: Rodríguez, H.A.L. (Eds.), El Desarrollo Sustentable, Plaza y Valdés, México.
- Cruz-Aviña, J.R., Silva-Gómez, S.E., Torres-Ramírez, E. & E.I. Castañeda-Roldán. 2017. Transmisión vertical de brucelosis (ganado-humano-vida silvestre) en dos comunidades endémicas de Puebla, México. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias BUAP* 8:11-25.
- Cruz-Aviña, J.R., Castañeda-Roldán, E. I. & M. Macek. 2015. *Brucella* spp. como contaminante potencial en el agua de los Axalapascos de Puebla. Pp. 89-97. En: Alcocer, J. Merino-Ibarra, M & E. Escobar-Briones (Eds.), Tendencias de Investigación en Limnología Tropical, Perspectivas Universitarias en Latinoamérica, CONACYT. México.
- Cruz-Aviña, J.R. 2013. Factores fisicoquímicos que influyen en la sobrevivencia de *Brucella* spp. en sistemas acuáticos en un área del Eje Neovolcánico en Puebla, México. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Ciencias Microbiológicas, ICUAP, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México.
- Daszak, P. 2000. Emerging Infectious Diseases of Wildlife-Threats to Biodiversity and Human Health. *Science* 28:443-449.
- Dobson, A. & J. Foufopoulos. 2001. Emerging infectious pathogens of wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 356:1001-1012.
- Dolensek, E.P. 1971. Necropsy techniques in reptiles. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 159:1616-1617.
- Eisenberg, T., K. Riße, N. Schauerte, C. Geiger, J. Blom & H.C. Scholz. 2016. Isolation of a novel "atypical" *Brucella* strain from a bluespotted ribbontail ray (*Taeniura lymma*). *Antonie van Leeuwenhoek* 110:221-234.
- Eisenberg, T., H.P. Hamann, U. Kaim, K. Schlez, H. Seeger, N. Schauerte & M. Zschöck 2012. Isolation of Potentially Novel *Brucella* spp. from Frogs. *Applied and Environmental Microbiology* 78:3753-3755.
- El-Tras, W.F., A.A.Tayel, M.M Eltholth & J. Guitian. 2010. Brucella infection in fresh water fish: Evidence for natural infection of Nile catfish, *Clarias gariepinus*, with *Brucella melitensis*. *Veterinary Microbiology* 141:321-325.
- Falenski, A., A. Mayer-Scholl, M. Filter, C. Göllner B. Appel & K., Nöckler. 2011. Survival of *Brucella* spp. in mineral water, milk and yogurt. *International Journal of Food Microbiology* 145:326-330.
- Ficht, T. 2010. *Brucella*, Taxonomy and evolution. *Future Microbiology* 5:859-866.
- Fiebig, H. 1972. Vergleichende untersuchung der affinität von antihapten antikörpern von vertretern verschiedener wirbeltierklassen. Dissertation, Karl-Marx Universität, Leipzig, Germany.
- Fischer, D., N. Lorenz, W. Heuser, P. Kämpfer, H.C. Scholz & M. Lierz. 2012. Abscesses associated with a *Brucella inopinata*-like bacterium in a big-eyed tree frog (*Leptopelis vermiculatus*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 43:625-628.
- Foster, G., B.S. Osterman, J. Godfroid, I. Jacques & A. Cloeckaert. 2007. *Brucella ceti* sp. nov. and *Brucella pinnipedialis* sp. nov. for *Brucella* strains with cetaceans and seals as their preferred hosts. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 57: 2688-2693.
- Foster, G., A.M. Whatmore, M.P. Dagleish, J.L. Baily, R. Deaville, N.J. Davison & A.C. Brownlow. 2015. Isolation of *Brucella ceti* from a Long-finned Pilot Whale (*Globicephala melas*) and a Sowerby's Beaked Whale (*Mesoploden bidens*). *Journal of Wildlife Diseases* 51:868-871.
- Franco, M.P., M. Mulder, R.H. Gilman & H.L. Smits. 2007. Human brucellosis. *The Lancet Infectious Diseases* 7:775-786.
- Gambon-Deza, F., C.S. Espinel & J. Beneitez. 2007. A novel IgA-like immunoglobulin in the reptile *Eublepharis macularius*. *Developmental & Comparative Immunology* 31:596-605.
- García-Juárez, G., J.E. Ramírez-Bribiesca, M. Hernández-Vázquez, L.M. Hernández-Calva, E. Díaz-Aparicio & H. Orozco-Bolaños. 2014. Análisis de riesgos de la brucelosis en el estado de Tlaxcala. *Salud Pública de México* 56:355-362.
- García-Yoldi, D. 2006. Multiplex PCR Assay for the Identification and Differentiation of all *Brucella* Species and the Vaccine Strains *Brucella abortus* S19 and RB51 and *Brucella melitensis* Rev1. *Clinical Chemistry* 52:779-781.

- Gee, J.E., De, B.K., P.N. Levett, A.M. Whitney, R.T. Novak & T. Popovic. 2004. Use of 16S rRNA gene sequencing for rapid confirmatory identification of *Brucella* isolates. *Journal of Clinical Microbiology* 42:3649-3654.
- Gelev, I. & E. Gelev. 1988. A new species of fish-pathogenic bacterium antigenically related to classical brucellae. *Zentralblatt Für Bakteriologie, Mikrobiologie Und Hygiene. Series A: Medical Microbiology, Infectious Diseases, Virology, Parasitology* 269:1-6.
- Godfroid, J., B.B. Garin, C. Saegerman & J.M. Blasco. 2013. Brucellosis in terrestrial wildlife. *Revue Scientifique et Technique International Office des Epizootics* 3:27-42.
- Godfroid, J., H.C. Scholz, T. Barbier, C. Nicolas, P. Wattiau, D. Fretin & J.J. Letesson. 2011. Brucellosis at the animal ecosystem human interface at the beginning of the 21st century. *Preventive Veterinary Medicine* 102:118-131.
- Godfroid, J., K. Nielsen & C. Saegerman 2010. Diagnosis of Brucellosis in Livestock and Wildlife. *Croatian Medical Journal* 51:296-305.
- Godfroid, J. 2002. Brucellosis in wildlife. *Revue Scientifique et Technique Office International des Epizooties* 21:277-286.
- Godínez-Cano, E. 1985. Ciclo reproductivo de *Sceloporus megalepidurus megalepidurus*, Smith (Reptilia:Sauria: Iguanidae), en la parte oriental de Tlaxcala, México. Tesis de Licenciatura, FESI, Universidad Autónoma de México, Tlalnepantla, Estado de México, México.
- Gorby, G.L. & J.E. Peacock. 1988. *Erysipelothrix rhusiopathiae* Endocarditis: Microbiologic, Epidemiologic, and Clinical Features of an Occupational Disease. *Clinical Infectious Diseases* 10:317-325.
- Gummow, B. 2010. Challenges posed by new and re-emerging infectious diseases in livestock production, wildlife and humans. *Livestock Science* 130: 41-46.
- Guzmán, C. & C. Campos. 2004. Indicadores de contaminación fecal en biosólidos aplicados en agricultura. *Universitas Scientiarum* 9:59-67.
- Heatwole, H. 2013. Worldwide decline and extinction of amphibians. Pp. 259-278. En: Rohde, K. (Eds.), *The balance of nature and human impact*. Cambridge University Press. U.K.
- Heyer, W.R., M.A. Donnelly, R.W. Mediarnid, L.C. Hayek & M.S. Foster. 1994. *Measuring and Monitoring Biological Diversity: Standard Methods for Amphibians*. Smithsonian Institution Press. Washington, USA.
- Hernández, M.G., A. Palacios, J.D. Alfaro & B.R. González. 2013. Wildlife reservoirs of brucellosis: *Brucella* in aquatic environments. *Revue Scientifique et Technique International Office of Epizootics* 32:89-103.
- Herrera, D.M., M.A. Abeledo, M.R. Chessani, J.J. Ruíz, E.R. Romero, E.R., J.V. Maza & J.L. Martínez. J.L. 2001. Prevalencia de brucelosis caprina y su relación con la humana en Tenex-tepec, Municipio de Perote, Veracruz, México. *Revista de Salud Animal* 23:160-165.
- Ho, M.H., C.K. Ho & L.Y. Chong. 2006. Atypical mycobacterial cutaneous infections in Hong Kong: 10-year retrospective study. *Hong Kong Medical Journal* 10:12-21.
- Hofer, E., F.S. Revilla, S. Al Dahouk, J.M. Riehm, K. Nöckler, M.S. Zygmunt & H. C. Scholz. 2012. A potential novel *Brucella* species isolated from mandibular lymph nodes of red foxes in Austria. *Veterinary Microbiology* 155:93-99.
- Houlahan, J.E., C.S. Findlay, B.R., Schmidt, A.H., Meyer & S.L. Kuzmin. 2000. Quantitative evidence for global amphibian population declines. *Nature* 404:752-755.
- IUCN, 2019. The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2019-2. <https://www.iucnredlist.org> [Consultado en noviembre 2019].
- Invitrogen. 2005. *The Molecular Probes Handbook*. EUA.
- Jacobson, E.R. 2007. *Infectious diseases and pathology of reptiles: color atlas and text*. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA.
- Jacobson, E.R. & F. Origi. 2002. Use of serology in reptile medicine. In *Seminars in avian and exotic pet medicine*. WB Saunders 11:33-45.
- Jaffredo, T., J.S. Fellah, & D. Dunon. 2006. Immunology of birds and reptiles. *eLS* 2001:1-11
- Jennings, G.J., R.A. Hajjeh, F.Y. Girgis, M.A. Fadeel, M.A. Maksoud, M.O. Wasfy, & F.J. Mahoney. 2007. Brucellosis as a cause of acute febrile illness in Egypt. *Transactions of the Royal Society of*

- Tropical Medicine and Hygiene 101:707-713.
- Jones, K.E., N.G. Patel, M.A. Levy, A. Storeygard, D. Balk, J.L. Gittleman & P. Daszak. 2008. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature* 451:990-993.
- Kang, S.I., M. Her, J.W. Kim, J.Y. Kim, K.Y. Ko, Y.M. Ha & S.C. Jung. 2011. Advanced multiplex PCR assay for differentiation of *Brucella* species. *Applied and Environmental Microbiology* 77:6726-6728.
- Kiel, F.W. & M.Y. Khan. 1993. Brucellosis among Hospital Employees in Saudi Arabia. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 14:268-272.
- Kin, M.S., M. Fort, S.T. De Echaide & E.B. Casanave. 2014. *Brucella* suis in armadillos (*Chaetophractus villosus*) from La Pampa, Argentina. *Veterinary Microbiology* 170:442-445.
- Laperche, S. 2011. Definition of emerging infectious diseases. *ISBT, Science Series* 6:112-115.
- López-Goñi, I., D. García-Yoldi, C.M. Marín, M.J. De Miguel, C.E. Barquero, V.C. Guzmán, & B.B. Garin. 2011. New Bruce-ladder multiplex PCR assay for the biovar typing of *Brucella suis* and the discrimination of *Brucella suis* and *Brucella canis*. *Veterinary Microbiology* 154:152-155.
- Martínez, S.A. & A. Ramis. 2012. Macroscopic pathological anatomy in reptile's pathology of reptiles. *Canis et Felis, España*.
- Maung, H.T. 1963. Immunity in the tortoise, *Testudo ibera*. *Journal of Pathology and Bacteriology* 85:51-66.
- Méndez de la Cruz, F.R. & N.L. Manríquez. 2014. Male Reproductive Cycles in Lizards. Pp. 302-339. En: J.L. Rheubert, D.S. Siegel, S.E. Trauth. (Eds.), *Reproductive Biology and Phylogeny of Lizards and Tuatara*, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Moreno, E., A. Cloeckart & I. Moriyón. 2002. *Brucella* evolution and taxonomy. *Veterinary Microbiology* 90:209-227.
- Mühldorfer, K., G. Wibbelt, C.A. Szentiks, D. Fischer, H.C. Scholz, M. Zschöck & T. Eisenberg. 2016. The role of "atypical" *Brucella* in amphibians: are we facing novel emerging pathogens? *Journal of Applied Microbiology* 122:40-53.
- Namiduru, M., K. Gungor, O. Dikensoy, I. Baydar, E. Ekinici, I. Karaoglan & N.A. Bekir. 2003. Epidemiological, clinical and laboratory features of brucellosis: a prospective evaluation of 120 adult patients. *International Journal Clinical Practice* 57:20-24.
- O'Callaghan, D. & A.M. Whatmore. 2011. *Brucella* genomics as we enter the multi-genome era. *Briefings in Functional Genomics* 10:334-341.
- OIE, World Organization for Animal Health. 2004. Bovine brucellosis. En: *Manual of the Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals*, Office International Des Epizooties, Paris, France.
- Origgi, F.C. 2007. Reptile immunology. Pp.145-180. En: Jacobson, E. (Eds.), *Infectious diseases and Pathology of Reptiles*. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA.
- Osterman, B. & I. Moriyón. 2006. International Committee on Systematics of Prokaryotes; Subcommittee on the taxonomy of *Brucella*: Minutes of the meeting, 17 September 2003, Pamplona, Spain. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 56: 1173-1175.
- Palumbo, S.A., F. Maxino, A.C. Williams, R.L. Bun & D.W. Thayer. 1985. Starch-ampicillin agar for the quantitative detection of *Aeromonas hydrophila*. *Applied and Environmental Microbiology* 3:1027-1030.
- Pappas, G. 2010. The changing *Brucella* ecology: novel reservoirs, new threats. *International Journal of Antimicrobial Agents* 36:S8-S11.
- Pappas, G., P. Papadimitriou, N. Akritidis, L. Christou & E.V. Tsianos. 2006. The new global map of human brucellosis. *The Lancet Infectious Diseases* 6:91-99.
- Pechmann, J.H.K. & H.M. Wilbur. 1994. Putting declining amphibian populations in perspective: natural fluctuations and human impacts. *Herpetologica* 50:65-84
- Pláceres, 1921. (reprint). Brucelosis, diagnóstico diferencial, pruebas de laboratorio, En: Ruiz, C. (Eds.), *Métodos de identificación, complicaciones, terapéutica y descripción clínica*. 1986. Universidad Nacional Autónoma de México, D.F. México.
- QiaGen Inc. QIAamp DNA Mini Kit and QIAamp DNA blood Mini Kit Handbook; Dic 2009
- Quinn, P.J., B.K. Markey & G.R. Carter. 1994. *Clinical Veterinary Microbiology*. Wiley, New Jersey, USA.

- Ramos-Ramírez, L. D.C., Saldaña-Ahuactzi, Z., Morales-Lara, L., Martínez-Laguna, Y., & Castañeda-Roldán, E. I. (2020). Aislamiento e Identificación de dos Especies de *Brucella* de un Lago Volcánico en México. *Microbiología actual* 77: 3565-3572.
- Salem, S.F. & A. Mohsen.1997. Brucellosis in fish. *Veterinarni medicina (Praha)* 42:5-7.
- Sambrook, J. & D.W. Russell. 2001. *Molecular Cloning: a Laboratory Manual*, Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, NY, USA.
- Scholz, H.C., K. Muhldorfer, C. Shilto, S. Benedict, A. Whatmore, J. Blom & T. Eisenberg. 2016. The Change of a Medically Important Genus: Worldwide Occurrence of Genetically Diverse Novel *Brucella* Species in Exotic Frogs. *PLoS ONE* 12:1-11.
- Scholz, H.C., K. Nockler, C. Gollner, P. Bahn, G. Vergnaud, H. Tomaso & B.K. De. 2009. *Brucella inopinata* sp. nov., isolated from a breast implant infection. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 60:801-808.
- Scholz, H.C., S. Al Dahouk, H. Tomaso, H. Neubauer, A. Witte & M. Schlöter. 2008. Genetic diversity and phylogenetic relationships of bacteria belonging to the *Ochrobactrum-Brucella* group by recA and 16S rRNA gene-based comparative sequence analysis. *Systematic and Applied Microbiology* 31:1-16.
- Smith, H.M. 1934. Descriptions of new lizards of the genus *Sceloporus* from Mexico and Southern United States. *Transactions of the Kansas Academy of Science* 37:263-285.
- Tiller, R.V., J.E. Gee, M.A. Frace, T.K. Taylor, J.C. Setubal, A.R. Hoffmaster & B.K. De. (2010). Characterization of novel *Brucella* strains originating from wild native rodent species in North Queensland, Australia. *Applied Environmental Microbiology* 76:5837-5845.
- Valenzuela-Sánchez, A. & G. Medina-Vogel. 2014. Importancia de las enfermedades infecciosas para la conservación de la fauna silvestre amenazada de Chile. *Gayana (Concepción)* 78:57-69.
- Whatmore, A.M., K.K. Gopaul, M. Koylass, A. Lawrie, J. Muchowski, E. Dale & M. Jones. 2015. Isolation of *Brucella* from a White's tree frog (*Litoria caerulea*). *Journal of Medical Microbiology Case Reports* 2:1-5.
- Whatmore, A.M., N. Davison, A. Cloeckert, S. Al Dahouk, M.S. Zygmunt, S.D. Brew & N.E. Schlabritz-Loutsevitch. 2014. *Brucella papionis* sp. nov., isolated from baboons (*Papio* spp.). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 64:4120-4128.
- Whatmore, A.M. 2009. Current understanding of the genetic diversity of *Brucella*, an expanding genus of zoonotic pathogens. *Infection, Genetics and Evolution* 9:1168-1184.
- Woolhouse, M.E.J., & S. Gowtage-Sequeria. 2005. Host Range and Emerging and Reemerging Pathogens. *Emerging Infectious Diseases* 11:1842-1847.
- WHO, World Health Organization, 1997. The development of new/ improved brucellosis vaccines. WHO/EMC/ZD1/98.14
- Yagupsky, P. 1999. Detection of *Brucellae* in blood cultures. *Journal of Clinical Microbiology* 37:3437-3442.
- Young, B.E., K.R. Lips, J.K. Reaser, R. Ibáñez, A.W. Salas, J.R. Cedeño, L.A. Coloma, S. Ron, E. La Marca, J.R. Meyer, A. Muñoz, F. Bolaños, G. Chaves & D. Romo. 2001. Population declines and priorities for amphibian conservation in Latin America. *Conservation Biology* 15:1213-1223.
- Zhang, X., R.A. Calvert, B.J. Sutton, & K.A. Doré. 2017. IgY: a key isotype in antibody evolution. *Biological Reviews* 92:2144-2156



ANURANS FROM IGUAZÚ NATIONAL PARK AND BUFFER AREA (ARGENTINA): REVIEW OF SPECIES LIST AND ECOLOGICAL NOTES ON THE LEAF-LITTER ASSEMBLAGES

ANUROS DEL PARQUE NACIONAL IGUAZÚ Y SU ÁREA DE AMORTIGUACIÓN: REVISION DE LA LISTA DE ESPECIES Y NOTAS SOBRE SUS ENSAMBLES TERRESTRES

CARLOS ARIEL LÓPEZ^{1*} & MICHEL VARAJÃO GAREY²

¹Instituto Nacional de Medicina Tropical (INMeT) - ANLIS, Ministerio de Salud y Desarrollo Social de la Nación, Calle Ámbar y Almafuerte s/n, Puerto Iguazú, Misiones, Argentina.

²Laboratório de Ecologia de Metacomunidades (LEMet), Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.

*Correspondence: lopez_arielc@yahoo.com.ar

Received: 2020-06-15. Accepted: 2021-03-10.

Resumen.— En este aporte actualizamos la lista de especies de anfibios del Parque Nacional Iguazú y su área de amortiguamiento, en el noreste de Argentina, y evaluamos de manera complementaria la distribución temporal de los anuros terrestres que habitan en el parque. Muestreamos mensualmente ocho cuerpos de agua, y ocho trampas con cercas de deriva entre abril de 2013 y febrero de 2016. Complementamos nuestros datos con datos publicados e inéditos sobre los anuros. Registramos 27 especies en nuestras muestras, en las que tres especies son nuevos registros para el Parque Nacional Iguazú y la zona de amortiguamiento: *Oloolygon aromothyella*, *Melanophryniscus devincenzii* y *Lithobates catesbeianus*. Registramos diez especies en el conjunto de anuros de hojarasca, siendo *Physalaemus cuvieri* y *Leptodactylus elenae* las especies más frecuentes, que representan el 63% de los individuos atrapados. A pesar de los cambios mensuales, la riqueza no varió estacionalmente, sin embargo, en los meses con las temperaturas más altas, encontramos una mayor riqueza de especies posiblemente relacionada a eventos estocásticos asociados a variables estacionales. Nuestros resultados confirman la importancia de la conservación del Parque Nacional Iguazú y de la provincia de mayor biodiversidad, Misiones, que alberga más del 50% de las especies de anuros de Argentina.

Palabras clave.— Anfibios, clima, temperatura, variación temporal.

Abstract.— In this contribution we update the amphibian species list from Iguazú National Park and the buffer area, Misiones Province in northeastern Argentina, and we evaluate the temporal distribution of leaf-litter anurans that inhabit the park. We sampled monthly eight water bodies and eight pitfall traps with drift-fences between April 2013 and February 2016. We supplement our data with published and unpublished data. We recorded 27 species in our samples, of which, three species are new records for Iguazú National Park and the buffer area: *Oloolygon aromothyella*, *Melanophryniscus devincenzii* and *Lithobates catesbeianus*. We recorded ten species in the leaf-litter anuran assemblage, *Physalaemus cuvieri* and *Leptodactylus elenae* being the most frequent species, representing 63% of the individuals trapped. Despite monthly climate changes, richness did not vary seasonally; however, we found a higher species richness in months with the most elevated temperatures possibly related to stochastic events interacting with seasonal variables. Our results confirm the conservation importance of Iguazú National Park and the most biodiverse province, Misiones, which houses more than 50% of the anuran species of Argentina.

Keywords.— Amphibians, climate, temperature, temporal variation.

INTRODUCTION

Ecological communities are dynamic in space and time (Leibold & Chase, 2018). In anuran assemblages, this dynamism is associated with the high species diversity and variety of life histories (Wells, 2007). Biotic and abiotic factors influence spatial and temporal variations in communities. In general, anuran assemblages change over time due to climatic conditions (e.g. Ryan et al., 2014; Ryan et al., 2015). Temporal variation seems to be most influenced by temperature, and precipitation (Hartel et al., 2007; Garey & Silva, 2010; Bolzan et al., 2019), but also by pressure from interspecific interactions (e.g. Toft, 1985) and environmental changes (Bonecker et al., 2013). However, this information is based mainly on samples in water bodies used by anurans for reproduction, and data on leaf-litter anuran assemblages are more scarce (e.g., Rocha et al., 2013), with a precedent for northeastern Argentina (region that we sampled in the present study) in the work of Gangenova et al. (2018), where they compared anuran assemblages from pine plantations with those of the native forest, but they did not assess the community's temporal variation.

The knowledge of species richness and composition of assemblages, their species' relative abundances, and the factors that drive assemblage structure in a natural protected area, constitute the first steps necessary to accomplish conservation goals (Scott, 2001; D'Amen et al., 2017), especially if the group shows conservation problems worldwide, as in amphibians (McCallum, 2007; Scheele et al., 2019). Recently declared the National Capital of Biodiversity, the province of Misiones is the most biodiverse in Argentina (Placci & Di Bitetti, 2006). The Iguazú National Park (INP) in the north of Misiones Province protects Argentina's sector of Interior Atlantic Rain Forest or Paranaense Forest (Oyarzabal et al., 2018), a relictual landscape and a world hotspot of biodiversity (Myers et al., 2000; Holtz & Placci, 2003; Mettermeier et al., 2004). Despite being one of the most studied protected area in Argentina, the information about the amphibian community and its populations in the INP is fragmented and outdated. Montanelli & Acosta (1991) provided the first inventory of the herpetofauna of the INP. Based on that document and unpublished technical reports —Bosso & Céspedes, 1995; Gangenova & Guzman, 2011; Apepú, 2013—, INP's latest Management Plan (SIB, 2017) recognizes 24 species of anurans inhabiting the INP.

Due to the extreme importance of the Iguazú National Park region for the conservation of the biodiversity, including amphibians, and the existing unconsolidated data on the anuran fauna, we now provide an update of the amphibian species list

from INP and the surrounding buffer area. In addition, we report the patterns of temporal variation in species richness, and composition of leaf-litter anuran assemblages in the INP.

MATERIALS AND METHODS

Study Site

The Iguazú National Park (25.690758° S; 54.477886° W) is known worldwide for Iguazú Falls, which is one of the main tourist centers of the country. Associated with the Iguazú River, on the border with Brazil, the INP protects 67 620 hectares of Atlantic Rain Forest, which is currently reduced to approximately 13% of its original extension and is the largest remaining forest of that landscape (Ribeiro et al., 2009). The INP is under the influence of a warm and humid subtropical climate, with an average annual rainfall of 2000 mm, without a dry season. However, there is usually more rain in spring and late autumn. The average annual relative air humidity is 78.6%. INP is located in the southwestern foothills of the Brazilian basaltic shield, and its relief is undulating with heights between 200-350m asl. The streams' hydric regimes are quite variable, depending on rainfall. The average annual temperature is 20.7 °C, with an average maximum of 31.8° C and an average minimum of 10.7 °C. The basalt exposed to temperature and humidity results in the characteristic red soil -*altisols*- of this region (SIB, 2017; Oyarzabal et al., 2018). The INP has the most diverse flora of Argentina with high structural complexity (Srur et al., 2009).

We sampled the anurans of the INP and in northwest and east regions of the buffer area. Cabure-í (25.679786° S; 54.141343° W) is a town in the eastern part of the INP buffer area. There the local community develops agricultural activities. In the northwest buffer area - known as "600 Hectareas" (25.615479° S; 54.555806° W) - the activity is mainly tourism.

For species surveys, not including leaf-litter assemblage surveys, we sampled the following sites within the INP: 1) La Cantera (25.689045° S; 54.475219° W), located at the entrance to the INP, is an old quarry, there is a rocky depression of 100 x 170 meters, sparsely vegetated, with floodable sectors. 2) The disturbed edges of the access route (DER) are vegetation strips between two and four meters wide, parallel to the access route, about five kilometers long. 3) The Old Airport (OA) (25.767543° S; 54.452244° W) an area of approximately four hectares; the environment floods, with abundant grasses and isolated trees. 4) The Apepú Detachment (Apepú) is located in the core area of the reserve. In the vicinity is an oval lagoon (25.566335° S; 54.295951° W) 80 x 140 meters, approximately 1.5 meters deep in the center, wholly covered with emerging grasses, with a variable regime.

Inventory and monitoring

We applied different methods to obtain a more complete inventory of anurans, including primary and secondary data collection. For primary data, we use the visual encounter survey during night and day (Crump & Scott, 1994), the acoustic survey of breeding sites (Scott & Woodward, 1994), and passive sampling, specifically for the study of leaf-litter assemblies, using eight pitfalls traps with drift-fences (Corn, 1994). These traps were numbered from one to eight. We sampled eight environments associated with water bodies (pitfall traps numbered 1, 3, 5 and 8 - as part of the study of the leaf-litter community-, La Cantera, Apepú, Old Airport and INP roadsides). In these, eight sites sampling effort was between 1 to 9 hours/researcher per site. Servicing pitfall traps 1, 3, 5 and 8 required 5 hours/researcher, and sampling the La Cantera, Old Airport and INP roadsides 8 to 27 hours/researcher of total effort. In Apepú sampling effort was 59 hours/researcher at the site.

To sample leaf-litter anuran assemblages, we used eight pitfall traps with drift-fences (PT) (Table 1), each one with four buried plastic 80-liter buckets joined together by plastic net drift fences $5\frac{1}{2}$ meters long and $\frac{1}{2}$ meter tall (drift-fences) in a Y-shaped design (Corn, 1994), or a linear design where vegetation did not allow the Y-design. Despite the difference in shape of the pitfall traps due to local conditions, we assume that each trap, in Y-shaped or linear design, has the same capture probability. During the sampling period, the pitfall traps were checked daily in the morning or afternoon, totaling 504 days/trap or 12 096 buckets/night between November 2013 and April 2015. PT were distributed in different landscape units of INP according to the surface drainage (fast drainage or flood-prone units), presence of a water body (lentic, lotic, or none) and vegetation type (native or exotic).

We used only visual encounter surveys in buffer areas. The samplings were carried out during the day and night. In the "600 Hectares" site, 13 daily and 12 nocturnal searches were made, which represented 52 hours/sampling. We sampled two water bodies, (i) a lagoon (25.603518° S; 54.548575° W), (ii) a flooded area in a low jungle environment (25.600175° S; 54.550586° W). In the western region, Cabure-í (25.680780° S; 54.556854° W), we spent eight days and six nights of fieldwork totaling 48 hours/ researcher searching for anurans in six family-owned production facilities (25.70608° S; 54.1415° W - 25.69912° S; 54.14017° W - 25.67773° S; 54.155513° W - 25.67729° S; 54.15141° W - 25.69129° S; 54.15282° W and 25.85747° S; 54.9754° W). Outside of the protected area, there is an abrupt change in the landscape, with the soil mainly dedicated to agriculture and livestock, eliminating the native vegetation, and replacing it with pasture. In this area, we found small strips of native vegetation protecting the banks of countless streams, and there are artificial lagoons of various dimensions that serve as water reservoirs for human consumption and livestock, which we sampled in search of anurans.

For each anuran captured, we took three photographs - dorsal, lateral, and ventral views - for the comparison of designs, coloring, and gland distribution (Hagström, 1973; Doody, 1995; Pereira & Maneyro, 2016). After data collection, the individuals were released no less than 10 meters from the pitfall trap. Since the collection of individuals was not allowed, the determination of the species trapped was made in the field or in the laboratory by analyzing the photographs of the individuals and the bibliography (keys, original descriptions, field guides). Weather data was provided by the National Weather Service (<https://www.smn.gob.ar/>). We obtained three climatic variables: monthly mean temperature, precipitation and air moisture.

Tabla 1. Principales variables y posición de las trampas de caída utilizadas para el estudio de los ensambles de anuros de hojarasca en el Parque Nacional Iguazú.

Table 1. Main variables and position of the pitfall-traps used for the study of leaf-litter assemblages in the Iguazú National Park.

Variable	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	PT8
Drainage	low	high	low	high	low	high	high	low
Vegetation	native	native	native	native	native	exotic	native	exotic
Water body	lentic	none	lentic	none	lentic	lotic	none	lentic
Latitude	25° 40.6'	25° 40.4'	25° 40.4'	25° 39.2'	25° 39.4'	25° 41.4'	25° 40.9'	25° 41.1'
Longitude	54° 26.9'	54° 26.9'	54° 26.9'	54° 27.6'	54° 27.6'	54° 27.5'	54° 27.7'	54° 28.2'

We obtained secondary data by searching for published articles using Google Scholar platform applying the terms "Iguazú National Park", "Amphibians" and "anurans" in both Spanish and English. Also, we search for technical reports of National Parks Administration staff to consolidate an amphibian species list from INP.

Statistical processing

To assess sampling efficiency of the leaf-litter anurans survey, we used sample-based rarefaction curves by randomizing the samples 1,000 times (Gotelli & Colwell, 2001) using Past 3.0 software (Hammer et al., 2001). We applied Circular Statistical analysis to assess whether there was seasonality in leaf-litter anuran capture using software Oriana 2.02 (Kovach, 2004). To evaluate which climate variables (i.e. mean temperature, precipitation and air moisture) explain the temporal variation of anuran richness, we used Generalized Linear Models (GLM) analysis using quasi-Poisson distribution due to data overdispersion. We standardize climate variables using the Z-score transformation. These analyzes were implemented in the R software (R Development Core Team, 2019).

RESULTS

Anuran species list.— We recorded 32 species of anurans based on primary and secondary data from the INP and surrounding buffer areas. The anurans belonged to 14 genera, in seven families: Hylidae (six genera, 15 species), Leptodactylidae (two genera, eight species), Bufonidae (two genera, four species), Odontophrynidae (two genera, two species), and Alsodidae, Centrolenidae and Ranidae with one species each (Table 2, Figs. 1 and 2). We recorded 27 species from our sampling efforts, including three species that had not been found before in this area. The secondary data provided five species that we did not record.

Leaf-litter anuran assemblage. In the eight PT we recorded 373 individuals from ten species, only two recaptures. According to the rarefaction curve, we found that the sampling was representative of the leaf-litter anuran assemblage (Fig. 3). The most frequent species were *Physalaemus cuvieri* Fitzinger, 1826 ($n=128$, 34% of the individuals) and *Leptodactylus elenae* Heyer, 1978 ($n=111$, 29% of the individuals) represented 63% of the sampling the other abundant species recorded were *Rhinella ornata* (Spix, 1824) ($n=54$), *Leptodactylus mystacinus* (Burmeister, 1861) ($n=28$), *Proceratophrys avelinoi* Mercadal de Barrio and Barrio, 1993 ($n=22$) and *Elachistocleis bicolor* (Guérin-Méneville, 1838) ($n=19$). *P. cuvieri*, *L. elenae*, *P. avelinoi* and *L. mystacinus* were recorded in most of the PT, with records in 90% of the PT for

the first two species and 60% of the PT for the last two. The PT captured between 20-80% of the total leaf litter species recorded in the study, species trapped ranges from PT1 (eight species, $n=81$) to PT7 (two species, $n=5$) (Table 2).

Although the highest species richness was recorded in the hottest and wettest period, the temporal variation did not show a well-marked seasonal pattern (Rayleigh Test $Z=0.585$; $P=0.56$); September was the month with the highest number of registered species (six species), while May was the month with the lower number of recorded species (1 species) (Fig. 4). Moreover, the absence of seasonality, temporal variation in species richness was marginally positively associated with temperature, in months with a higher temperature, higher species richness was recorded (Table 3, Fig. 5).

DISCUSSION

The current number of 32 anuran species of Iguazú National Park and surrounding buffer area is remarkable and represents approximately 52% of the species of anurans from Misiones Province, and 18% of the anurans from Argentina (Vaira et al., 2012; Cardoso & Pereyra, 2018; Baldo et al., 2019). Research in other protected areas of Misiones reported 15 species of anurans 8 km apart from INP (López & Kubisch, 2008), 21 species 110 km apart from INP (López & Nazer, 2009), 20 species 45 km apart from INP (Lescano et al., 2013) and recently Gangenova et al., (2018) reported 18 species in the native forest of the INP and the Urugua-í Provincial Park –adjacent to INP. Our results confirm the importance of the INP in the conservation of the anurans.

Our species list resolved some differences among previous anurans species list of INP (Montanelli & Acosta (1991) and unpublished technical reports). Our results added two native species to the INP (*Ololygon aromothyella* and *Melanophryniscus devincenzi*); besides, we verified the presence of 16 species in the surrounding buffer area, one of which is an exotic invasive: *Lithobates catesbeianus* (Lowe et al., 2000; Daszak et al., 2003). *Ololygon aromothyella* is distributed, according to the original description, only in the center of the province of Misiones, in two localities in Uruguay, two localities in Brazil, and it is probably present in Paraguay (Frost, 2020). Our record is the northernmost for the *O. aromothyella* in Argentina. One of the authors (CAL) obtained records of the species in the margins of National Route 19 (25, 856274° S; 54, 167898° W) within the Urugua-í Provincial Park (unpublished data). *O. aromothyella* has been categorized as Not Threatened for Argentina (Vaira et al., 2012), while at the global level, it is classified as Data Deficient (Stuart, 2006). *Melanophryniscus devincenzii* is distributed in

Tabla 2. Especies de anfibios registrados en las trampas de caída (PT) y en la revisión de la literatura en el Parque Nacional Iguazú. Fuentes: a= Montanelli & Acosta, 1991, b= Bosso & Céspedes, 1994, c= Gangenova & Guzmán, 2011, d= Apepú, 2013, e= López & Grassi, 2019, D= bordes perturbados de las vías de acceso, O= antiguo aeropuerto, A= Apepú, Ct= Cantera, *= área de amortiguamiento, X= fuera de las trampas de caída.

Table 2. Amphibian species registered in the Iguazú National Park in pitfall-traps (PT) and the literature review. Sources: a = Montanelli & Acosta, 1991, b= Bosso & Céspedes, 1994, c= Gangenova & Guzmán, 2011, d= Apepú, 2013, e= López & Grassi, 2019, D= disturbed edges of access roads, O= old airport, A= Apepú, Ct= Cantera, *= Buffer area, X= outside the pitfall-traps.

Species	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	PT8	Site	Reference
Bufonidae										
<i>Melanophryniscus devincenzii</i> Klappenbach, 1968						2			D, O	Present study
<i>Rhinella ornata</i> (Spix, 1824)	15	10	10	5	9	5				a, b, Present study
<i>Rhinella diptycha</i> (Cope, 1862)									A, D, O, *	a, b, d, Present study
<i>Rhinella icterica</i> (Spix, 1824)									*	Present study
Hylidae										
<i>Boana albopunctata</i> (Spix, 1824)									A, Ct	a, b, c, Present study
<i>Boana caingua</i> (Carrizo, 1991)									Ct	b, c, Present study
<i>Boana faber</i> (Wied-Neuwied, 1821)					x				Ct, *	a, b, c, Present study
<i>Boana raniceps</i> (Cope, 1862)									D, O, *	c, Present study
<i>Dendropsophus minutus</i> (Peters, 1872)					x				A, *	a, b, c, d, Present study
<i>Dendropsophus nanus</i> (Boulenger, 1889)					x				A, *	a, b, c, d, Present study
<i>Dendropsophus sanborni</i> (Schmidt, 1944)									D,O, *	c, Present study
<i>Itapotihyla langsdorffii</i> (Duméril and Bibron, 1841)	x		x						A, Ct, D, O	a, c, d, Present study
<i>Scinax fuscovarius</i> (Lutz, 1925)									A, D, O, *	a, b, c, Present study
<i>Scinax nasicus</i> (Cope, 1862)									*	c, Present study
<i>Scinax perereca</i> Pombal, Haddad, and Kasahara, 1995										c
<i>Scinax squalirostris</i> (Lutz, 1925)										a, b, c
<i>Ololygon aromothyella</i> (Faivovich, 2005)					x					Present study
<i>Ololygon berthae</i> (Barrio, 1962)									A	d
<i>Trachycephalus typhonius</i> (Linnaeus, 1758)						x			A	a, b, c, Present study
Microhylidae										
<i>Elachistocleis bicolor</i> (Guérin-Méneville, 1838)	11	2	2			1		3	*	b, c, Present study
Leptodactylidae										
<i>Leptodactylus elenae</i> Heyer, 1978	19	17	36	7	18	7	4	3	A, Ct	a, c, Present study
<i>Leptodactylus fuscus</i> (Schneider, 1799)									A, D, O, *	a, b, c, d, Present study
<i>Leptodactylus luctator</i> (Steffen, 1815)	1			3	1				A, *	a, b, c, Present study
<i>Leptodactylus podicipinus</i> (Cope, 1862)									A	a, Present study
<i>Leptodactylus mystacinus</i> (Burmeister, 1861)	2	4	9	2	7	3		1		a, b, c, Present study
<i>Physalaemus gracilis</i> (Boulenger, 1883)					1				*	a, Present study
<i>Physalaemus cuvieri</i> Fitzinger, 1826	28	27	38	6	7	13	1	8	A, Ct, *	a, b, c, d, Present study

Tabla 2 (cont.). Especies de anfibios registrados en las trampas de caída (PT) y en la revisión de la literatura en el Parque Nacional Iguazú. Fuentes: a= Montanelli & Acosta, 1991, b= Bosso & Céspedes, 1994, c= Gangenova & Guzmán, 2011, d= Apepú, 2013, e= López & Grassi, 2019, D= bordes perturbados de las vías de acceso, O= antiguo aeropuerto, A= Apepú, Ct= Cantera, *= área de amortiguamiento, X= fuera de las trampas de caída.

Table 2 (cont.). Amphibian species registered in the Iguazú National Park in pitfall-traps (PT) and the literature review. Sources: a = Montanelli & Acosta, 1991, b= Bosso & Céspedes, 1994, c= Gangenova & Guzmán, 2011, d= Apepú, 2013, e= López & Grassi, 2019, D= disturbed edges of access roads, O= old airport, A= Apepú, Ct= Cantera, *= Buffer area, X= outside the pitfall-traps.

Species	PT1	PT2	PT3	PT4	PT5	PT6	PT7	PT8	Site	Reference
Odontophrynidae										
<i>Odontophrynus americanus</i> (Duméril and Bibron, 1841)	2							1	*	a, b, Present study
<i>Proceratophrys avelinoi</i> Mercadal de Barrio and Barrio, 1993	3	2	3	1	1	10		2		a, c, Present study
Alsodidae										
<i>Limnomedusa macroglossa</i> (Duméril and Bibron, 1841)										b
Centrolenidae										
<i>Vitreorana uranoscopa</i> (Müller, 1924)										a
Ranidae										
<i>Lithobates catesbeianus</i> (Shaw, 1802)									*	e

the southern (AmphibiaWeb, 2020) and the central areas of Misiones (López & Nazer, 2009), and in Corrientes Province of Argentina, with a few records in southern Brazil, Paraguay, and Uruguay (Frost, 2020). Although at the country level it is categorized as Not Threatened, at the global level it is listed as Endangered (Stuart, 2006). Two species previously listed for INP are not included in our species list. The species *Scinax x-signatus* reported by Montanelli & Acosta (1991) is not included in the list of amphibians in the INP, as it does not inhabit the country (AmphibiaWeb, 2019; Vaira et al., 2012). *Dermatonotus muelleri* is not included either, as the species should not be present in the province of Misiones (Vaira et al., 2012), and there are no vouchers in the Center for Subtropical Ecological Research (CIES) collection. Individuals assigned to *Odontophrynus americanus* require future studies, given the recent description of *O. reigi* distributed in the study area (Rosset et al., 2021).

We recorded the presence of an exotic species, *Lithobates catesbeianus*, in the surrounding area of INP. *L. catesbeianus* has already been recorded in other areas in Argentina (see López & Grassi, 2019); nonetheless, this is the first record of the species near the INP. *L. catesbeianus* can cause a reduction in anuran biodiversity in the sites it colonizes (Silva et al., 2011; Leivas et al., 2013; Laufer & Gobel, 2017). Moreover, this species was associated with *Batrachochytrium dendrobatidis* transmission (Daszak et al., 2003), a disease often lethal to anurans. In addition to this complex situation, the invasion by *L. catesbeianus*

in the northeast of Misiones might be exacerbated by an invasive wave that comes from southern Brazil, which seems to have already occurred in different areas at the east of the province of Misiones (Both et al., 2011).

We observed the absence of a well-marked seasonality in anurans richness, although not seasonal, temporal changes in species richness was positively associated with temperature variation. The positive relationship between richness and temperature has already been observed in other anuran assemblages in different biomes (e.g. Conte & Rossa-Feres, 2006; Garey & Silva, 2010; Bolzan et al., 2019). Anurans are ectothermic (Wells, 2007), so it is expected that higher the temperature

Tabla 3. Resultado del Modelo Lineal Generalizado para las variaciones temporales de la diversidad específica de anuros del Parque Nacional Iguazú, Argentina.

Table 3. Results of Generalized Linear Model for temporal changes in anuran species richness in the Iguazú National Park, Argentina.

	Coefficient estimate	Std. Error	t value	P
Intercept	1.20	0.122	9.80	3.61e-08
Temperature	0.29	0.15	1.98	0.065
Precipitation	0.08	0.17	0.48	0.64
Air Moisture	-0.04	0.17	-0.23	0.82



Figura 1. Algunos anuros del Parque Nacional de Iguazú, Argentina. A) *Limnomedusa macroglossa*; B) *Melanophryniscus devincenzii*; C) *Rhinella dypticha*; D) *Rhinella icterica*; E) *Rhinella ornata*; F) *Scinax fuscovarius*; G) *Boana albopunctata*; H) *Boana caingua*; I) *Boana faber*; J) *Boana raniceps*; K) *Dendropsophus minutus*; L) *Dendropsophus nanus*; M) *Dendropsophus sanborni*; N) *Itapotihyla langsdorfii*; Ñ) *Ololygon aromothyella*. Fotos: CAL.

Figure 1. Some anurans from Iguazú National Park, Argentina. A) *Limnomedusa macroglossa*; B) *Melanophryniscus devincenzii*; C) *Rhinella dypticha*; D) *Rhinella icterica*; E) *Rhinella ornata*; F) *Scinax fuscovarius*; G) *Boana albopunctata*; H) *Boana caingua*; I) *Boana faber*; J) *Boana raniceps*; K) *Dendropsophus minutus*; L) *Dendropsophus nanus*; M) *Dendropsophus sanborni*; N) *Itapotihyla langsdorfii*; Ñ) *Ololygon aromothyella*. Photos: CAL.



Figura 2. Algunos anuros del Parque Nacional de Iguazú, Argentina. A) *Scinax nasicus*; B) *Trachycephalus typhonius*; C) *Leptodactylus elenae*; D) *Leptodactylus fuscus*; E) *Leptodactylus luctator*; F) *Leptodactylus mystacinus*; G) *Leptodactylus podicipinus*; H) *Physalaemus cuvieri*; I) *Physalaemus gracilis*; J) *Elachistocleis bicolor*; K) *Odontophrynus americanus*; L) *Procerophrys avelinai*. Fotos: CAL.

Figure 2. Some anurans from Iguazú National Park, Argentina. A) *Scinax nasicus*; B) *Trachycephalus typhonius*; C) *Leptodactylus elenae*; D) *Leptodactylus fuscus*; E) *Leptodactylus luctator*; F) *Leptodactylus mystacinus*; G) *Leptodactylus podicipinus*; H) *Physalaemus cuvieri*; I) *Physalaemus gracilis*; J) *Elachistocleis bicolor*; K) *Odontophrynus americanus*; L) *Procerophrys avelinai*. Photos: CAL.

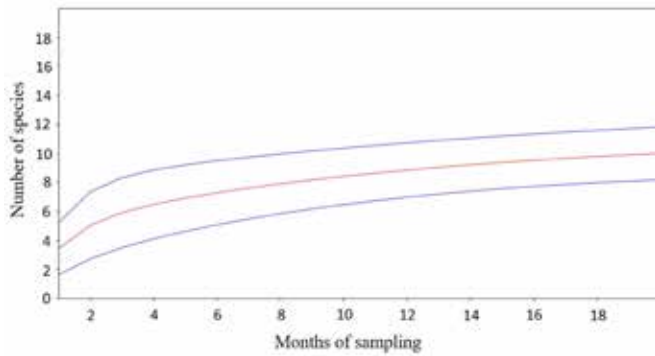


Figura 3. Curva de rarefacción de especies -línea roja- después de 1.000 muestreos aleatorios, los límites de los intervalos de confianza -línea azul- con un 95% de confianza para los anuros de hojarasca del Parque Nacional Iguazú, Argentina.

Figure 3. Rarefaction curve of species richness-red line- after 1,000 random samples, the limits of the confidence intervals -blue line- are shown with 95% confidence for the leaf-litter anurans at the Iguazú National Park, Argentina.

there is an increase in the anuran activity, resulting in a higher probability of capture, especially in areas with seasonal climate (e.g. northeastern Argentina). We verified that some months of the hot-wet season held the highest species richness. However, this variation indicates a random pattern due to the absence of seasonal variation in species richness between the two seasons, hot-wet and cold-dry. The absence of a seasonal pattern is due to unexpected anuran activity in the winter. It may be associated

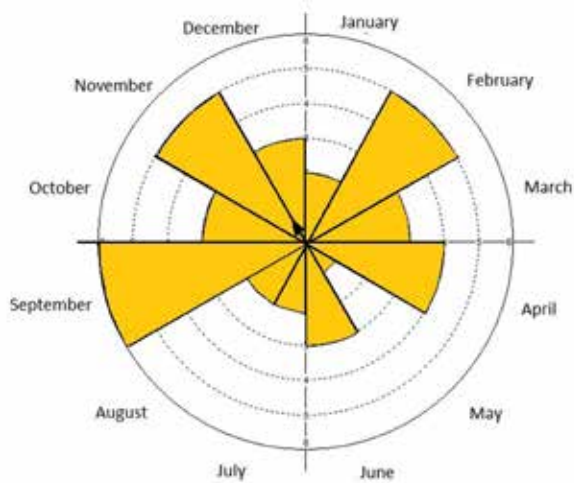


Figura 4. Diagrama circular que muestra la riqueza específica en el Parque Nacional Iguazú, Argentina. Las diferencias en la riqueza específica no es estadísticamente significativa ($P=0.56$).

Figure 4. Circular diagram showing the species richness in the Iguazú National Park, Argentina. Differences in specific richness is not statistically significant ($P=0.56$).

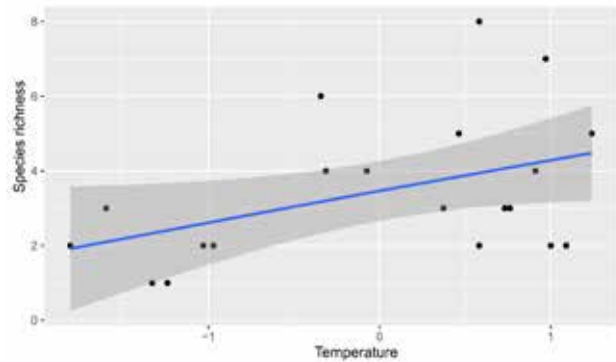


Figura 5. Respuesta temporal de la riqueza específica de anuros a la temperatura media (transforma por los valores-z) en el Parque Nacional Iguazú. El área gris representa al intervalo con 95% de confianza

Figure 5. Temporal response of anuran species richness to mean temperature (transformed by z-score) in the Iguazú National Park, Argentina. Dark grey area represent 95% confidence interval.

with the weather during sampling events, where days of winter temperatures close to summer highs were associated with increased anuran activity, although in the last 20 years the average annual temperature of the province of Misiones was higher than the normal climatological reference value (<https://www.smn.gob.ar/clima/anomalia>), constituting more of a climatological trend than a climatological event. We concluded that the activity of the INP anuran assemblages throughout the study period would be temperature driven. However, the response of the anuran assemblage could be related to a stochastic combination of climatic variables and by the strongly seasonal presence of certain resources and conditions (e.g. photoperiod).

CONCLUSIONS

Our anuran species list is crucial because it unifies information that was fragmented in several sources and is essential for the elaboration of management and conservation plans in protected areas and their vicinity. Furthermore, we encourage studies with anurans in the areas near to the park where additional species are expected and for monitoring *L. catesbeianus* population. Despite Misiones being home to the highest anuran species richness in Argentina (Lopez & Prado, 2012; Vaira et al., 2012), there are still many areas that have not been inventoried, and we believe that many species have not yet been recorded. Finally, the application of basic biosecurity protocols during field work is suggested.

Acknowledgements.— MVG received a research grant from CNPq (422537/2016-O) and UNILA (edital PRPPG 80/2019 and PRPPG 110/2018). CAL would like to thank the CIES staff and the park

rangers for their collaboration, INMeT for financial support, Quenia de los Santos for image edition and Norman Scott for comments and correction of the English version of the manuscript. Permission number 335/13 APN. We are grateful to ME Peichoto, holder of the research permit.

CITED LITERATURE

- AmphibiaWeb. 2020. <<http://amphibiaweb.org>> University of California, Berkeley, CA, USA. [Accessed 27 Feb 2020].
- Apepú, 2013. Campaña de Verano, Informe elaborado por Dirección Regional NEA, Administración de Parques Nacionales.
- Baldo D., K. Araujo-Vieira, D. Cardozo, C. Borteiro, F. Leal, M.O. Pereyra, F. Kolenc, M.L. Lyra, P.C.A. García, C.F.B. Haddad & J. Faivovich. 2019. A review of the elusive bicolored iris Snouted Treefrogs (Anura: Hylidae: *Scinax uruguayus* group). PLoS One 14:e0222131.
- Bonecker, C.C., N.R. Simões, C.V. Mente-Vera, F.A. Lansac-Tôha, L.F.M. Velho & A.A. Agostinho. 2013. Temporal changes in zooplankton species diversity in response to environmental changes in an alluvial valley. Limnologica 43:114-121.
- Bolzan, A.M.R., M.V. Garey, P.A. Hartmann & M.T. Hartmann. 2019. Too cold for dating: Temporal distribution of the calling activity of an austral anuran assemblage Herpetology Notes 12:961-968.
- Bosso, A. y J. Céspedes. 1995. Listas actualizadas de los anfibios de las Áreas Protegidas Nacionales del nordeste argentino (Provincias de Misiones, Corrientes y Chaco). XI Reunión de Comunicaciones Herpetológicas. San Miguel de Tucumán 11-13 October 1995.
- Both, C., R. Lingnau, A. Santos-Jr., B. Madalozzo, L. Pedrosa Lima & T. Grant. 2011. Widespread occurrence of the American Bullfrog, *Lithobates catesbeianus* (SHAW, 1802) (ANURA: RANIDAE), in Brazil. South American Journal of Herpetology 6:127-134.
- Cardoso, D.E. & M.O. Pereyra. 2018. A new species of *Physalaemus* (Anura, Leptodactylidae) for the Atlantic Forest of Misiones, northeastern Argentina. Zootaxa 4387:580-590.
- Conte, C.E. & D.D.C. Rossa-Feres. 2006. Diversidade e ocorrência temporal da anurofauna (Amphibia, Anura) em São José dos Pinhais, Paraná, Brasil. Revista Brasileira de Zoologia 23:162-175.
- Corn, P.S. 1994. Straight-line drift fences and pit fall traps. Pp. 108-117. In: W.R. Heyer, M.A. Donnelly, W. McDiarmid, L.C. Hayek & M.S. Foster. Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for amphibians. Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- Crump, M.L. & N.J. Scott. 1994. Visual encounter surveys. Pp. 84-92. In: W.R. Heyer, M.A. Donnelly, W. McDiarmid, L.C. Hayek & M.S. Foster. Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for amphibians. Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- D'Amen, M., C. Rahbek, N.E. Zimmermann & A. Guisan. 2017. Spatial predictions at the community level: from current approaches to future frameworks. Biological Reviews 92:169-187.
- Daszak, P., A.A. Cunningham & A.D. Hyatt. 2003. Infectious disease and amphibian population declines. Diversity and Distributions 9:141-150.
- Doody, J.S. 1995. A Photographic mark-recapture method for patterned amphibians. Herpetological Review 26:19-21.
- Frost, D.R. 2020. Amphibian Species of the World: An Online Reference. Version 6.0. Electronic Database accessible at <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html>. American Museum of Natural History, New York, USA. [Accessed Jun 2020].
- Gangenova E. y A. Guzmán. 2011. Informe de Avance Inventario de anfibios anuros del Parque Nacional Iguazú (Provincia de Misiones, Argentina) (Informe Técnico). Administración de Parques Nacionales.
- Gangenova, E., G.A. Zurita & F. Marangoni. 2018. Changes to anuran diversity following forest replacement by tree plantations in the southern Atlantic forest of Argentina. Forest Ecology and Management 424:529-535.
- Garey, M.V. & V.X. Da Silva. 2010. Spatial and temporal distribution of anurans in an agricultural landscape in the Atlantic Semi-deciduous Forest of southeastern Brazil. South American Journal of Herpetology 5:64-73.
- Gotelli, N.J. & R.K. Colwell. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. Ecology Letters 4:379-391.

- Hagström, T. 1973. Identification of newt species (Urodela, *Triturus*) by recording the belly pattern and a description of photographic equipment for such registration. *British Journal of Herpetology* 4:321-326.
- Hammer, Ø., D.A.T. Harper & P.D. Ryan. 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica* 4:9.
- Hartel, T., I. Sas, A. Pernetta & I.C. Geltsch. 2007. The reproductive dynamics of temperate amphibians: a review. *North-Western Journal of Zoology* 3:127-145.
- Holtz, S. & G. Placci. 2003. Socioeconomic roots of biodiversity loss in Misiones. Chapter 19. Pp 207-226. In: Galindo, C., C. Leal & I. Gusmão Câmara (Eds.). *The Atlantic Forest of South América: Biodiversity Status, Threats, and Outlook*. Island Press. Washington.
- Kovach, W.L. 2004. Oriana for Windows, version 2.02. Pentraeth, Wales, UK: Kovach Computer Services.
- Laufer, G. & N. Gobel. 2017. Habitat degradation and biological invasions as a cause of amphibian richness loss: a case report in Aceguá, Cerro Largo, Uruguay. *Phyllomedusa* 16:289-293.
- Leibold, M.A. & J.M. Chase. 2018. *Metapopulation Ecology*. Monographs in Population Biology, vol. 59. Princeton University Press.
- Leivas, P.T., M. Savaris, S. Lampert & E.M. Lucas. 2013. Predation of *Odontophrynus americanus* (Anura: Odontophrynidae) by the invasive species *Lithobates catesbeianus* (Anura: Ranidae) in an Araucaria Forest remnant in southern Brazil. *Herpetology Notes*, 6:603-606.
- Lescano, J.N., M.F. Bonino & M.S. Akmentis. 2013. Composición y riqueza de anfibios y sus relaciones con las características de los sitios de reproducción en un sector de la Selva Atlántica de Misiones, Argentina. *Cuadernos de Herpetología* 27:35-46.
- López, C.A. & E. Grassi. 2019. Presencia de poblaciones naturalizadas de rana toro (*Rana catesbeiana*) en la zona de amortiguamiento oriental del Parque Nacional Iguazú, Argentina. *Boletín de la Sociedad Zoológica del Uruguay* (2ª época) 28:87-91.
- López, C.A. & E. Kubisch. 2008. Relevamiento in situ de la herpetofauna del Refugio Privado de Vida Silvestre Yacutinga, Provincia de Misiones (Argentina). *APRONA Boletín Científico*, 40:1-12.
- López, C.A. & J. Nazer. 2009. Relevamiento in situ de la herpetofauna de la Reserva y Refugio Privado Yaguaroundí, provincia de Misiones, Argentina. *Boletín de la Sociedad Zoológica del Uruguay* (Segunda época) 18:12-34.
- López, C.A. & W. Prado. 2012. *Anfibios y reptiles de Misiones: guía de campo*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Independiente.
- Lowe, S., N. Browne, S. Boudpelas & M. Poorter. 2000. 100 of the world's worst invasive alien species. A selection from the Global Invasive Species Database. Published by the Invasive Species Group (ISSG) a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conservation Union (IUCN), 12 pp. First published as special liftout in *Aliens* 12 December 2000. Updated and reprinted version November 2004.
- McCallum, M.L. 2007 Amphibian decline or extinction? Current declines dwarf background extinction rate. *Journal of Herpetology* 41:483-491.
- Mettermeier, R.A., P. Robles Gil, M. Hoffman, J. Pilgrim, T. Brooks, C.G. Mittermeier, J. Lamoreux & Da Fonseca. 2004. *Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions*. CEMEX, Mexico City.
- Montanelli S.B. & S. Acosta. 1991. Lista preliminar de la herpetofauna del Parque Nacional Iguazú. *Boletín Asociación Herpetológica Argentina* 7:9-10.
- Myers, N., R.A. Mittermeier, C.G. Mittermeier, G.A.B. da Fonseca & J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853-858.
- Oyarzabal, M., J. Clavijo, L. Oakley, F. Biganzoli, P. Tognetti, I. Barberis, H.M. Maturo, R. Aragon, P.I. Campanello, D. Prado, M. Oesterheld & R.J.C. León. 2018. Unidades de vegetación de Argentina. *Ecología Austral* 28:40- 43.
- Pereira, G., R. Maneyro. 2016. Movement Patterns in a Uruguayan Population of *Melanophryniscus montevidensis* (Philippi, 1902) (Anura: Bufonidae) Using Photo-identification for individual recognition. *South American Journal of Herpetology* 11:119-126.
- Placci, G. & M. Di Bitetti. 2006. Situación ambiental en la Ecorregión del Bosque Atlántico del Alto Paraná (Selva Paranaense). Pp 197-209. In: A. Brown, U. Martinez Ortiz, M. Acerbi & J. Corcuera

- (Eds.). La Situación Ambiental Argentina 2005, Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires.
- R Core Team 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ribeiro, M.C., J.P. Metzger, A.C. Martensen, F.J. Ponzoni & M.M. Hirota. 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biology Conservation* 142:1141-1153.
- Rocha, C.D.F., D. Vrcibradic, M.C. Kiefer, M. Almeida-Gomes, V.N.T. Borges-Junior, V.A. Menezes, C.V. Ariani, J.A.L. Pontes, P. Goyannes-Araujo, R.V. Marra, D.M. Guedes, C.C. Siqueira & M. Van Sluys. 2013. The leaf-litter frog community from Reserva Rio das Pedras, Mangaratiba, Rio de Janeiro State, Southeastern Brazil: species richness, composition and densities. *North-Western Journal of Zoology* 9:151-156.
- Rosset, S.D., R.M. Fadel, C.S. Guimarães, P.S. Carvalho, K. Ceron, M. Pedrozo, R. Serejo, V.S. Souza, D. Baldo & S. Mângia. 2021. A New Burrowing Frog of the *Odontophrynus americanus* species Group (Anura, Odontophrynidae) from Subtropical Regions of Argentina, Brazil, and Paraguay *Ichthyology & Herpetology* 109:228244.
- Ryan, M.J., M.M. Fuller, N.J. Scott, J.A. Cook, S. Poe, B. Willink, G. Chaves & F. Bolaños. 2014. Individualistic population responses of five frog species in two changing tropical environments over time. *PLOS One* 9:e98351.
- Ryan, M.J., N.J. Scott, J.A. Cook, B. Willink, G. Chaves, F. Bolaños, A. García Rodríguez, I.M. Latella & S.E. Koerners. 2015. Too wet for frogs: changes in a tropical leaf litter community coincide with La Niña. *Ecosphere* 6:4.
- Scheele, B.C., F. Pasmans, L.F. Skerratt, L. Berger, A. Martel, W. Beukema, A.A. Acevedo, P.A. Burrowes, T. Carvalho, A. Catenazzi, I. De la Riva, M.C. Fisher, S.V. Flechas, C.N. Foster, P. Frías-Álvarez, T.W.J. Garner, B. Gratwicke, J.M. Guayasamin, M. Hirschfeld, J.E. Kolby, T.A. Kosch, E. La Marca, D.B. Lindenmayer, K.R. Lips, A.V. Longo, R. Maneyro, C.A. McDonald, J. Mendelson III, P. Palacios-Rodriguez, G. Parra-Olea, C.L. Richards-Zawacki, M.O. Rödel, S.M. Rovito, C. Soto-Azat, L.F. Toledo, J. Voyles, C. Weldon, S.M. Whitfield, M. Wilkinson, K.R. Zamudio & S. Canessa. 2019. Amphibian fungal panzootic causes catastrophic and ongoing loss of biodiversity. *Science* 363:1459-1463.
- Scott Jr., N.J. 2001. Inventario completo de especies. Pp. 71-135. In: Heyer, W.R., M.A. Donnelly, R.W. McDiarmid, L.A.C. Hayek and M.S. Foster (eds.). *Medición y monitoreo de la diversidad biológica — Métodos estandarizados para anfibios*. Smithsonian Institution Press, Editorial Universitaria de la Patagonia.
- Scott Jr., N.J. & B.D. Woodward. 1994. Surveys at breeding sites. Pp. 118-125. In W.R. Heyer, M.A. Donnelly, R.W. McDiarmid, L.A.C. Hayek and M.S. Foster (eds.). *Medición y monitoreo de la diversidad biológica — Métodos estandarizados para anfibios*. Smithsonian Institution Press, Editorial Universitaria de la Patagonia.
- SIB, 2017. Sistema de Información de Biodiversidad. Administración de Parques Nacionales. Download: https://sib.gob.ar/archivos/ANEXO_I_PGiguazú.pdf
- Silva, E.T., O.P. Ribeiro Filho & R.N. Feio. 2011. Predation of native anurans by invasive bullfrogs in southeastern Brazil: spatial variation and effect of microhabitat use by prey. *South American Journal of Herpetology* 6:1-10.
- Srur, M., F. Gatti, V. Benesovsky, J. Herrera, R. Melzew & M. Camposano. 2009. Los tipos de vegetación y ambientes del Parque Nacional Iguazú y su distribución en el paisaje. Pp 99-118. In: Carpinetti, B., M. Garciarena & M. Almirón (Eds.). 2009. *Parque Nacional Iguazú, Conservación y desarrollo de la Selva Paranaense de Argentina*. 1ª ed. Buenos Aires, Administración de Parques Nacionales.
- Stuart, S. 2006. *Scinax aromothyella*. The IUCN Red List of Threatened Species 2006:e.T61792A12547466. [Downloaded on 26 February 2020].
- Toft, C.A. 1985. Resource partitioning in amphibians and reptiles. *Copeia* 1985:121.
- Vaira, M., M. Akmentins, M. Attademo, D. Baldo, D. Barrasso, S. Barrionuevo, N. Basso, B. Blotto, S. Cairo, R. Cajade, J.V. Corbalán, P. Chilote, M. Duré, C. Falcione, D. Ferraro, F.R. Gutiérrez, M.R. Ingaramo, C. Junges, R. Lajmanovich, J.N. Lescano, F. Marangoni, L. Martinazzo, R. Marti, L. Moreno, G.S. Natale, J.M. Pérez Iglesias, P. Peltzer, L. Quiroga, S. Rosset, E. Sanabria, L. Sánchez, E. Schaefer, C. Úbeda & V. Zaracho. 2012.

Categorización del estado de conservación de los anfibios de la República Argentina. Cuadernos de Herpetología 26 (supl. 1):131-159.

Wells, K.D. 2007. The ecology and behavior of amphibians. The University of Chicago Press.



ANFIBIOS Y REPTILES EN PARQUES RECREATIVOS ECOLÓGICOS DE LA CIUDAD DE MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO

AMPHIBIANS AND REPTILES IN ECOLOGICAL RECREATIONAL PARKS IN THE CITY OF MÉRIDA, YUCATÁN, MEXICO

PEDRO E. NAHUAT-CERVERA^{1,2*}

¹Ekuneil Península de Yucatán. Calle 52, por 89 y 93, Colonia Centro. C.P. 97000. Mérida, Yucatán, México.

²Asociación Juvenil de Ciencia Yucatán. Calle 35-C x 60, Fraccionamiento Colonia Buenavista. Mérida, Yucatán. C.P. 97215, México.

*Correspondence: pedro.nahuat4@gmail.com

Received: 2020-09-08. Accepted: 2021-01-15.

Abstract.— Urbanization generates a wide variety of environmental impacts that are considered among the main causes of decline in amphibian and reptile populations; however, green areas located in and around cities cushion this impact and are considered refuges for biodiversity. In spite of this, in the Yucatan Peninsula, very few studies have been oriented to know the species that inhabit urban green areas, so the objective of this work was to characterize the richness of amphibians and reptiles in ecological recreational parks in the city of Mérida, Yucatán, Mexico. Occasional day and night visits were made in five parks within and around the city of Mérida, implementing visual encounter surveys for a limited time. To complete the species inventory, the iNaturalist platform was reviewed. The distribution and conservation status of the species were determined according to Mexican and international regulations, and the association between localities was evaluated based on the species' occurrence. During the field work, 37 species were recorded (10 amphibians and 27 reptiles). In addition, three more species were added through the iNaturalist platform. Seven species are endemic to the Yucatan Peninsula, and six are non-native to this region. Nine species are included in the NOM-059-SEMARNAT-2010 and three have a high environmental vulnerability score. It is important to consider green areas immersed in urban areas as habitats for amphibians and reptiles; however, it is also necessary to evaluate their effectiveness in the conservation of these species.

Keywords.— Endemic species, green areas, herpetofauna, non-native species, urban fauna.

Resumen.— La urbanización genera una gran variedad de impactos al medio ambiente, como la fragmentación y la pérdida del hábitat, que se consideran entre las principales causas de la disminución de las poblaciones de anfibios y reptiles; sin embargo, las áreas verdes ubicadas dentro y en los alrededores de las ciudades amortiguan este impacto y se consideran refugios para la biodiversidad. Pese a esto, en la Península de Yucatán no se han realizado muchos estudios orientados a conocer las especies que habitan las áreas verdes urbanas, por lo que el objetivo de este trabajo fue realizar un listado preliminar de los anfibios y reptiles en parques recreativos ecológicos de la ciudad de Mérida, Yucatán, México. Se realizaron visitas ocasionales diurnas y nocturnas en cinco parques dentro y en las periferias de la ciudad de Mérida, implementando la inspección por encuentros visual por tiempo limitado. Para completar el inventario de especies se revisó la plataforma iNaturalist. Se determinó su distribución y su estatus de conservación según la normatividad mexicana e internacional. Durante el trabajo de campo se registraron 37 especies (10 anfibios y 27 reptiles). Además, se agregaron tres especies más por medio de la plataforma iNaturalist. Siete especies son endémicas de la Península de Yucatán, y seis no son nativas de esta región. Nueve especies se encuentran en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y tres poseen un alto puntaje de vulnerabilidad ambiental. Es importante considerar a las áreas verdes inmersas en las áreas urbanas como hábitats para los anfibios y reptiles; sin embargo, también es necesario evaluar su efectividad en la conservación de estas especies.

Palabras clave.— Áreas verdes, especies endémicas, especies introducidas, fauna urbana, herpetofauna.

INTRODUCTION

Las urbes y asentamientos humanos son zonas que generan una fuerte presión antropogénica al medio ambiente debido a su densidad poblacional, la demanda de recursos naturales y la generación de desechos (Pérez-Medina & López-Falfán, 2015). Aunado a esto, las ciudades en las regiones tropicales están sufriendo un incontrolado proceso de desarrollo que origina la pérdida y fragmentación del hábitat, al convertir los sitios naturales en entornos urbanos (Barragán-Vázquez et al., 2010). Estas problemáticas están catalogadas entre las primeras causas de la disminución y extinción de las poblaciones de anfibios y reptiles, grupos que se consideran entre los vertebrados más amenazados a nivel mundial (Wake & Vredenburg 2008; Böhm et al., 2013).

Las áreas verdes inmersas en las zonas urbanas ayudan a amortiguar los impactos negativos y aportan una mejor calidad de vida a sus pobladores ya que, además de ser áreas donde se procura conservación de la vegetación y el entorno natural, también ofrecen servicios ecosistémicos y se consideran sitios de recreación (Pérez-Medina & López-Falfán, 2015). Estas áreas sirven como hábitat para la fauna silvestre, donde se pueden encontrar tanto especies poco tolerantes a la perturbación, como aquellas que son residentes permanentes de las zonas urbanas (Fischer et al., 2015). Estas áreas se consideran sitios de refugio para la herpetofauna de la región debido a la permanencia de elementos vegetales y fuentes de agua (Barragán-Vázquez et al., 2010; Magno-Benítez et al., 2016).

En México, la mayoría de los estudios enfocados en conocer la diversidad de los anfibios y reptiles se han realizado en sitios naturales con diferente grado de conservación y perturbación, mientras que en las zonas urbanas que se han erigido sobre sitios naturales y que aún conservan especies que han logrado sobrevivir a la urbanización, el número de estudios es menor (Gosá & Arias, 2009). El estado de Yucatán no es la excepción, ya que los pocos estudios enfocados en conocer la composición de las especies de anfibios y reptiles en esta región se han desarrollado en áreas naturales protegidas como reservas de la biósfera, reservas estatales o municipales y zonas de conservación de flora y fauna (Brito-Castillo, 1998; González-Martínez, 2006; Peña-Peniche, 2006; Callaghan & Pasos Enríquez, 2010), o en sitios con diferentes grados de perturbación (Escalante-Pasos, 2013; Nahuat-Cervera et al., 2020), sin considerar las especies que habitan en las ciudades o en zonas urbanas.

Los estudios sobre la fauna presente en las áreas verdes de la ciudad de Mérida, Yucatán, solo se ha enfocado en describir

la diversidad de aves (Adrián, 2016) y quirópteros (Chan, 2017; Uribe, 2017; Cruces, 2019). Por lo antes mencionado, el objetivo de este trabajo fue caracterizar la riqueza de especies de anfibios y reptiles en cinco parques recreativos ecológicos de la ciudad de Mérida, Yucatán, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La ciudad de Mérida se encuentra en el noroeste de Yucatán, México (20°58' N, 89°37' E) y cuenta con una elevación promedio de 12 msnm. Se seleccionaron cinco parques recreativos ecológicos dentro o a la periferia de la ciudad (Fig. 1), de los cuales, tres fueron antiguos sitios de extracción de material pétreo con profundas hondonadas (Acuaparque de Vergel, APV; Parque Arqueoecológico de Xoclán, PAX; Parque Ecológico del Poniente, PEP), uno fue basurero municipal que se restauró para ser una zona recreativa (Parte Kai Luum, PKL) y una propiedad privada, la cual fue donada para la realización de un área recreativa ecológica (Parque Ecológico Metropolitano del Sur "Yu'um tsil", PYS). Estas áreas verdes tienen una superficie de entre 8.2 y 52 hectáreas, y tienen valor ecológico ya que son austeros y tienen pocos elementos y equipo recreativos (Pérez-Medina & Fargher, 2016), además de tener extensas zonas arboladas con abundante vegetación (Tabla 1). El criterio de selección de estos parques para el estudio fue la presencia de un importante porcentaje de

Table 1. Description of the ecological recreational parks considered study area. Simbology: APV= Acuaparque de Vergel, PAX= Parque Arqueoecológico de Xoclán, PEP= Parque Ecológico del Poniente, PKL= Parque Kai Luum, PYS= Parque Metropolitano del Sur "Yu'um tsil".

Tabla 1. Descripción de los parques recreativos ecológicos considerados área de estudio. Simbología: APV= Acuaparque de Vergel, PAX= Parque Arqueoecológico de Xoclán, PEP= Parque Ecológico del Poniente, PKL= Parque Kai Luum, PYS= Parque Metropolitano del Sur "Yu'um tsil".

Parque	Ubicación	Áreas en hectárea	Porcentaje de zona arbolada
APV	20°56'52.5" N 89°34'40.2" O	8.2	40%
PAX	20°58'43.0" N 89°40'08.7" O	52	75%
PEP	20°58'35.0" N 89°39'25.5" O	14.2	60%
PKL	21°02'35.1" N 89°39'17.1" O	15.4	40%
PYS	20°53'48.3" N 89°39'34.4" O	11.25	85%

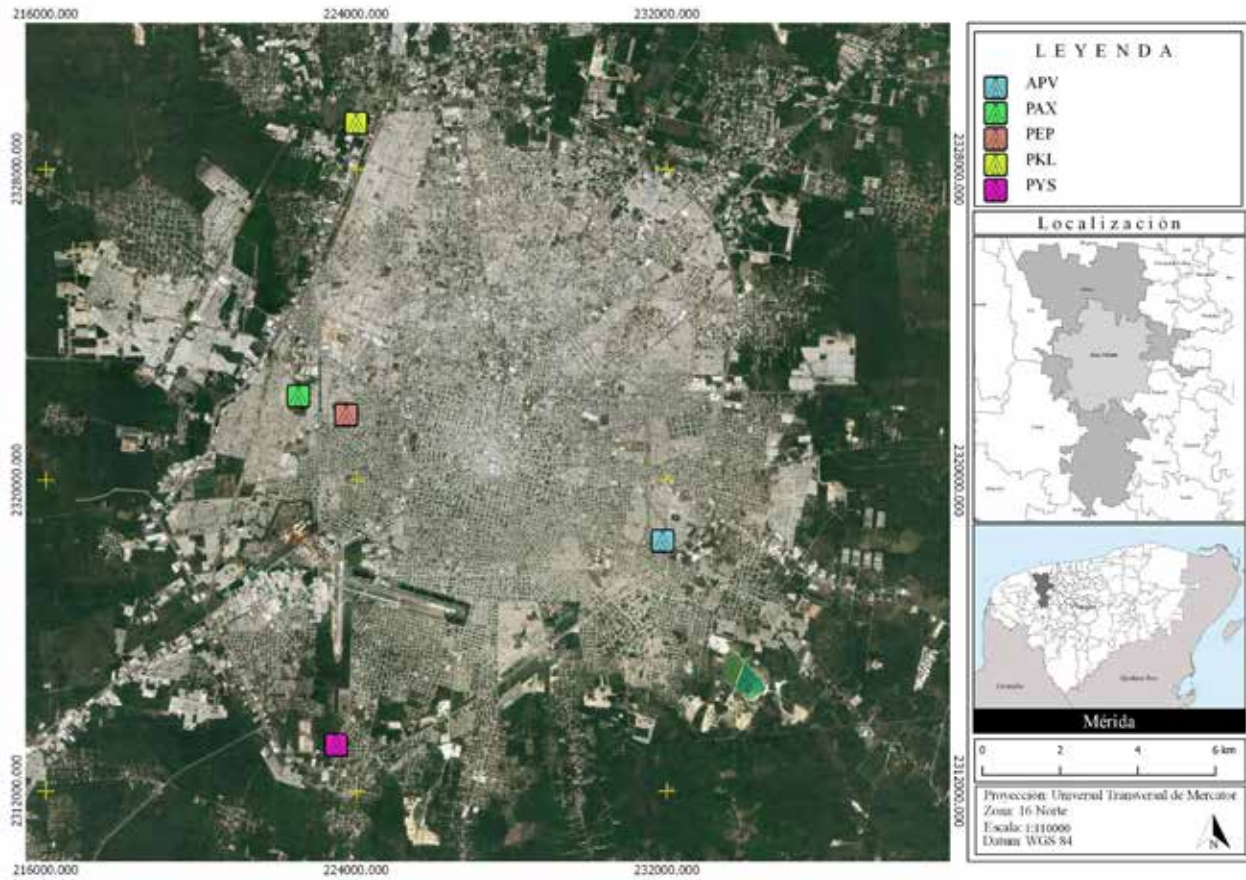


Figure 1. Study area. Geographic location of the ecological recreational parks in the city of Mérida, Yucatán, Mexico. APV= Acuarque de Vergel, PAX= Parque Arqueológico de Xoclán, PEP= Parque Ecológico del Poniente, PKL= Parque Kai Luum, PYS= Parque Metropolitano del Sur "Yu'um tsil". Created by J. Rizieri Avilés-Novelo.

Figura 1. Área de estudio. Ubicación geográfica de los parques recreativos ecológicos en la ciudad de Mérida, Yucatán, México. Simbología: APV= Acuarque de Vergel, PAX= Parque Arqueológico de Xoclán, PEP= Parque Ecológico del Poniente, PKL= Parque Kai Luum, PYS= Parque Metropolitano del Sur "Yu'um tsil". Elaborado por J. Rizieri Avilés-Novelo.

cobertura arbórea y un cuerpo de agua, con la intención de que los parques posean condiciones ambientales similares.

El clima de la región es el más seco de los cálidos subhúmedos con lluvias en verano y un bajo porcentaje de lluvias invernales (Awo), con una temperatura promedio de 26.2°C y precipitación media anual de 1,014 mm. El área de estudio posee una marcada estacionalidad, donde la temporada de secas ocurre de noviembre a abril y la temporada lluviosa de mayo a octubre (Orellana et al., 2003). La vegetación es de selva baja caducifolia, la cual predomina en la mayoría de los parques recreativos ecológicos donde se llevó a cabo el trabajo de campo; sin embargo, en estos sitios también es posible encontrar elementos de otros tipos de vegetación, como selva mediana subcaducifolia, así como vegetación acuática, vegetación secundaria y especies de plantas no nativas (Orellana et al., 2010).

Trabajo de campo

Se realizaron visitas ocasionales de 2015 a 2019 en los cinco parques durante las cuales se efectuaron recorridos, implementando la Inspección por Encuentros Visual (IEV) por tiempo limitado, técnica de muestreo que se basa en la observación y registro de anfibios y reptiles mediante transectos de distancia variable por un tiempo definido (Aguirre-León, 2011). El número de transectos varió en relación con el área de los parques; estos se repartieron de forma que cubrieran los diferentes hábitats presentes en las áreas de estudio, como los diferentes tipos de vegetación, los bordes de los cuerpos de agua y las construcciones. Los muestreos abarcaron la temporada seca y lluviosa, y se llevaron a cabo durante el día, (8:00 - 12:00 h) y la noche (20:00 - 24:00 h), donde se revisaron todos los microhábitats presentes en el área de búsqueda, con la intención de registrar el mayor número de especies de anfibios y reptiles. Los ejemplares observados se identificaron con base en literatura

especializada sobre la herpetofauna de la Península de Yucatán (Lee, 2000) y se anotaron sus datos en una bitácora de campo.

Para completar el listado de especies y debido a que los parques son utilizados como sitios de recreación, se revisó la plataforma iNaturalist (www.inaturalist.org), donde la población en general puede subir observaciones y registros oportunistas de anfibios y reptiles. Para este apartado se consideraron de manera exclusiva los registros de las especies que se encontraron dentro de las áreas verdes de los sitios de estudio y que mantenían grado de investigación. Así mismo, se siguieron las recomendaciones de Reyes-Velasco y Ramírez-Chaparro (2019), al revisar con detalle los registros obtenidos de las bases de datos digitales y corroborar la especie observada.

Análisis de datos

Para conocer el estatus de conservación a nivel nacional e internacional de las especies encontradas se revisó la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010) y la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2020). Así mismo, se determinó el Puntaje de Vulnerabilidad Ambiental (EVS, por sus siglas en inglés) para cada especie, donde se presentan valores de 3 a 20 y se clasifican en vulnerabilidad ambiental baja (3-9), media (10-13) y alta (14-20), acorde a información ecológica y su distribución geográfica (Wilson et al., 2013a, b). Así mismo, se revisó literatura especializada (Lee, 1996, 2000; González-Sánchez et al., 2017) para conocer la distribución de las especies de anfibios y reptiles en la Península de Yucatán y reconocer especies endémicas o especies no nativas.

RESULTADOS

Durante el trabajo de campo se registraron de 37 especies (10 anfibios y 27 reptiles), agrupadas en 20 familias y cuatro órdenes. Adicionalmente se consideraron tres especies de serpientes registradas en la base de datos iNaturalist: la Culebra bejuquilla verde (*Oxybelis fulgidus*; iNaturalist 29201527), la Culebra rayada yucateca (*Coniophanes schmidtii*; iNaturalist 27382265; 29201278) y la Culebra ojo de gato de la selva (*Leptodeira frenata*; iNaturalist 29194013), sumando un total de 40 especies registradas en los parques recreativos ecológicos de la ciudad de Mérida.

En relación con los anfibios, los taxones encontrados se repartieron en nueve géneros, seis familias y dos órdenes. El orden Anura albergó el mayor número de especies (Fig. 2), mientras que, para el orden Caudata, este se representó por la Salamandra lengua de hongo yucateca (*Bolitoglossa yucatanensis*; Fig. 3), que es la única salamandra que habita en el estado. La familia

con mayor riqueza fue Hylidae, con tres especies. En cuanto a los reptiles, se encontraron 26 géneros, 14 familias y dos órdenes. El orden Squamata albergó el 90% (27 especies) de la riqueza de este grupo (Figs. 4 y 5). La familia Colubridae fue la que presentó el mayor número de especies. El resto de las especies pertenece al orden Testudines (Fig. 6).

Se encontraron siete especies con algún grado de endemismo, lo que representa el 17.5% del total de la riqueza registrada en este estudio. En los anfibios fue la salamandra *Bolitoglossa yucatanensis*, mientras que, en los reptiles, las lagartijas *Aspidoscelis angusticeps*, *Holcosus gaigeae* y *Sceloporus chrysostictus*, y las serpientes *Coniophanes meridanus*, *C. schmidtii* y *Tantillita canula*. Siete especies tienen distribución restringida a la Provincia Biótica Península de Yucatán, destacando a la Ameiva yucateca (*H. gaigeae*), que también es endémica de México, con distribución restringida al centro y norte de la Península de Yucatán. En contraste, se registraron seis especies introducidas en el área de estudio, lo que representa el 15% de las especies registradas en los parques recreativos ecológicos de Mérida. Estas fueron las especies introducidas: la rana *Eleutherodactylus planirostris*, las lagartijas *Hemidactylus frenatus* y *Norops sagrei*, la Iguana verde *Iguana iguana*, la serpiente *Virgotyphlops braminus* y la tortuga *Trachemys scripta elegans* (Tabla 2).

Nueve (23%) de las especies observadas en los parques se encuentran en alguna categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010, de las cuales seis se consideran sujetas a protección especial, y el resto (3 especies) se encuentra en la categoría de amenazada. En relación con su categoría de riesgo a nivel internacional, solo el 72% (29 especies) de los anfibios y reptiles encontrados están evaluados en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN, en la categoría de preocupación menor, mientras que las 11 especies restantes no se encuentran evaluadas. Por último y con base en el EVS, 19 especies poseen una baja vulnerabilidad ambiental, 10 se consideran con vulnerabilidad media, y tres con una vulnerabilidad alta, mientras que ocho especies restantes no poseen EVS.

El parque que presentó la mayor riqueza fue PKL, con 31 especies (78% del total), seguido por el PYS, con 29 especies (72%). En contraste, PEP apenas presentó 14 especies (35%) de las registradas en este inventario. En relación con los anfibios, tanto PKL como PYS presentaron una riqueza similar, mientras que en los reptiles el mayor número de especies se encontró en PKL. Diez especies se registraron en todos los parques muestreados, mientras que 12 especies presentaron registros exclusivos en un solo parque.



Figure 2. Anuran species found in the ecological recreational parks of Mérida, Yucatán. A) *Incilius valliceps*, B) *Rhinella horribilis*, C) *Eleutherodactylus planirostris*, D) *Dendropsophus microcephalus* E) *Smilisca baudinii*, F) *Trachycephalus vermiculatus*, G) *Leptodactylus fragilis*, H) *Leptodactylus melanonotus*, I) *Lithobates brownorum*. Photos: Pedro Nahuat-Cervera.

Figura 2. Especies de anuros registrados en los parques recreativos ecológicos de Mérida, Yucatán. A) *Incilius valliceps*, B) *Rhinella horribilis*, C) *Eleutherodactylus planirostris*, D) *Dendropsophus microcephalus* E) *Smilisca baudinii*, F) *Trachycephalus vermiculatus*, G) *Leptodactylus fragilis*, H) *Leptodactylus melanonotus*, I) *Lithobates brownorum*. Fotos: Pedro Nahuat-Cervera.



Figure 3 (left). Yucatan Mushroom-tongue salamander (*Bolitoglossa yucatanana*).

Figura 3 (izquierda). Salamandra lengua de hongo yucateca (*Bolitoglossa yucatanana*).

Figure 4 (below). Some lizards and iguana species found in the ecological recreational parks. A) *Basiliscus vittatus*, B) *Laemantus serratus*, C) *Norops rodriguezii*, D) *Norops sagrei*, E) *Coleonyx elegans*, F) *Hemidactylus frenatus*, G) *Iguana iguana*, H) *Sceloporus chrysostictus*, I) *Holcosus gaigeae*. Photos: Pedro Nahuat-Cervera.

Figura 4 (abajo). Algunas especies de lagartijas e iguanas registradas en los parques recreativos ecológicos. A) *Basiliscus vittatus*, B) *Laemantus serratus*, C) *Norops rodriguezii*, D) *Norops sagrei*, E) *Coleonyx elegans*, F) *Hemidactylus frenatus*, G) *Iguana iguana*, H) *Sceloporus chrysostictus*, I) *Holcosus gaigeae*. Fotos: Pedro Nahuat-Cervera.





Figure 5. Some snake species found in the ecological recreational parks of Mérida, Yucatán. A) *Drymobius margaritiferus*, B) *Mastigodryas melanolomus*, C) *Senticolis triaspis*, D) *Tantillita canula*, E) *Coniophanes meridanus*, F) *Coniophanes schmidt*, G) *Leptodeira frenata*, H) *Micrurus apiatus*, I) *Virgotyphlops braminus*. Photos: Pedro Nahuat-Cervera.

Figura 5. Algunas especies de serpientes registradas en los parques recreativos ecológicos de Mérida, Yucatán. A) *Drymobius margaritiferus*, B) *Mastigodryas melanolomus*, C) *Senticolis triaspis*, D) *Tantillita canula*, E) *Coniophanes meridanus*, F) *Coniophanes schmidt*, G) *Leptodeira frenata*, H) *Micrurus apiatus*, I) *Virgotyphlops braminus*. Fotos: Pedro Nahuat-Cervera.



Figure 6. Some turtle species found in the ecological recreational parks of Mérida, Yucatán. A) *Kinosternon scorpioides*, B) *Trachemys scripta elegans*, C) *Trachemys venusta*.

Figura 6. Algunas especies de tortugas registradas en los parques recreativos ecológicos de Mérida, Yucatán. A) *Kinosternon scorpioides*, B) *Trachemys scripta elegans*, C) *Trachemys venusta*. Photos / Fotos: Pedro Nahuat-Cervera.

DISCUSIÓN

La riqueza de anfibios y reptiles encontrada en los parques donde se llevó a cabo el trabajo de campo representa el 52% de las especies con distribución potencial en el área de estudio. Los cuerpos de agua permanentes en los parques, así como las especies vegetales acuáticas y terrestres favorecieron la presencia de los anfibios registrados, ya que tanto la vegetación como las fuentes de agua se consideran de relevancia en para su ciclo de vida (Gosá & Arias, 2009). Las 10 especies registradas representan el 77% del total de 13 especies potenciales. El orden con mayor riqueza fue Anura, el cual alberga el 95% de las 18 especies con distribución en Yucatán. Así mismo, la familia Hylidae fue la que tuvo el mayor número de especies, la cual alberga el 44% (8 especies) de los anuros que habitan en Yucatán (Lee, 1996, 2000; González-Sánchez et al., 2017).

En cuanto a los reptiles, la mayoría de las especies registradas en los parques se consideran generalistas en cuanto al estado de conservación del hábitat (e.g. *Basiliscus vittatus*, *Coniophanes meridanus*, *Conophis lineatus*, *Ctenosaura similis*, *Hemidactylus frenatus*, *Norops sagrei* y *Sceloporus chrysostictus*), ya que presentan alta tolerancia a la perturbación y con preferencias hacia hábitats con espacios abiertos, similares a los observados en los parques recreativos ecológicos. Al igual que con los anfibios, los

cuerpos de agua favorecieron la presencia de reptiles con hábitos acuáticos (e.g. las tortugas del género *Kinosternon* y *Trachemys*), o aquellas asociadas a cuerpos de agua, como *Basiliscus vittatus* y *Drymobius margaritiferus* (Lee, 1996; 2000; Calderón-Mandujano et al., 2008). Se registró el 47% de los reptiles con distribución potencial (58 especies) en el área de estudio. El orden Squamata albergó el mayor porcentaje de especies registradas, el cual posee la mayor cantidad de especies para Yucatán (Lee, 1996, 2000; González-Sánchez et al., 2017).

El porcentaje de especies endémicas encontradas en los parques recreativos ecológicos recae en que el área de estudio se encuentra en la porción norte de la Península de Yucatán, la cual se ha reconocido como la zona con el mayor número de endemismos de anfibios y reptiles, en comparación con la porción sur (Lee, 1980). Respecto a las especies no nativas, se ha demostrado que la perturbación urbana propicia la introducción accidental o intencional de especies que en ocasiones pueden afectar a los anfibios y reptiles nativos (Riley et al., 2005). Cuatro de las especies introducidas registradas no tienen una distribución natural en México: *Hemidactylus frenatus* y *Virgotyphlops braminus* son originarias de islas del Océano Pacífico, y África y Asia, respectivamente; *Eleutherodactylus planirostris* y *Norops sagrei* son nativas de islas del Caribe (Lee, 2000; Cedeño-Vázquez et al., 2014; Heimes, 2016; Vásquez-Cruz et al., 2020). Se especula que

Table 2. Amphibians and reptiles recorded in ecological recreational parks in Mérida, Yucatán, México. Symbology: *=Endemic species for the Yucatan Peninsula Biotic Province, **=Non-native species. NOM-059: A = Threatened, Pr= Under special protection. IUCN: LC=Least concern, NE= Not Evaluated. EVS= Environmental vulnerability score. APV= Acuparque de Vergel, PAX=Parque Arqueoecológico de Xoclán, PEP= Parque Ecológico del Poniente, PKL= Parque Kai Luum , PYS= Parque Metropolitano del Sur "Yu'um tsil".

Tabla 2. Anfibios y reptiles encontrados en parques recreativos ecológicos de Mérida, Yucatán, México. Simbología: *=especie endémica de la Provincia Biótica Península de Yucatán, **= especie no nativa. NOM-059: A= Amenazada, Pr= Sujeta a protección especial. IUCN: LC= Preocupación menor, NE= No evaluada. EVS= Puntaje de Vulnerabilidad Ambiental. APV= Acuparque de Vergel, PAX= Parque Arqueoecológico de Xoclán, PEP= Parque Ecológico del Poniente, PKL= Parque Kai Luum, PYS= Parque Metropolitano del Sur "Yu'um tsil".

Especie	NOM-059- SEMARNAT-2010	IUCN	EVS	APV	PAX	PEP	PKL	PYS
Orden Anura								
Familia Bufonidae								
<i>Incilius valliceps</i>	-	LC	6	X	X	X	X	X
<i>Rhinella horribilis</i>	-	NE	-	X	X	X	X	X
Familia Eleutherodactylidae								
<i>Eleutherodactylus planirostris**</i>	-	LC	-				X	X
Familia Hylidae								
<i>Dendropsophus microcephalus</i>	-	LC	7				X	
<i>Smilisca baudinii</i>	-	LC	3	X		X	X	X
<i>Trachycephalus vermiculatus</i>	-	NE	-	X	X		X	X
Familia Leptodactylidae								
<i>Leptodactylus fragilis</i>		LC	5	X	X		X	X
<i>Leptodactylus melanonotus</i>		LC	6	X	X	X	X	X
Familia Ranidae								
<i>Lithobates brownorum</i>	Pr	NE	8	X	X	X	X	X
Orden Caudata								
Familia Plethodontidae								
<i>Bolitoglossa yucatanensis*</i>	Pr	LC	15					X
Orden Squamata								
Familia Corytophanidae								
<i>Basiliscus vittatus</i>	-	LC	7	X	X	X	X	X
<i>Laemantus serratus</i>	Pr	LC	8				X	X
Familia Dactyloidae								
<i>Norops rodriguezi</i>	-	NE	10				X	X
<i>Norops sagrei**</i>	-	NE	12	X	X	X	X	X
Familia Eublepharidae								
<i>Coleonyx elegans</i>	A	LC	9				X	X
Familia Gekkonidae								
<i>Hemidactylus frenatus**</i>	-	LC	-	X	X	X	X	X
Familia Iguanidae								
<i>Ctenosaura similis</i>	A	LC	8	X	X	X	X	X
<i>Iguana iguana**</i>	Pr	LC	12				X	

Table 2 (cont). Amphibians and reptiles recorded in ecological recreational parks in Mérida, Yucatán, México. Simbology: *=Endemic species for the Yucatan Peninsula Biotic Province, **=Non-native species. NOM-059: A = Threatened, Pr= Under special protection. IUCN: LC=Least concern, NE= Not Evaluated. EVS= Environmental vulnerability score. APV= Acuparque de Vergel, PAX=Parque Arqueológico de Xoclán, PEP= Parque Ecológico del Poniente, PKL= Parque Kai Luum , PYS= Parque Metropolitano del Sur "Yúum tsil".

Tabla 2 (cont). Anfibios y reptiles encontrados en parques recreativos ecológicos de Mérida, Yucatán, México. Simbología: *=especie endémica de la Provincia Biótica Península de Yucatán, **= especie no nativa. NOM-059: A= Amenazada, Pr= Sujeta a protección especial. IUCN: LC= Preocupación menor, NE= No evaluada. EVS= Puntaje de Vulnerabilidad Ambiental. APV= Acuparque de Vergel, PAX= Parque Arqueológico de Xoclán, PEP= Parque Ecológico del Poniente, PKL= Parque Kai Luum, PYS= Parque Metropolitano del Sur "Yúum tsil".

Especie	NOM-059- SEMARNAT-2010	IUCN	EVS	APV	PAX	PEP	PKL	PYS
Familia Mabuyidae								
<i>Marisora lineola</i>	-	NE	-				X	
Familia Phrynosomatidae								
<i>Sceloporus chrysostictus</i> *	-	LC	13		X		X	X
<i>Sceloporus serriifer</i>	-	LC	6	X		X		
Familia Teiidae								
<i>Aspidoscelis angusticeps</i> *	-	LC	13				X	X
<i>Holcosus gaigeae</i> *	-	NE	-		X		X	X
Familia Colubridae								
<i>Drymarchon melanurus</i>	-	LC	6				X	
<i>Drymobius margaritiferus</i>	-	LC	6				X	
<i>Leptophis mexicanus</i>	A	LC	6	X			X	X
<i>Mastigodryas melanolomus</i>	-	LC	6					X
<i>Oxybelis fulgidus</i>	-	LC	9					X
<i>Senticolis triaspis</i>	-	LC	6		X			
<i>Stenorrhina freminvillei</i>	-	LC	7				X	X
<i>Tantillita canula</i> *	-	LC	12				X	
Familia Dipsadidae								
<i>Coniophanes meridanus</i> *	-	LC	15	X	X	X		
<i>Coniophanes schmidtii</i> *	-	LC	13		X			X
<i>Conophis lineatus</i>	-	LC	9	X	X		X	X
<i>Leptodeira frenata</i>	-	LC	12					X
Familia Elapidae								
<i>Micrurus apiatus</i>	-	NE	-					X
Familia Typhlopidae								
<i>Virgotyphlops braminus</i> **	-	NE	-			X	X	
Orden Testudines								
Familia Emydidae								
<i>Trachemys scripta</i> **	Pr	LC	16	X	X	X	X	X
<i>Trachemys venusta</i>	-	NE	13	X	X	X	X	X
Familia Kinosternidae								
<i>Kinosternon scorpioides</i>	Pr	NE	10	X			X	

estas especies introducidas arribaron a los parques estudiados a través de plantas que se utilizan para reforestar estos espacios, o en material de construcción.

En relación con *Iguana iguana* y *Trachemys scripta elegans*, son especies que poseen distribución natural en territorio mexicano. Sin embargo, se consideran introducidas en el estado de Yucatán (Legler & Vogt, 2013; Ortiz-Medina et al., *en prensa*). La presencia de estas especies en parques recreativos ecológicos probablemente se debe a que los pobladores las adquieren como mascotas y las liberan en dichas áreas.

Los parques visitados no albergaron un número importante de especies en categorías de riesgo en la regulación mexicana e internacional, así como con EVS moderados o altos. Sin embargo, muchas especies no han sido evaluadas y otras no tienen categorías asignadas debido a nuevos arreglos taxonómicos, como *Micrurus apiatus*, la cual antes se consideraba parte de la especie *M. diastema* y se encontraba Sujeta a Protección Especial en la NOM-059-SEMARNAT-2010, o *Trachemys venusta*, que anteriormente se consideraba una subespecie de *T. scripta*, especie que se encuentra incluida en dicha norma (DOF, 2010). Por lo antes mencionado, no se deben desestimar a los anfibios y reptiles que se registraron en este estudio y se deben realizar más esfuerzos de investigación que señalen la importancia de las áreas verdes urbanas en su conservación.

Se observó que los parques recreativos ecológicos ubicados a las periferias de la ciudad de Mérida albergaron un número de especies más elevado que los parques inmersos en la ciudad. Si bien es necesario realizar un muestreo más sistematizado para determinar el motivo de la diferente riqueza de especies entre los parques, es posible que la conectividad que tienen los parques periféricos con áreas verdes existentes a los alrededores de la ciudad beneficie la presencia de un mayor número de especies, en comparación con sitios inmersos en las urbes, que poseen una conectividad prácticamente nula ya que se encuentran rodeados por la mancha urbana (Illesca-Aparicio et al., 2016; López-Herrera et al., 2016). Así mismo, otro factor que puede ser de importancia es que los parques inmersos en la ciudad, por su cercanía y su infraestructura son los más frecuentados por los habitantes de Mérida, en comparación con los parques periféricos, lo cual puede influir en la riqueza de especies en estos sitios.

Se obtuvieron reportes de observaciones de algunas especies de anfibios y reptiles que no se encontraron durante el trabajo de campo ni en la plataforma digital iNaturalist, como la rana *Hypopachus variolosus*, o las serpientes *Crotalus tzabcan* e

Imantodes tenuissimus; sin embargo, debido a que no se contó con evidencia suficiente que acredite su presencia dentro de estas áreas verdes y siguiendo las recomendaciones de Reyes-Velasco y Ramírez-Chaparro (2019), no se contabilizaron en este trabajo. Otras especies de anfibios (*Scinax staufferi* y *Triprion petasatus*) y reptiles (*Agkistrodon russeolus*, *Amerotyphlops microstomus*, *Cachryx defensor*, *Coniophanes imperialis*, *Dipsas brevifacies*, *Epictia vindumi*, *Masticophis mentovarius*, *Mesoscincus schwartzei*, *Norops ustus*, *Oxybelis potosiensis*, *Sceloporus lundelli*, *Sibon sanniolus*, *Spilotes pullatus*, *Sphaerodactylus glaucus*) se han reportado en zonas urbanas dentro o aledañas a la ciudad de Mérida, pero no se observaron durante el trabajo de campo ni en registros en la plataforma digital revisada; sin embargo, por su cercanía a los parques recreativos ecológicos se pueden considerar como con presencia probable, especialmente en aquellos que se encuentran en la periferia de la ciudad.

CONCLUSIONES

Se registraron 40 especies de anfibios y reptiles en los parques recreativos ecológicos de la ciudad de Mérida, de las cuales 10 fueron anfibios y 30 reptiles. Se encontró una riqueza similar de especies endémicas e introducidas a la Península de Yucatán y un bajo número de especies se encontraron incluidas en alguna categoría de riesgo de la normatividad mexicana o internacional, así como con un EVS moderado o alto. Los parques ubicados a la periferia de la urbe tuvieron una mayor riqueza en comparación con los parques inmersos en la mancha urbana.

El número considerable de anfibios y reptiles registrados en este estudio demuestra que estos animales utilizan los parques recreativos ecológicos como hábitat, sin embargo, es necesario evaluar si estas áreas verdes fungen como sitio de refugio y conservación para la herpetofauna de la ciudad de Mérida y sus alrededores. Así mismo, y debido a que los parques urbanos son zonas donde interactúan los pobladores con los anfibios y reptiles, se recomienda llevar a cabo trabajos de educación ambiental que fomenten el respeto y la conservación por parte de las personas.

Acknowledgements.— Se agradece profundamente a los compañeros y amigos quienes brindaron su apoyo durante el trabajo de campo, y a los usuarios de la plataforma iNaturalist por la valiosa información que aportan en cada una de sus observaciones. De igual manera, se agradece a Graciela Estefanía Villanueva-Vázquez y a Jesús Loc-Barragán por sus comentarios y sugerencias sobre este escrito, así como a los revisores anónimos cuyos comentarios y observaciones enriquecieron y mejoraron la versión final.

LITERATURA CITADA

- Adrián, W.J. 2016. Diversidad de aves en parques dentro de la zona urbana de la ciudad de Mérida, Yucatán, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- Aguirre-León, G. 2011. Métodos de estimación, captura y contención de anfibios y reptiles. Pp. 61-85. En S. Gallina-Tessaro & C. López-González (Eds.). Manual de técnicas para el estudio de la fauna. Universidad Autónoma de Querétaro - Instituto de Ecología A.C., Querétaro, México.
- Barragán-Vázquez, M.R., C.E. Zenteno-Ruiz, C. Solis-Zurita, M.A. López-Luna, E. Hernández-Estañol, M. Martínez-Zetina, L. Ríos-Rodas, J.A. Hernández-Velázquez, Y. Rodríguez-Sánchez, D. Peregrino-Reyes, G. Rodríguez-Azcuaga & M.C. González-Ramón. 2010. Herpetofauna asociada a ambientes urbanos y suburbanos de Villahermosa, Tabasco, México. *Kuxulkab'* 16:19-26.
- Brito-Castillo, L.F. 1998. Los anfibios y reptiles de la Reserva de Dzilam, Yucatán, México. Tesis de Licenciatura. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- Böhm, M., B. Collen, J.E.M. Baillie, P. Bowles, J. Chanson et al. 2013. The conservation status of the world's reptiles. *Biological Conservation* 157:372-385.
- Calderón-Mandujano, R.R., C. Galindo-Leal & J.R. Cedeño-Vázquez. 2008. Utilización del hábitat por reptiles en estados sucesionales de selvas tropicales de Campeche, México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)* 24:95-114.
- Callaghan, J.M. & R. Pasos-Enríquez. 2010. Reserva Biocultural Kaxil Kiuic. Pp. 435-439. En R. Durán & M. Méndez (Eds.). Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA, Yucatán, México.
- Cedeño-Vázquez, J.R., J. González-Vázquez, A. Martínez-Arce & L. Canseco-Márquez. 2014. First record of the invasive greenhouse frog (*Eleutherodactylus planirostris*) in the Mexican Caribbean. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:650-653.
- Chan, M.M. 2017. Diversidad de quirópteros y percepción biocultural en el Parque Ecológico Metropolitano del Sur "Yumtsil" Mérida, Yucatán. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Cruces, A. 2019. Riqueza y actividad de murciélagos insectívoros en los parques "Yumtsil" y "Animaya" en Mérida, Yucatán, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán, Mex.
- Escalante-Pasos, J.A. 2013. Macrohábitats y herpetofauna de una cantera en restauración en Kanasín, Yucatán. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Conkal. México.
- Fisher, J.D., S.C. Schneider, A.A. Ahlers & J.R. Miller. 2015. Categorizing wildlife responses to urbanization and conservation implications of terminology. *Conservation Biology* 29:1246-1248.
- González-Martínez, C. 2006. Riqueza y diversidad de anfibios y reptiles de la Reserva de la Biósfera Ría Celestún. Tesis de Licenciatura. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- González-Sánchez, V.H., J.D. Johnson, E. García-Padilla, V. Mata-Silva, D.L. DeSantis & L.D. Wilson. 2017. The herpetofauna of the Mexican Yucatan Peninsula: composition, distribution and conservation status. *Mesoamerican Herpetology* 4:263-380.
- Gosá, A. & A. Arias. 2009. Estado de las poblaciones de anfibios en un parque urbano de Pamplona. *Munibe (Ciencias Naturales-Natur Zientziak)* 57:169-183.
- Hammer, Ø., D.A.T. Harper & P.D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4:9.
- Heimes, P. 2016. Herpetofauna Mexicana Vol I. Snakes of México. Edition Chimaira. Frankfurt am Main, Germany. 572 p.
- Illesca-Aparicio, M., R. Clark-Tapia, A. González-Hernández, P.R. Vásquez-Díaz & V. Aguirre-Hidalgo. 2016. Diversidad y riqueza herpetofaunística asociada al bosque de manejo forestal y áreas de cultivo, en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)* 32: 359-369.
- IUCN (International Union for the Conservation of Nature). 2020. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-1. <https://www.iucnredlist.org>. [Consultado en Julio 2020]
- Lee, J.C. 1980. An ecogeographic analysis of the herpetofauna of the Yucatan Peninsula. University of Kansas. Miscellaneous Publication N° 67. Museum of Natural History. USA.
- Lee, J.C. 1996. The amphibians and reptiles of the Yucatán Peninsula. 1st edition. Cornell University Press, Ithaca, N.Y., USA.

- Lee, J.C. 2000. A field guide to the amphibians and reptiles of the mayan world, The lowlands of Mexico, Northern Guatemala and Belize. 1st Edition. Cornell University Press, Ithaca, New York, USA.
- Legler, J.M. & R.C. Vogt. 2013. The turtles of Mexico. Land and freshwater turtles. University of California Press. United States of America. 402 p.
- López-Herrera, D.F., M. León-Yusti, S.C. Guevara-Molina & F. Vargas-Salinas. 2016. Reptiles en corredores biológicos y mortalidad por atropellamiento vehicular en Barbas-Bremen, Quindío, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 40:484-493.
- Magno-Benítez, I., A. Ramírez-Bautista & R. Cruz-Elizalde. 2016. Diversidad de especies de anfibios y reptiles en dos ambientes, natural y antropizado, en el estado de Hidalgo, México. Pp. 97-105. En A. Ramírez-Bautista & R. Pineda-López (Eds.). *Fauna nativa en ambientes antropizados*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Morrone, J.J. 2006. Biogeographic areas and transition zones of Latin America and the Caribbean islands based on panbiogeographic and cladistics analyses of the entomofauna. *Annual Review of Entomology* 51:467-494.
- Nahuat-Cervera, P.E., S. Hernández-Betancourt & L.F. Díaz-Gamboa. 2020. Anfibios y reptiles en el Centro Educativo Hobonil, Tzucacab, Yucatán, México. *Revista Latinoamericana de Herpetología* 3:53-65.
- NOM-059-SEMARNAT-2010. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, para la Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestre-Categoría de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010, México.
- Orellana, R., I. Gerald & C. Espadas. 2003. Presente, pasado y futuro de los climas de la Península de Yucatán. Pp. 37-51. En G. Colunga & A. Larqué (Eds.). *Naturaleza y Sociedad en el Área Maya*. Academia Mexicana de Ciencias. CICY, México.
- Orellana, R., L. Carrillo-Sánchez & V. Franco-Toriz. 2010. Arbolado urbano. Pp. 373-376. En R. Durán & Méndez, M (Eds.). *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán*. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA, Yucatán, México.
- Peña-Peniche, L.A. 2006. Estructura de la comunidad de anfibios y reptiles de la Reserva de la Biósfera Ría Lagartos, Yucatán, México. Tesis de Licenciatura. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- Pérez-Medina, S. & I. López-Falfán. 2015. Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán. *Hacia una sostenibilidad urbana. Economía, Sociedad y Territorio* 15:1-33.
- Pérez-Medina, S. & L.F. Fargher. 2016. Uso de parques recreativos en Mérida, Yucatán. *Estudios Demográficos y Urbanos* 31:775-810.
- Reyes-Velasco, J. & R. Ramírez-Chaparro. 2019. Algunas sugerencias para el formato de listados herpetofaunísticos de México. *Revista Latinoamericana de Herpetología* 2:103-106.
- Riley, S.P.D., G.T. Busteed, L.B. Kats, T.L. Vandergon, L.F.S. Lee, R.G. Dagti, J.L. Kerby, R.N. Fisher & R.M. Sauvajot. 2005. Effects of urbanization on the distribution and abundance of amphibians and invasive species in Southern California streams. *Conservation Biology* 19:1894-1907.
- Uribe, E.G. 2017. Riqueza y actividad de murciélagos insectívoros en parques urbanos de la ciudad de Mérida, Yucatán, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Vásquez-Cruz, V., A. Reynoso-Martínez, A. Fuentes-Moreno & L. Canseco-Márquez. 2020. The distribution of Cuban Brown Anoles, *Anolis sagrei* (Squamata: Dactyloidae), in Mexico, with new records and comments of ecological interactions. *IRFC Reptiles & Amphibians Conservation and Natural History* 27:29-35.
- Wake, D.B. & V.T. Vredenburg. 2008. Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105:11466-11473.
- Wilson, L.D., J.D. Johnson & V. Mata-Silva. 2013a. A conservation reassessment of the amphibians of México based on the EVS measure. *Amphibian & Reptile Conservation* 7:97-127.
- Wilson, L.D., V. Mata-Silva & J.D. Johnson. 2013b. A conservation reassessment of the reptiles of Mexico based on the EVS measure. *Amphibian & Reptile Conservation* 7:1-47.



ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS HEMATOLÓGICOS EN AJOLOTE DE XOCHIMILCO (*AMBYSTOMA MEXICANUM*) BAJO CUIDADO HUMANO EN EL ZOOLOGICO DE CHAPULTEPEC, MÉXICO

ESTIMATION OF HEMATOLOGICAL PARAMETERS IN THE XOCHIMILCO AJOLOTE (*AMBYSTOMA MEXICANUM*) UNDER HUMAN CARE IN THE CHAPULTEPEC ZOO, MEXICO

ALBERTO OLASCOAGA ELIZARRARAZ¹, ERIKA SERVÍN ZAMORA¹, MIRYAM G NOGUEIRA MARMOLEJO¹, JAVIER OJEDA CHÁVEZ^{1, 2}, LUZ ELENA ALCARAZ SOSA³, MARIELA TERESA DÍAZ NEGRETE¹, MARESA LÓPEZ MONTAÑO¹, ANDRÉS DUCOING WATTY², ANNUAR DAVID MAJLUF TREJO² & RICARDO ITZCÓATL MALDONADO-RESENDIZ^{2*}

¹Zoológico de Chapultepec, Dirección General de Zoológicos y Conservación de la Fauna Silvestre, Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México, San Miguel Chapultepec, 11850, Miguel Hidalgo, Ciudad de México, México.

²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, Ciudad de México, México.

³Universidad Autónoma Metropolitana. Departamento de Producción Agrícola y Animal. Campus Xochimilco. Calzada del Hueso 1100, Coapa, Villa Quietud, Coyoacán, 04960, Ciudad de México, México.

*Correspondence: itzcoatlunam@hotmail.com

Received: 2020-09-08. Accepted: 2021-02-06.

Abstract.—The aim of this study was to determine the hematology values for the Xochimilco axolotl (*Ambystoma mexicanum*), using 30 clinically healthy individuals, born and kept in captivity. The axolotls were restrained by the use of diluted isoflurane (3 mg/L) in order to get the blood samples from the brachial plexus. The reference values for total red blood cell and white blood cell count, hemoglobin, hematocrit, mean globular volume, mean corpuscular hemoglobin, mean corpuscular hemoglobin concentration, differential count of leukocytes, thrombocytes and morphological evaluation were obtained. This is the first report of hematological parameters in Xochimilco axolotls, which may serve as a basis for future research, as well as for its application in the medical management of the species.

Key words.— Amphibian, hematology, reference values, blood analysis, laboratory diagnostic methods.

Resumen.— El ajolote de Xochimilco se encuentra en peligro de extinción, debido a diversos riesgos, tanto físicos, químicos, como biológicos y una estrategia para su conservación es el resguardo por humanos, que permite el desarrollo de programas para su preservación, investigación y educación. El objetivo de este estudio fue la estimación de parámetros hematológicos en 30 ejemplares de ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*), clínicamente sanos, nacidos y mantenidos bajo cuidado humano. Los ejemplares fueron contenidos químicamente mediante el uso de isofluorano diluido en agua (3 mg/L) para la obtención de la muestra sanguínea del plexo branquial. Se obtuvieron los valores de referencia de conteo total de eritrocitos y leucocitos, hemoglobina, hematocrito, volumen corpuscular medio, hemoglobina corpuscular media, concentración de hemoglobina corpuscular media, conteo diferencial leucocitario, trombocitos y evaluación morfológica. Este es el primer reporte sobre los parámetros hematológicos en ajolotes de Xochimilco bajo cuidado humano; el cual podrá servir como base para investigaciones futuras; así como su aplicación al manejo médico de la especie.

Palabras clave.— Anfibio, hematología, valores de referencia, análisis de sangre, métodos de diagnóstico de laboratorio.

INTRODUCCIÓN

El ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*) es un anfibio perteneciente al Orden Caudata, neoténico (alcanza la madurez sexual manteniendo sus características larvarias), endémico del sistema lacustre del valle de México. Como otras especies de anfibios a nivel mundial, la población de ajolote de Xochimilco se encuentra en declive debido a alteración del hábitat por presiones humanas (contaminación, urbanización, desecación, etcétera) e introducción de especies exóticas (peces y vegetación), como la carpa asiática (*Cyprinus carpio*), que por sus hábitos alimenticios remueve el sustrato y modifica el hábitat al incrementar la turbidez del agua, o la tilapia africana (*Oreochromis niloticus*), que entre otras cosas consume los huevecillos o pequeñas crías del ajolote (Brady et al., 2016; Aguilar y Aguilar, 2019; IUCN, 2010). El ajolote de Xochimilco, se encuentra catalogado como en peligro de extinción por la NOM-059-SEMARNAT-2010, catalogada en la Lista Roja de la Unión Mundial para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) como especie en Grave Peligro de Extinción (IUCN, 2010) y en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna (CITES, por sus siglas en inglés). Una estrategia para su conservación es el mantenimiento de poblaciones en cautiverio que permitan desarrollar adecuadamente un programa de reproducción, investigación y educación. El manejo clínico de la especie aún enfrenta diversos problemas tales como la falta de información y de herramientas suficientes para poder establecer mejor el diagnóstico de sus problemas de salud.

El hemograma brinda información muy importante para evaluar el estado de salud de un ejemplar y sus indicadores son el eje central para el diagnóstico y monitoreo de enfermedades (Brady et al., 2016). Si bien la hematopoyesis en anfibios muestra diversas similitudes con las aves y los mamíferos, existen también grandes diferencias hematológicas entre individuos adultos y juveniles. En general, los eritrocitos de los anfibios son las células más numerosas, presentan morfología ovalada y son nucleados. Dentro de los leucocitos, se pueden observar a los granulocitos (neutrófilos, basófilos y eosinófilos) y los agranulocitos (linfocitos y monocitos) (Arikan & Çiçek, 2014). Se conocen los valores hematológicos de algunas especies de anfibios; Solís y colaboradores (2007), reportan en la salamandra americana gigante (*Cryptobranchus alleganiensis*) un hematocrito (Hto) de 35 a 47%, linfocitos de 28 a 58%, monocitos de 0.4 a 0.7%, basófilos de 3.3 a 4.4% por mencionar algunos. Brady y colaboradores (2016) reportan los intervalos para los valores de hematología y química sanguínea en la salamandra tigre de California (*Ambystoma californiense*) nacidas en cautiverio.

En lo que concierne al ajolote de Xochimilco, Phaff y Rosenkild (1993) obtuvieron la relación de células blancas/células rojas (WBC/RBC) en los diferentes estadios del desarrollo, donde hicieron una breve descripción de la celularidad sanguínea. Takami y Une (2017) realizaron la determinación de algunos valores hematológicos, sin embargo, para la hemograma solo reportan el Hto (PCV, Packed cell volume), de la misma forma López et al. (2014) y Gastelum (2018) han presentado reportes preliminares sobre el hemograma. Por tal razón, además de que existen pocos estudios sobre su fisiología y su manejo médico, no existen valores de referencia completos para los parámetros de hemograma. El objetivo del presente estudio, es contribuir al establecimiento de los valores hematológicos de ejemplares clínicamente sanos para llegar a estimar parámetros de referencia en la especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ejemplares e instalaciones

Se utilizaron treinta ejemplares de ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*), nacidos y mantenidos en las instalaciones del Zoológico de Chapultepec ubicado en la Ciudad de México. Se manejaron 12 machos, 15 hembras y 3 sin determinación de sexo, entre 4 y 7 años de edad y con un peso entre 28 y 94 gramos, clínicamente sanos. Fueron muestreados entre enero y febrero de 2017. Cada ejemplar se alojaba individualmente en recipientes plásticos con una capacidad entre 3 y 4 litros de agua, con una temperatura entre 10 y 13°C y los siguientes parámetros fisicoquímicos del agua: pH de 7.0; nitritos de 0 ppm; nitratos de 5 ppm y amonio de 0.1 mg/L. Su dieta se basaba en artemias (*Artemia salina*) y charales (*Chirostoma* sp.). Se contó con la aprobación del Comité de Investigación y de la Dirección de Conservación y Bienestar Animal de la Dirección General de Zoológicos y Conservación de la Fauna Silvestre de la Ciudad de México, para asegurar el manejo correcto y asegurar el bienestar de los ejemplares.

Colección de muestra sanguínea

Previo ayuno de 12 horas, los ejemplares fueron contenidos químicamente con isoflurano (Sofloran Vet® Laboratorios PISA), a dosis de 3 ml/L. La inducción se llevó a cabo colocando a cada ejemplar dentro de una bolsa plástica cerrada con un litro de agua potable, con las características adecuadas para la especie. El tiempo de inducción fue de 30 a 50 minutos para llegar a un plano de sedación profunda, la cual permitió el manejo del ejemplar para la toma de la muestra, para el mantenimiento de la sedación se utilizó una dosis de isoflurano de 2 mL/L. Una vez que se encontraban bajo anestesia profunda, los ejemplares fueron colocados en una charola metálica con gasas húmedas

impregnadas con el anestésico, permitiendo continuar con la absorción del anestésico y evitando la deshidratación. Durante todos los manejos los ejemplares fueron manipulados con guantes de nitrilo.

Los ajolotes se colocaron en decúbito dorsal, separando las branquias manualmente para exponer el plexo branquial (Fig. 1), de donde se obtuvo la muestra de sangre mediante el uso de jeringas de 1 mL de la marca BD Ultrafine® y agujas calibre 25 o 27G, previamente heparinizadas por impregnación con heparina de litio (Inhepar® Laboratorios PISA) para evitar la coagulación de la muestra. La sangre fue colocada en tubos microtainer con heparina de litio de la marca BD Microtainer®, se homogenizaron por lapso de 1 minuto y fueron transportadas de inmediato al laboratorio para su análisis. El volumen de sangre obtenido varió entre 0.25 y 0.5 mL.

En anfibios y reptiles, es frecuente que las muestras de sangre pueden contaminarse por linfa al momento de la punción; dicha hemodilución puede presentarse en todos los sitios de venopunción, provocando artefactos como trombocitopenia, leucopenia y/o anemia al momento de la interpretación. Esto se puede valorar por el color excesivamente pálido de la muestra (Brady et al., 2016). Considerando este criterio, las muestras sospechosas de estar contaminadas con linfa, fueron desechadas y no incluidas en los resultados.

Procesamiento de las muestras

El conteo total de eritrocitos y leucocitos se realizó manualmente con una cámara de Neubauer y la solución de

Nat-Herricks. La hemoglobina (Hb) se determinó mediante espectrofotometría, utilizando el reactivo de Drabkin (método de cianometahemoglobina). El porcentaje de hematocrito (Hto) se obtuvo mediante la lectura de capilar para microhematocrito. Los sólidos totales se determinaron a través de la lectura del plasma con un refractómetro clínico. Los índices eritrocíticos se calcularon matemáticamente de la siguiente manera:

Volumen Corpuscular Medio (VCM) = $(\text{Hto} \times 1000) / \text{número de eritrocitos (GR)}$

Hemoglobina Corpuscular Media (HCM) = (Hb / GR)

Concentración de Hemoglobina Corpuscular Media (CHCM) = (Hb / Hto)

Se determinaron porcentajes de neutrófilos, linfocitos, monocitos, eosinófilos, basófilos y melanomacrófagos, mediante conteo diferencial a 100 células sobre un frotis sanguíneos teñidos con una tinción tipo Romanowsky. En el frotis se realizó el conteo de trombocitos obteniendo el promedio en 5 campos de 100x y multiplicando por 3500; expresando el valor obtenido en $\times 10^9$. Finalmente se realizó la evaluación morfológica de eritrocitos, leucocitos y trombocitos.

Análisis estadístico

Con la información obtenida se calculó la media, el error estándar de la media (EE), la desviación estándar (DE), los intervalos de confianza (IC) para la media y la proporción, mediante la utilización del programa JMP® versión 13.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2017).

RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran los promedios, desviaciones y errores estándar, así como los intervalos de confianza al 95% para los indicadores hematológicos evaluados en el presente estudio. No se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) con relación al sexo de los ejemplares participantes (12 machos y 15 hembras).

La cuenta eritrocítica fue de $0.10 \pm 0.05 \times 10^{12} / \text{L}$, la Hb de $81.53 \pm 0.05 \text{ g/L}$, el Hto de $0.35 \pm 0.12 \text{ L/L}$, el VCM de $3926.78 \pm 2679.03 \text{ fL}$, la HCM de $980.58 \pm 690.95 \text{ pg/cel}$ y la CHCM de $234.83 \pm 51.95 \text{ g/L}$. En la cuenta leucocitaria se encontró una media de $1.99 \pm 1.17 \times 10^9 / \text{L}$, de los cuales el conteo de neutrófilos fue de $0.44 \pm 0.27 \times 10^9 / \text{L}$, el de linfocitos de $1.03 \pm 0.8 \times 10^9 / \text{L}$, el de monocitos de $0.25 \pm 0.17 \times 10^9 / \text{L}$, el de melanomacrófagos de $0.08 \pm 0.1 \times 10^9 / \text{L}$, el de eosinófilos de $0.15 \pm 0.2 \times 10^9 / \text{L}$ y el de basófilos de $0.02 \pm 0.04 \times 10^9 / \text{L}$.

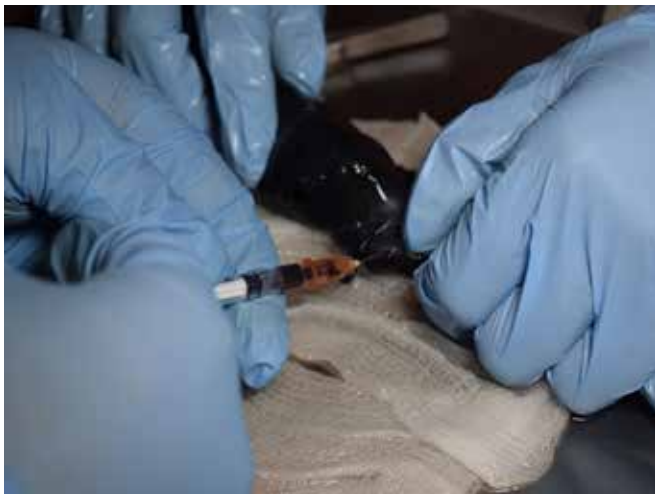


Figure 1. Blood sampling from the branchial plexus

Figura 1. Toma de muestra de sangre del plexo branquial

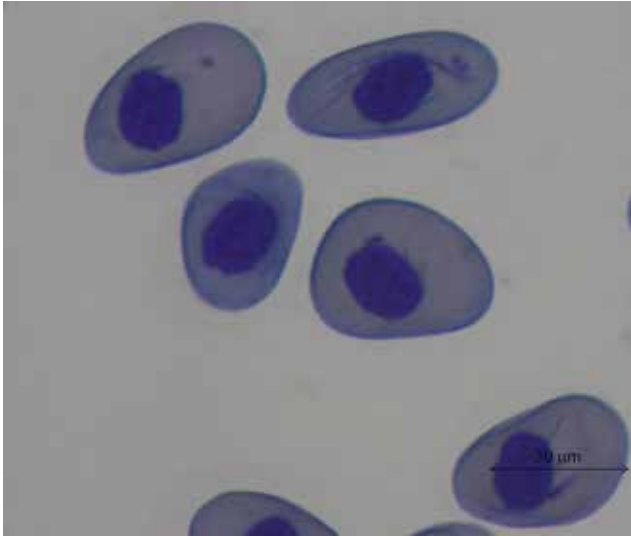


Figure 2. Photomicrography of erythrocytes in a Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*) frotis, Romanowsky stain.

Figura 2. Fotomicrografía de eritrocitos en un frotis de ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*), tinción tipo Romanowsky.

Así mismo, se encontró una cantidad media de trombocitos de $3.23 \pm 3.04 \times 10^9/L$. La cantidad de sólidos totales (g/L) no se analizó, debido a que en la mayoría de las muestras ($n=17$) no fue posible su cuantificación, ya que el refractómetro empleado no registra valores menores a 20 g/L. De acuerdo a la morfología celular, los eritrocitos maduros son células nucleadas ovoides de gran tamaño que miden en promedio $31.87 \mu m$ de largo, presentan hemoglobinización completa (citoplasma color rosa nacarado a naranja claro), membrana citoplasmática marcada

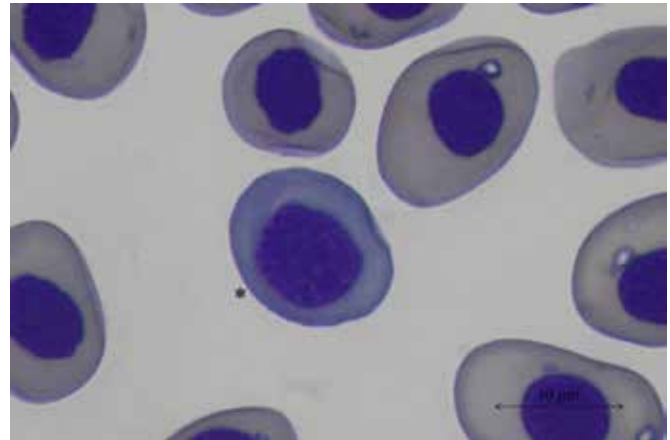


Figure 3. Photomicrography of an immature erythrocyte* in a Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*) frotis, Romanowsky stain.

Figura 3. Fotomicrografía de un eritrocito inmaduro* en un frotis de ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*), tinción tipo Romanowsky.

(notoria al microscopio óptico) y su núcleo es de redondo a ovoide con cromatina de cara cerrada (heterocromatina; Fig. 2). En cambio, los eritrocitos inmaduros (policromatófilos) son células de redondeadas a ligeramente ovoides que miden en promedio $24.38 \mu m$ de largo, presentan hemoglobinización incompleta (citoplasma con colores rosa-azul-grisáceo); la membrana citoplasmática es poco menos notoria que en el eritrocito maduro, pero aún es perceptible y su núcleo es redondo con cromatina de cara abierta (eucromatina; Fig. 3).

Los neutrófilos son células redondas polimorfonucleares (similares a los neutrófilos en mamíferos), que miden en

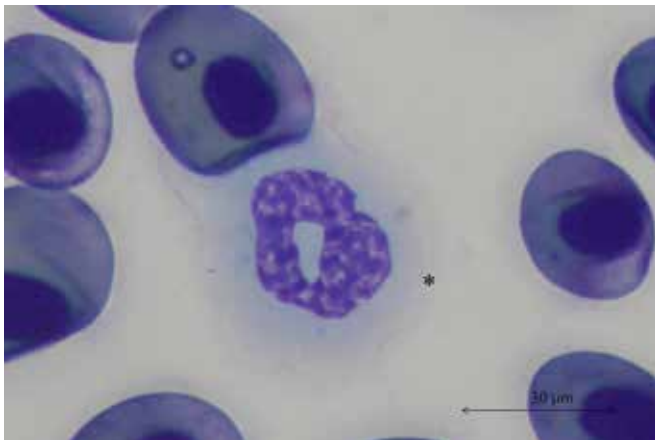


Figure 4. Photomicrography of a neutrophil* in a Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*) frotis, Romanowsky stain.

Figura 4. Fotomicrografía de un neutrófilo* en un frotis de ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*), tinción tipo Romanowsky.

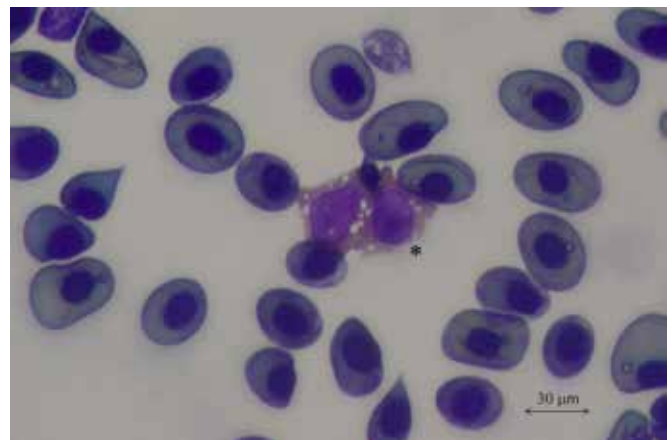


Figure 5. Photomicrography of an eosinophil* in a Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*) frotis, Romanowsky stain.

Figura 5. Fotomicrografía de un eosinófilo* en un frotis de ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*), tinción tipo Romanowsky.

Table 1. Hematological values obtained from specimens of the Xochimilco axolotl, *Ambystoma mexicanum* (n = 30).

Tabla 1. Valores hematológicos obtenidos a partir de ejemplares de ajolote de Xochimilco, *Ambystoma mexicanum* (n =30).

Analito	Unidades	Media	DE	EE	Extremo inferior del IC al 95%	Extremo superior del IC al 95%
Eritrocitos	x 10 ¹² /L	0.101	0.049	0.009	0.083	0.119
Hemoglobina	g/L	81.533	27.204	4.967	71.375	91.691
Hematocrito	L/L	0.355	0.119	0.0218	0.310	0.400
VCM	fL	3926.783	2679.032	489.122	2926.416	4927.150
HCM	pg/cel	980.58	690.948	126.149	722.576	1238.584
Leucocitos	x 10 ⁹ /L	1.987	1.175	0.214	1.549	2.426
Neutrófilos	%	25.1	12.246	2.236	20.527	29.673
	x 10 ⁹ /L	0.443	0.273	0.050	0.341	0.545
Linfocitos	%	49.033	10.864	1.983	44.976	53.090
	x 10 ⁹ /L	1.034	0.801	0.146	0.735	1.333
Monocitos	%	13.733	7.882	1.439	10.790	16.677
	x 10 ⁹ /L	0.256	0.173	0.032	0.191	0.320
Melanomacrófagos	%	5.067	5.789	1.057	2.905	7.228
	x 10 ⁹ /L	0.085	0.0984	0.018	0.048	0.121
Eosinófilos	%	6.333	6.609	1.207	3.865	8.801
	x 10 ⁹ /L	0.151	0.202	0.037	0.076	0.227
Basófilos	%	0.833	1.341	0.245	0.332	1.334
	x 10 ⁹ /L	0.020	0.038	0.007	0.005	0.034
Trombocitos	x 10 ⁹ /L	3.233	3.037	0.554	2.099	4.367

promedio 28.39 μm de largo y aunque presentan granulaciones en el citoplasma, éstas no exhiben afinidad tintorial (Fig. 4). Los eosinófilos son células redondas polimorfonucleares, que miden en promedio 31.97 μm de largo y presentan granulaciones eosinofílicas grandes (color naranja a rosa intenso), las cuales ocupan todo el citoplasma (Fig. 5). Los melanomacrófagos son células similares a monocitos que presentan granulaciones negruzcas en su citoplasma (melanina), que miden en promedio 32.53 μm de largo (Fig. 6).

Los basófilos son células redondas polimorfonucleares que miden en promedio 34.89 μm de largo, presentan granulaciones basofílicas pequeñas (color morado oscuro) las cuales también ocupan todo el citoplasma (Fig. 7). Los linfocitos son células redondas mononucleares que miden en promedio 27 μm de largo y su núcleo ocupa casi la totalidad del citoplasma,

presentan heterocromatina y tienden a acomodarse formando moldeamientos entre los eritrocitos, algunos pueden presentar escasas granulaciones que varían de color en el citoplasma (Fig. 8). En cuanto a los monocitos, éstos son células mononucleares grandes que van de redondas a ligeramente pleomórficas que miden 33.81 μm de largo en promedio, con citoplasma que va de azul claro a grisáceo y pueden presentar vacuolizaciones en el mismo, su núcleo va de redondeado a arriñonado con eucromatina (Fig. 9). Los trombocitos miden en promedio 31.07 μm (Fig. 10).

DISCUSIÓN

La hemograma es una herramienta complementaria para evaluar el estado de salud de un animal. Sin embargo, para poder distinguir alteraciones fisiológicas o patológicas en las diferentes

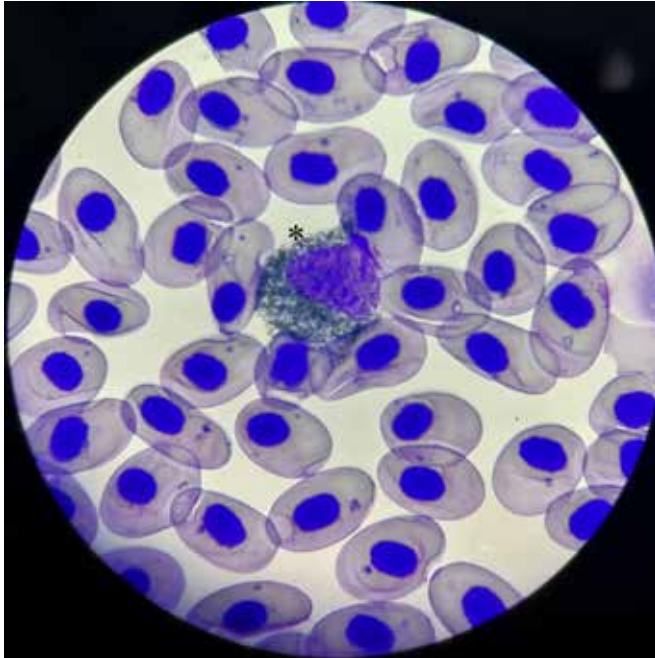


Figure 6. Photomicrography of a melanomacrophage* in a Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*) froitis, Romanowsky stain.

Figura 6. Fotomicrografía de un melanomacrófago* en un froitis de ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*), tinción tipo Romanowsky. .

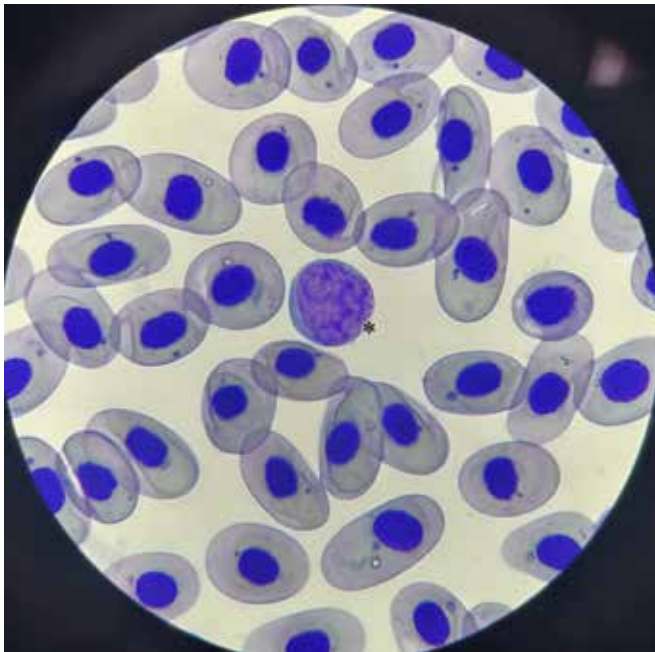


Figure 8. Photomicrography of lymphocytes* in a Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*) froitis, Romanowsky stain.

Figura 8. Fotomicrografía de linfocitos* en un froitis de ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*), tinción tipo Romanowsky.

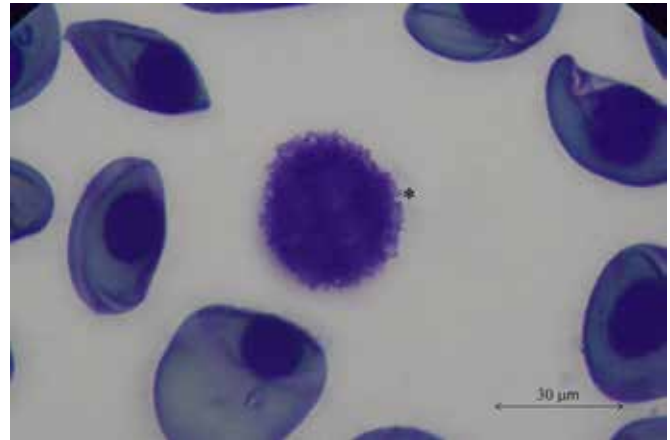


Figure 7. Photomicrography of a basophil* in a Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*) froitis, Romanowsky stain.

Figura 7. Fotomicrografía de un basófilo* en un froitis de ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*), tinción tipo Romanowsky.

células se requiere de los intervalos de referencia normales de la especie en cuestión (Brady et al., 2016). Este estudio pretende contribuir al establecimiento de los valores de referencia para la hemograma de ejemplares adultos, sanos y nacidos en cautiverio de ajolote de Xochimilco.

Se ha reportado que el volumen total mínimo de sangre en los anfibios, corresponde a 7-10% del peso vivo para las especies terrestres y de 13-25% para las acuáticas. De este volumen es recomendable obtener entre el 5 y 10% para evitar en lo posible alteraciones hemodinámicas, metabólicas e incluso la muerte en los ejemplares (Forzán et al., 2017). En salamandras, se recomienda la toma de muestras sanguíneas a partir de la vena coccígea ventral. La cardiocentesis también es utilizada, aunque este método se ha asociado a arrestos cardiacos en anfibios (Hadfield & Whitaker, 2005). Dado que el *Ambystoma mexicanum* mantiene el estado larvario, la vena coccígea ventral no es visible como sucede en salamandras. Debido a que la especie presenta un buen desarrollo de las branquias como adaptación a su medio ambiente acuático, los vasos sanguíneos de éstas son más accesibles para la obtención de la muestra y que, en la experiencia de los autores, sería el sitio de elección en ajolotes de Xochimilco, a pesar de la dificultad que representa la obtención de sangre debido al grosor, tamaño, movilidad y fragilidad de las venas branquiales, sin embargo, no se debe descartar la utilización de la vena femoral (Takami & Une, 2017).

Debido a que existen pocas referencias acerca de los valores hematológicos para el ajolote de Xochimilco, los datos obtenidos también fueron comparados con los intervalos encontrados de especies emparentadas del Orden Caudata como la salamandra

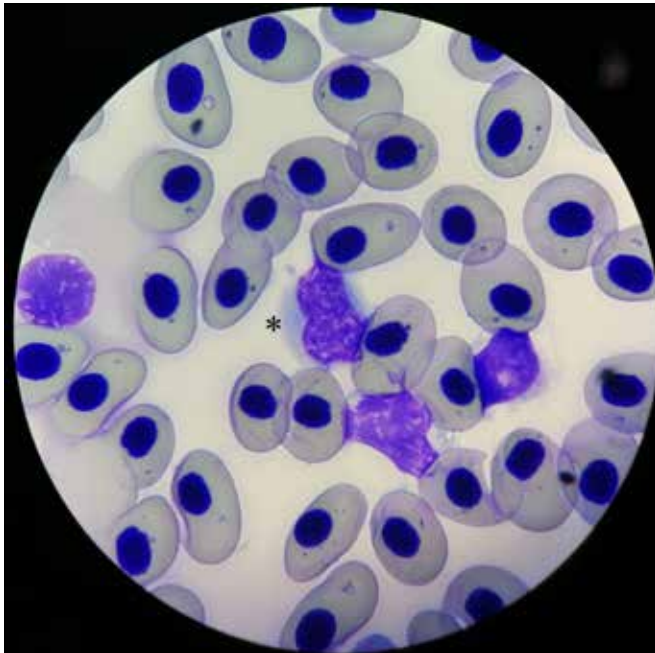


Figure 9. Photomicrography of a monocyte* in a Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*) frotis, Romanowsky stain.

Figura 9. Fotomicrografía de un monocito* en un frotis de ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*), tinción tipo Romanowsky.

tigre de California (*Ambystoma californiense*) que pertenece a la misma familia Ambystomidae y a otras especies de las familias Salamandridae y Cryptobranchidae.

En los ajolotes de Xochimilco se obtuvo un Hto de 35%, siendo muy similar a lo encontrado por Takami y Une (2017) ($n=43$) y Gastelum (2018) ($n=39$) para ejemplares de la misma especie mantenidos en cautiverio ($30.3\% \pm 7.8\%$), y siendo un poco menor a lo reportado por López et al. (2014) para la misma especie (50%) y por Brady y colaboradores (2016) para el *Ambystoma californiense* (47.62%). Dentro del orden Caudata, otras especies reportan valores similares; en la salamandra americana gigante del este (*Cryptobranchus alleganiensis alleganiensis*) es de 41-47% (Solis et al., 2007; Forzán et al., 2017) y en el tritón vientre de fuego japonés del 40% (Pfeiffer et al., 1990), pero correspondiente con el *Cryptobranchus alleganiensis bishop* donde se obtuvo un Hto entre 31-38% (Solis et al., 2007; Forzán et al., 2017). En cuanto a la Hb, el *Ambystoma mexicanum* mostró una concentración de 8.153 g/dL que es similar a lo reportado por López et al. (2014) de 9.98 g/dL y por Gastelum (2018) de 9.468 g/dL en la misma especie y, por Brady et al. (2016) para al *Ambystoma californiense* de 11.26 g/dL. Los anfibios se consideran especies linfocíticas, con un predominio de estas células (Allender & Fry, 2008; Heatley & Johnson, 2009; Arikán & Çiçek, 2014).

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, los linfocitos fueron las células más numerosas (49%), contrario a lo reportado por López (2014) y Gastelum (2018) que encontraron un 13% y un 17.41% para los linfocitos; sin embargo, nuestros resultados corresponden con lo reportado por Brady y colaboradores (2016) en la salamandra tigre de California (*Ambystoma californiense*), donde los linfocitos predominaron con un 48%, así como en la salamandra americana gigante con un 49.3% y 54.6% para las subespecies *Cryptobranchus alleganiensis alleganiensis* y *C. a. bishop* (Solis et al., 2007; Forzán et al., 2017). En el tritón de vientre de fuego japonés (*Cynops pyrrhogaster*) los linfocitos no fueron los más representativos, observando tan solo un 3% dentro de la cuenta leucocitaria (Pfeiffer et al., 1990).

Los leucocitos que presentaron segundo lugar en frecuencia fueron los neutrófilos con un 25.1% en el *Ambystoma mexicanum*, lo que coincide con lo observado por Gastelum (2018) en la misma especie y por Brady et al. (2016), en la salamandra americana gigante (*C. a. alleganiensis* 30.3% y *C. a. bishop* 35.1%) y en el tritón de vientre de fuego japonés con un 28% de heterófilos, sin embargo es diferente al 13% reportado por López et al. (2014). En tercer lugar de frecuencia estuvieron los monocitos con un 13%, lo que es similar al 11.7% reportado por Gastelum (2018) pero contrario al 34% reportado por López et al. (2014) en la misma especie, así como en el *Ambystoma californiense* donde se trataron de las células menos representadas con tan sólo el 1.3% (Brady et al., 2016), lo cual fue similar en *C. a. alleganiensis* 1.1% y *C. a. bishop* 0.6% (Solis et al., 2007; Forzán et al., 2017); sin embargo en *Cynops pyrrhogaster* corresponde con la tercera línea celular más representada con un 6% (Pfeiffer et al., 1990).

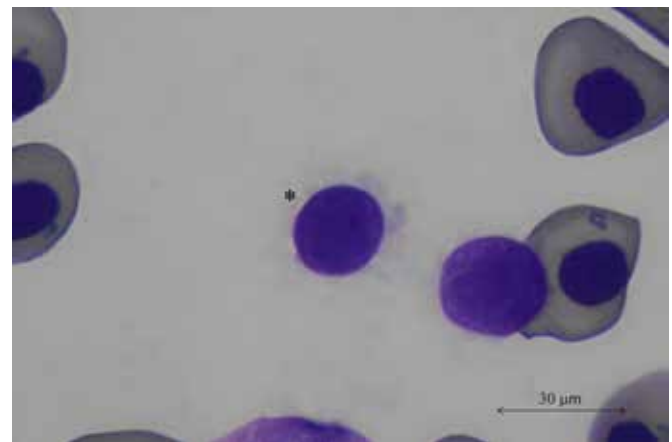


Figure 10. Photomicrography of a thrombocyte* in a Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*) frotis, Romanowsky stain.

Figura 10. Fotomicrografía de un trombocito* en un frotis de ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*), tinción tipo Romanowsky.

En cuarto lugar se registró un 6.3% de eosinófilos, lo que no corresponde a lo reportado por López et al. (2014) y por Gastelum (2018) que fue de un 39% y 42% respectivamente, en la misma especie y, a lo reportado por Brady et al. (2016) en el *Ambystoma californiense* de 19% y Solis et al. (2007) y Forzán et al. (2017) de 10.9% en *C. a. bishop*, sin embargo, es equivalente en *C. a. alleganiensis* (4.1%) (Solis et al., 2007; Forzán et al., 2017) y en *Cynops pyrrhogaster* (4%) (Pfeiffer et al., 1990). Finalmente, las células menos representadas en las muestras de *Ambystoma mexicanum* fueron los basófilos (0.8%) lo que corresponde a lo encontrado por López et al. (2014) y por Gastelum (2018) con 0% para la misma especie, en contraste con el 4.5% reportado en *Ambystoma californiense* donde ocuparon el cuarto lugar por arriba de los monocitos (Brady et al., 2016), 6.9% en *C. a. alleganiensis* (tercer lugar) y 4.3% en *C. a. bishop* (cuarto lugar) (Solis et al., 2007; Forzán et al., 2017). En contraste, en *Cynops pyrrhogaster*, a diferencia de las otras especies, los basófilos fueron las células más representadas con un 57% (Pfeiffer et al., 1990).

Los melanomacrófagos ocuparon el quinto lugar con un 5% de la cuenta leucocitaria total, distinto a lo encontrado por Gastelum (2018) con un 0.64%; sin embargo, en ninguna de las otras especies donde existen reportes de valores de hematología, se ha reportado esta línea celular en la sangre periférica. Los melanomacrófagos son las únicas células productoras de melanina del sistema fagocítico mononuclear en peces, anfibios y reptiles. En anfibios, generalmente se observan como discretos agregados (centros de melanomacrófagos) en el hígado y en menor grado en el bazo, pero no es inusual observarlos en otros tejidos (Pessier, 2007). Una hiperplasia de melanomacrófagos se ha asociado con variaciones estacionales, emaciación o estimulación antigénica (Pessier, 2007).

En peces, se llegan a encontrar agregados en hígado, bazo y riñón; considerándose como indicadores de una posible contaminación ambiental, así como de factores estresantes y juegan un papel importante en la eliminación y limpieza de partículas extrañas (Balamurugan et al., 2012). Si el tamaño de los agregados se incrementa, puede considerarse como indicador de la calidad del agua ya sea por desoxigenación o contaminación química, incrementando su tamaño (Agius & Roberts, 2003). Específicamente en teleósteos, los melanomacrófagos se han observado en branquias, cerebro y gónadas, así como en los tejidos hematopoyéticos (bazo y riñón) y es común encontrarlos alrededor de los vasos sanguíneos (Manrique et al., 2014). Los centros de melanomacrófagos contienen cuatro pigmentos que son la melanina, la hemosiderina, el cerioide y la lipofusina, resultado de los procesos de digestión endosomal-lisosomal (Zieri et al., 2007).

Se piensa que la función de la melanina dentro de los melanomacrófagos es una posible participación en la absorción y neutralización de radicales libres, cationes y otros agentes potencialmente tóxicos derivados de las células fagocitadas, así como para la termorregulación en reptiles (Zieri et al., 2007). Por otro lado, existe evidencia que sugiere que los melanomacrófagos tienen participación en la retención de antígenos por largo tiempo, lo que favorece su interacción con las células linfoides. Varios estudios han demostrado que estos centros celulares incrementan su número en presencia de bacterias intracelulares resistentes como las micobacterias, tal como se demostró en un estudio realizado en tilapias (*Oreochromis niloticus*), donde observaron un mayor incremento del número de centros de melanomacrófagos que indujeron una respuesta granulomatosa tras la inoculación de una especie del género *Bacillus*, en comparación con la respuesta obtenida ante la implantación de un cuerpo extraño (Manrique et al., 2014).

En anfibios, se ha de mostrado que los melanomacrófagos hepáticos, derivados de las células de Kupffer, fagocitan material extraño y eliminan radicales libres produciendo melanina, la cual pudiera ser cuantificada como parte del monitoreo biológico, ya que un incremento en el número y tamaño de estos centros celulares, es producido por alteraciones del hábitat y presencia de contaminantes (Fenoglio et al., 2005; Huespe et al., 2017). López et al. (2015) reportaron la presencia de melanomacrófagos en sangre periférica (79% de la cuenta leucocitaria) en un ejemplar de ajolote de Xochimilco que cursaba con un proceso infeccioso de origen bacteriano, siendo el primer reporte de la hemodinámica de esta línea celular en la especie. De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, donde se observó la presencia de melanomacrófagos en sangre periférica en 26 de los 30 ejemplares examinados, se podría considerar que sea un hallazgo normal en el *Ambystoma mexicanum*, a diferencia de las otras especies de anfibios, reptiles y peces; donde solamente se han encontrado en órganos. Los ejemplares evaluados se encontraban clínicamente sanos al momento del muestreo y en ellos, los melanomacrófagos representaron el 5% de la cuenta leucocitaria total, siendo ésta mucho menor a la reportada por López et al. (2015) como asociada a un proceso infeccioso (79%). Sin embargo, los autores recomiendan que se realicen estudios hematológicos en otras colonias de la especie con la finalidad de comprobar que la presencia de melanomacrófagos en sangre periférica es un hallazgo común en esta especie.

Sería importante realizar más estudios en animales sanos, debido a que los resultados de este estudio y los encontrados por López et al. (2014) y Gastelum (2018) tienen inconsistencias en los diferenciales leucocitarios, lo cual podría revelar una dinámica

de respuesta a la inflamación diferente y que implica mayos cantidad de datos.

De acuerdo con lo observado en los frotis de las muestras sanguíneas de los ajolotes de Xochimilco en este estudio, los hallazgos morfológicos en los eritrocitos coincide con lo reportado por Allender y Fry (2008) y por López et al. (2014), quienes reportan que los eritrocitos de los anfibios son de forma ovalada, de mayor tamaño que los eritrocitos de los mamíferos, que presentan núcleo oblongo y cromatina condensada, además de mencionar que los reticulocitos (eritrocitos inmaduros) son un hallazgo común en anfibios, de menor tamaño que los eritrocitos, de forma más redonda, policromáticos y con cromatina menos condensada. Se ha reportado que algunas salamandras y tritones presentan eritrocitos anucleados; incluso se menciona que algunas salamandras que carecen de pulmones pueden llegar a tener hasta un 90% de éstos (Allender y Fry, 2008). En las muestras analizadas de *Ambystoma mexicanum* no se observaron dichas células.

Con respecto a la morfología leucocitaria, los resultados de este estudio corresponden con las medidas reportadas por López et al. (2014), eritrocitos de 30 – 45 µm de largo por 16 – 26 µm de ancho, neutrófilos de 24 – 42 µm de diámetro, linfocitos de 20 – 40 µm de diámetro, monocitos de 34 – 47 µm de diámetro y eosinófilos de 26 – 40 µm de diámetro.

CONCLUSIONES

La hemograma es una herramienta indispensable para la evaluación del estado de salud de un animal. En el ajolote de Xochimilco es posible la obtención de un volumen adecuado de muestra sanguínea en el plexo branquial mediante el uso de jeringas, lo anterior en ejemplares sometidos bajo anestesia con una dilución de isofluorano en agua potable. Como en muchas otras especies silvestres es difícil detectar manifestaciones evidentes de enfermedad, en ocasiones solo se identifican hasta un estado avanzado de la misma, además de que no hay información médica suficiente sobre rangos fisiológicos, métodos de diagnóstico y medicina aplicada, por lo que este tipo de estudios favorecen el diagnóstico clínico certero y la medicina preventiva. Este es el primer reporte de valores de hemograma completos en la especie y pueden ser la base para futuras investigaciones donde se evalúen las diferencias entre edades y variaciones estacionales, así como entre individuos mantenidos en cautiverio y en vida libre. Debido al tamaño de muestra, y considerando las condiciones ambientales en las que se mantenían a estos individuos, los resultados deben ser utilizados con precaución.

Agradecimientos.— Los autores agradecen a la Dirección General de Zoológicos y Conservación de la Fauna Silvestre de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México por las facilidades otorgadas para la utilización de sus animales, instalaciones y equipo; durante el desarrollo del presente trabajo. Así mismo a Agustín Rodríguez (agusrodriguez) por el material fotográfico.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, M.R. & A.R. Aguilar. 2019. El mítico monstruo del lago: la conservación del ajolote de Xochimilco. *Revista Digital Universitaria* 20:enero-febrero.
- Aguis, C. & R.J. Roberts. 2003. Melano-macrophage centers and their role in fish pathology. *Journal of Fish Diseases* 26:499-509.
- Allender, W. & M. Fry. 2008. Amphibian Hematology. *Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice* 11:463-480.
- Arikan, H. & K. Çiçek. 2014. Haematology of amphibians and reptiles: a review. *North-Western Journal of Zoology* 10:190-209.
- Balamurugan, S., B. Deivasigamani, S. Kumaran & M. Sakthivel. 2012. Melanomacrophage centers aggregation in *P. lineatus* spleen as bioindicator of environmental change. *Asian Pacific Journal of Tropical Diseases*:S635-S638.
- Convention on International Trade in Endangered Species (CITES). 2017. Apéndices I, II y III. Geneva.
- Fenoglio, C., E. Boncompagni, M. Fasola, C. Gandini, S. Comizzoli, G. Milanese & S. Barni. 2005. Effects of environmental pollution on the liver parenchymal cells and Kupffer-melanomacrophagic cells of the frog *Rana esculenta*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60:259-268.
- Forzán, M., J. Heatley, K. Russell & B. Horney. 2017. Clinical Pathology of amphibians: a review. *Veterinary clinical pathology* 46:11-33.
- Gastelum, M.T. 2018. Determinación de los intervalos de referencia para el hemograma del ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*). Tesis de maestría. Departamento de Producción Agrícola y Animal, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México.

- Hadfield, C. & B. Whitaker. 2005. Amphibian Medicine and Critical Care. *Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine* 14:79-89.
- Heatly, J. & M. Johnson. 2009. Clinical Technique: Amphibian Hematology: A Practitioner's Guide. *Journal of Exotic Pet Medicine* 18:14-19.
- Huespe, I., M. Cabagna-Zenkhusen, L.M. Curi, P. Peltzer, M.A. Attademo, N. Villafañe & R. Lajmanovich. 2017. Melanomacrófagos hepáticos y actividad de la enzima glutatión s-transferasa en *Leptodactylus chaquensis* (Anura, Leptodactylae) como biomarcadores de estrés oxidativo por la exposición a clorpirifos. *Acta Biológica Colombiana* 22:234-237.
- IUCN SSC Amphibian Specialist Group. 2020. *Ambystoma mexicanum*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020:e.T1095A53947343. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T1095A53947343.en>. [Accesado el 22 enero del 2021].
- López, D.O., F. Gual, C.M.R. Rodríguez & M.F. Arana. 2014. Avances en la determinación de parámetros hemáticos del ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*). *Memorias del Taller El Programa de Conservación del Ajolote de Xochimilco (Ambystoma mexicanum): salud ecológica en la práctica*. Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México, México.
- López, O., T. Gastelum, F. Gual, E.J. González & A.E. Cruz. 2015. Hallazgos hematológicos en un ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*) durante un proceso infeccioso. VIII Congreso Latinoamericano de Patología Clínica, Cd. Juárez, Chih.
- Manrique, W.G., G. Da Silva, T.R. Petrillo, M. Pardi, M.A. Pereira, M.A. De Andrade, J.R. Engracia & F. Ruas. 2014. Response of splenic melanomacrophage centers of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) to inflammatory stimuli by BCG and foreign bodies. *Journal of Applied Ichthyology* 30:1001-1006.
- Pessier, A. 2007. Cytologic Diagnosis of Diseases in Amphibians. *Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice* 10:187-206.
- Pfeiffer, C., H. Pyle & M. Asashima. 1990. Blood Cell Morphology and Counts in the Japanese Newt (*Cynops pyrrhogaster*). *Journal of Zoological Wild Medicine* 21:56-64.
- Phaff, A. & P. Rosenkilfe. 1993. Amphibian Immunology with a Special Emphasis on Axolotl Haematology. *Axolotl newsletter*. Vol. spring 1993. Copenhagen, Dinamarca.
- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-050-SEMARNAT-2010. Protección ambiental. Especies nativas de México de flora y fauna silvestre. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*, 30 de diciembre de 2010.
- Solis, M., J. Bandeff & Y.W. Huang. 2007. Hematology and serum chemistry of Ozak and Eastern Hellbenders (*Cryptobranchus alleganiensis*). *Herpetologica* 63:285-292.
- Takami, Y. & Y. Une. 2017. Blood clinical biochemistries and Packed cell volumes for the Mexican Axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *Journal of Herpetological Medicine and Surgery* 27:104-110.
- Tosunoglu, M., C. Gül & I. Uysal. 2013. Hematology of *Triturus karelinii* (STRAUCH, 1987), from Gallipoli, Turkey. *Herpetozoa* 25:157-159.
- Zieri, R., S. Taboga & C. De Oliveira. 2007. Melanocytes in the Testes of *Eupemphix nattereri* (Anura, Leiuperidae): Histological, Stereological and Ultrastructural Aspects. *The Anatomical Record* 290:795-800.



LOS HADROSAURIOS (ORNITHOPODA, HADROSAUROIDEA) MEXICANOS: UNA REVISIÓN CRÍTICA

THE MEXICAN HADROSAURS (ORNITHOPODA, HADROSAUROIDEA): A CRITICAL REVIEW

ÁNGEL ALEJANDRO RAMÍREZ VELASCO^{1*}

¹Posgrado en Ciencias Biológicas, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la investigación s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México, 04510.

*Correspondence: angelalejandro@gmail.com

Received: 2021-02-05. Accepted: 2021-05-11.

Abstract.—This manuscript provides an updated overview of the knowledge about Mexico's hadrosaurs through the critical review of 175 publications between 1913 and 2019, which report osteological, ichnological, tegumentary, dental and oological remains of these organisms. The data were synthesized and analyzed using traditional statistical methods, accumulation curves and sampling efforts. In addition, a catalogue of 166 paleontological sites belonging to 18 geological units is provided, whose ages are between the Albian and the Maastrichtian, in the states of Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Puebla and Michoacán. The data collected recognize a comparatively low taxonomic diversity with respect to the rest of North America, even though the study of these dinosaurs began systematically since the 80's in Mexico. Only five species have been described from bony remains and a single icnospecies, whereas other remains have been only vaguely identified. The review of the history of the study of hadrosaurs in Mexico, as well as the curves of the corresponding sampling effort, suggest that these dinosaurs were diverse and abundant in this country and distinct from the rest of America.

Key words.— Cretaceous, bone remains, fossil record, ichnites.

Resumen.— Este trabajo ofrece un panorama actualizado sobre los hadrosaurios de México a través de la revisión crítica de 175 publicaciones aparecidas entre 1913 y 2019, donde se reportan restos de naturaleza ósea, icnológica, tegumentaria, dental y oológica de estos organismos. Los datos fueron sintetizados y analizados mediante métodos estadísticos tradicionales y curvas de rarefacción. Además, se proporciona un catálogo de 167 sitios paleontológicos correspondientes a 18 unidades geológicas, ubicadas entre la edad del Albiano y el Maastrichtiano, presentes en los Estados de Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Puebla y Michoacán. Los datos recopilados permiten reconocer una diversidad taxonómica comparativamente baja con respecto al resto de América del Norte, a pesar de que el estudio de estos dinosaurios se iniciara de manera sistemática desde los 80's en México. Sólo cinco especies han sido descritas formalmente a partir de restos óseos y una icnoespecie, en tanto que otros restos fósiles sólo han sido vagamente identificados. La revisión de la historia del estudio de los hadrosaurios en México, así como las curvas obtenidas del correspondiente esfuerzo de muestreo, sugieren una abundancia y diversidad de estos dinosaurios distinta al resto de América.

Palabras clave.— Cretácico, icnitas, registro fósil, restos óseos.

INTRODUCCIÓN

Los hadrosaurios son un grupo muy diverso de dinosaurios ornitiscios formalmente agrupados dentro de la superfamilia Hadrosauroidea (Huene, 1954) y comúnmente conocidos como “dinosaurios picos de pato” o “vacas del Cretácico” (Horner et

al., 2004). Actualmente, este clado incluye 98 especies dentro de 85 géneros (*obs. pers.*), agrupando representantes basales y troncales del grupo (nombrados aquí como hadrosauroideos primitivos), así como miembros derivados reunidos en la Familia Hadrosauridae y sus dos subfamilias, Saurolophinae y Lambeosaurinae (Fig. 1A).

A

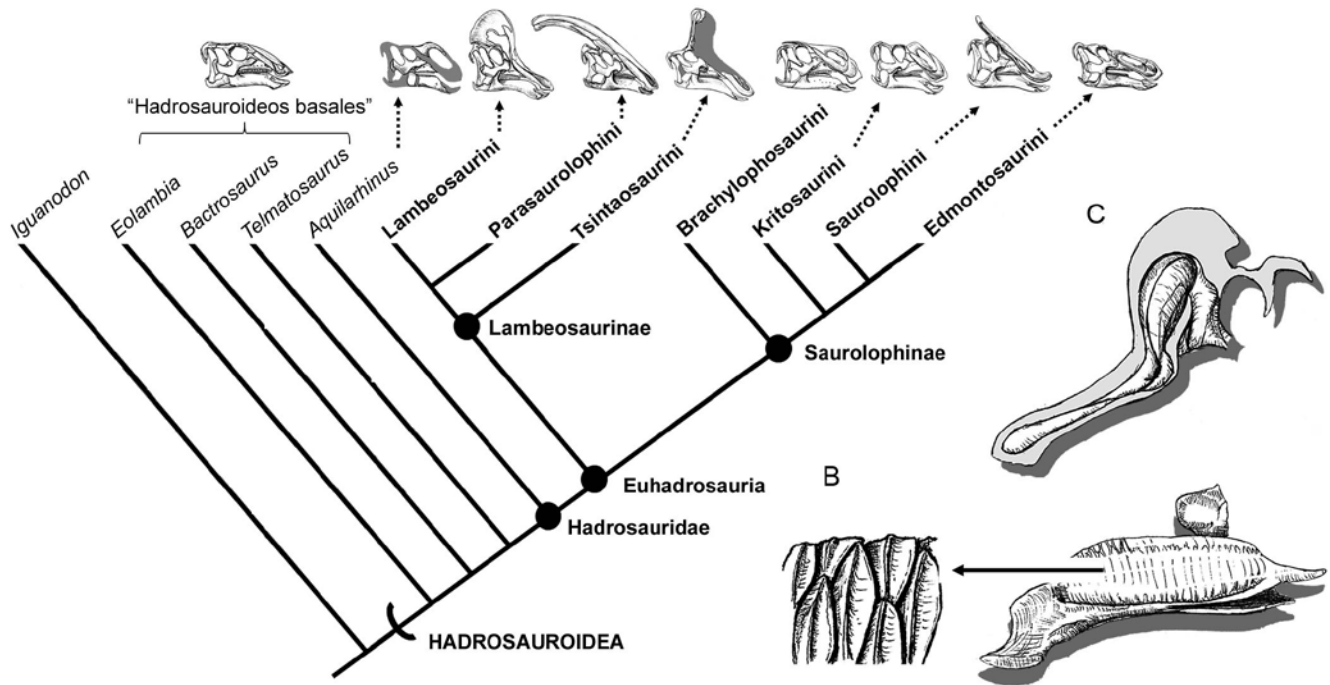


Figure 1. A, Phylogenetic relationship of the hadrosaur group (*sensu* Prieto-Márquez et al., 2019). B, C, Evolutionary innovations of hadrosaurs: B, illustration of a dental battery, showing the arrangement of teeth in the form of a dental battery. C, Dorsal segment of the skull of a lambeosaurine dinosaur, showing the internal nasal passages of the cranial crest (illustrations by the author).

Figura 1. A, Relaciones filogenéticas del grupo de los hadrosaurios (*sensu* Prieto-Márquez et al., 2019). B, C, Innovaciones evolutivas de los hadrosaurios: B, ilustración de un dentario en vista medial, mostrando el acomodo de sus dientes en forma de una batería dental. C, Segmento dorsal del cráneo de un lambeosaurino, mostrando los pasajes nasales internos de la cresta craneal (ilustraciones del autor).

De acuerdo con Rabosky (2017), las innovaciones clave de los distintos clados, son aquellas novedades morfológicas que le permiten a un linaje interactuar de forma única y con la máxima eficiencia ante el medio ambiente, y además son verdaderas detonadoras de la diversificación taxonómica. En el clado de los hadrosaurios, estas innovaciones clave involucran al aparato masticador y al desarrollo de crestas craneales (Stubbs et al., 2019).

El sofisticado aparato masticador de estos dinosaurios herbívoros incluye cambios en el reemplazo y tamaño de los dientes, la estructura de la mandíbula y la disposición de los músculos asociados, los cuales dieron como resultado un mayor aprovechamiento de los alimentos (Horner et al., 2004; Strickson et al., 2016; Leblanc et al., 2016) (Fig. 1B). En estos dinosaurios, los dientes no eran reemplazados completamente, ni sus raíces eran reabsorbidas, como ocurre en otros vertebrados (Leblanc et al., 2016). Por el contrario, el uso de cada diente se optimizó al

máximo y sólo desaparecía tras ser desgastado en su totalidad (Leblanc et al., 2016). De esta manera, es común observar que cada alveólo alberga varios dientes surgidos en distintos momentos. Tras el reacomodo de estos elementos apareció una batería dental innovadora, compuesta de dientes de pequeño tamaño y de múltiples generaciones, que al ser apilados y entrelazados lateralmente dieron lugar a una superficie masticatoria creciente y continua (Horner et al., 2004; Leblanc et al., 2016). En los hadrosaurios más derivados (Familia Hadrosauridae; Fig. 1A), esta batería dental incluyó cerca de 300 dientes por mandíbula, con un máximo de 60 alveólos (Stubbs et al., 2019). También surgió un movimiento rotativo mandibular (Nabavizadeh, 2016) que involucró el reacomodo de los músculos asociados al movimiento de cada hemimandíbula y a la transformación de las mismas. Como resultado el proceso coronoideo se alargó y curvó mediolateralmente, la cresta coronoidea (el extremo dorsal del proceso coronoideo) se expandió rostrocaudalmente y la cresta labial dentaria se dilató rostralmente (Bell et al.,

2009; Cuthbertson et al., 2012; Nabavizadeh, 2014, 2016, 2020). Gracias a estas innovaciones, los hadrosaurios, de manera similar a los mamíferos y a otros dinosaurios ornitisquios (ver a Nabavizadeh, 2016), fueron capaces de procesar mejor la materia vegetal gracias a la mejora en la eficiencia masticadora (Galton, 1986; Weishampel & Norman, 1989).

Por otro lado, los hadrosaurios desarrollaron un mecanismo de exhibición-identificación (*display*) intraespecífica a partir del alargamiento y migración caudal de los conductos nasales, y de los huesos premaxilar y nasal (Horner et al., 2004; Evans, 2010; Bell et al., 2014; Prieto-Márquez et al., 2015; Fig. 1C). Estas estructuras resultaron en la aparición, en algunas especies, de una cresta craneal distintiva que pudo tener funciones en los procesos de termorregulación, respiración, defensa, alimentación y/o vocalización (Hone et al., 2011; Evans, 2010). Actualmente, es sabido que la familia de los hadrosáuridos desarrolló esta cresta craneal, que bien pudo estar constituida exclusivamente de tejidos blandos, como en *Edmontosaurus* (Bell et al., 2014) o bien soportada por elementos óseos como en la mayoría de los miembros de esta familia (Prieto-Márquez et al., 2019). De acuerdo con Horner et al. (2004), la cresta craneal apareció repetidamente en distintos subclados de hadrosáuridos, sin embargo, recientemente se ha señalado que la presencia de este rasgo representa una verdadera sinapomorfia de la familia y que dentro de sus subclados ésta se modificó de manera independiente en distintos pulsos (Prieto-Márquez et al., 2019; Stubb et al., 2019). Un pulso está presente en las formas ubicadas en la base de la subfamilia Lambeosaurinae (Fig. 1A), en las cuales estas crestas óseas son huecas. Otro pulso habría ocurrido en la tribu Saurolophini (Fig. 1A), donde las crestas son sólidas, aciculares y alargadas. Entre los hadrosáuridos, la presencia y forma de la cresta craneal es un rasgo peculiar que se supone intensificó la capacidad de comunicación interespecífica, afectando de manera positiva los hábitos gregarios, el cuidado parental, y posiblemente el comportamiento socio-sexual de estos dinosaurios (Horner et al., 2004; Stubb et al., 2019).

Alrededor del mundo, los hadrosaurios son conocidos por esqueletos casi completos, huesos aislados, dientes, impresiones de piel, huevos y rastros, los cuales, hacen de este registro fósil uno de los más ricos entre los dinosaurios. Éstos constituyeron un grupo de dinosaurios ampliamente distribuido, muy abundantes en América del Norte y Eurasia mientras que en África y América del Sur son menos conocidos (Horner et al., 2004; Soto-Acuña et al., 2014; Cruzado-Caballero et al., 2018; Longrich et al., 2020; Meyer et al., 2020). Más de un siglo después del descubrimiento de fósiles de hadrosaurios en México (Haarmann, 1913; Janensch, 1926; Taliaferro, 1933, entre otros) y a pesar del creciente interés

por éstos (ej. Gudiño-Maassán y Guzmán, 2014; Ramírez-Velasco y Hernández-Rivera, 2015) las implicaciones científicas de los ejemplares encontrados, preparados y estudiados en México aún son relativamente poco significativas.

Tomando lo anterior, el objetivo de este trabajo es llevar a cabo una revisión crítica de la bibliografía científica que aborda el estudio de distintos aspectos de los hadrosaurios mexicanos. Esta revisión se hace con la intención de dar a conocer la importancia de estos fósiles en el escenario mundial e identificar los factores que han controlado su devenir histórico, para mejorar las futuras investigaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diversidad, abundancia y distribución

Se ha elaborado un registro de las colecciones paleontológicas públicas y privadas conocidas, que contengan fósiles de hadrosaurios provenientes de México (Tabla 1). A partir de esta revisión, y con ayuda de las referencias bibliográficas disponibles, se analizó la diversidad, abundancia y distribución de estos restos, así como del tipo de fósiles que estos representan y de los estudios que se han hecho al respecto.

Clasificación de documentos

El análisis cuantitativo y cualitativo del conocimiento de los hadrosaurios en México está basado en la revisión exhaustiva de 175 documentos publicados entre 1913 y 2019, en medios nacionales e internacionales, incluyendo libros, capítulos de libros, artículos especializados, resúmenes de congresos, tesis, y reportes de proyectos citados en artículos. Además, se ha creado una base de datos (Apéndice 1), donde se han considerado las siguientes categorías: Tipo de Publicación, Tipo de Estudio, Tipo de Fósil, Localidad y/o Unidad Geológica, Tipo de Asociación Paleontológica, y Grupo Taxonómico estudiado:

Tipos de Publicación.— Emulando a Cristín y Alvarado-Ortega (2017), los documentos se clasificaron como publicaciones científicas, resúmenes de congresos, compendios especiales (capítulos de libros), tesis, informes inéditos y publicaciones de divulgación (libros o revistas). Se consideraron como “informes inéditos” a aquellos textos que fueron elaborados *ad hoc* para reportar los logros alcanzados en un trabajo científico financiado (ej. Cervantes-León & Rivera-Sylva, 2008; Aguilar et al., 2013, 2014). De igual manera, se registraron como “publicaciones de divulgación” a aquellos textos publicados en libros y artículos de revistas no especializadas (= no arbitrada y/o no indexadas) que tienen como objetivo popularizar el conocimiento en los avances o el estado del arte de un tema científico particular (ej.

Table 1. List of paleontological collections with hadrosaur remains collected from Mexico, showing the number of active researchers from each institution.**Tabla 1.** Lista de colecciones paleontológicas con restos de hadrosaurios colectados de México, mostrando el número de investigadores activos de cada institución.

Investigadores activos	Colecciones institucionales y privadas con fósiles de hadrosaurios
—	Colección de Paleontología, Museo de Paleontología (UCMP), Universidad de California, Berkeley campus (UCMP). Berkeley.
—	Colección de Paleontología de Vertebrados, Museo de Historia Natural del Condado de los Ángeles (LACM). Los Ángeles.
—	Colección de Paleontología de Vertebrados, Museo del Real Ontario (ROM). Toronto.
—	Colección de Paleontología, Laboratorio de paleontología. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali.
—	Museo de Paleontología de Fronteras, Sonora. Municipio de Fronteras.
C.M. González León	Colección de Paleontología, Estación de la Región del Noroeste del Instituto de Geología, UNAM. Ciudad de Hermosillo.
—	Laboratorio de Arqueozoología, Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico, Instituto Nacional de Antropología e Historia. Ciudad de México.
I. Ferrusquía Villafranca M. Montellano Ballesteros L. Espinosa Arrubarrena R. Hernández-Rivera	Colección Nacional de Paleontología (CNP) y Museo de Geología, Instituto de Geología, UNAM, Departamento de Paleontología. Ciudad de México.
—	Colección privada de Claudio de León, con registro del Instituto Nacional de Antropología e Historia. Ciudad de Saltillo
—	Colección privada de Homero. San Miguel.
—	Colección privada de R. Guajardo (anteriormente colección de los Paleontólogos Aficionados de Sabinas Coahuila, PASAC). Sabinas
—	Colección de Paleontología. Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ingeniería. Ciudad de Chihuahua
—	Colección privada de Homero. San Miguel.
H. Rivera Sylva M.C. Aguillón Martínez	Colección Paleontológica de Coahuila (CPC) y Colección Paleontológica de la SEPC. Museo del Desierto Coahuila. Ciudad de Saltillo.
—	Colección de Paleontología, Departamento de Petrografía, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Aguascalientes.
Espinosa Chávez C. Serrano Brañas	Museo y Laboratorio de Paleontología de la Benemérita Escuela Normal de Coahuila, Ciudad de Saltillo.
—	Museo de la Semilla. Ciudad de Chihuahua
—	Museo del Mamut. Colección privada del Sr. Roberto Fierro. Ciudad de Chihuahua.
—	Museo del Desierto Chihuahuense. Ciudad de Delicias.
F. Aguilar	Colección Paleontológica, Departamento de Paleontología, Centro INAH Coahuila (CIC). Ciudad de Saltillo.
R. Rodríguez de la Rosa	Colección del "Laboratorio de Paleontología". Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ciencias Biológicas. Ciudad de Zacatecas.
—	Colección privada y zona Paleontológica del Rancho Don Chuy. Asociación Civil Rancho Don Chuy. En Ciudad de Chihuahua (Colección) y zona paleontológica del Rancho Don Chuy en el Municipio de Aldama.
—	Colección de Paleontología, Museo de Paleontología de Múzquiz. Múzquiz.
—	Museo de Paleontología. Rincón Colorado.
—	Colección Docente de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Estado de México.
—	Colección privada y zona Paleontológica del Rancho Don Chuy. Asociación Civil Rancho Don Chuy. En Ciudad de Chihuahua (Colección) y zona paleontológica del Rancho Don Chuy en el Municipio de Aldama.
—	Colección de Paleontología, Museo de Paleontología de Múzquiz. Múzquiz.
—	Museo de Paleontología. Rincón Colorado.
—	Colección Docente de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Estado de México.

Hernández, 1994; Rodríguez de la Rosa, 2015; De León-Dávila, 2019).

Tipos de Estudio.— En esta categoría se discrimina el tipo o tema de estudio principal contenido en cada uno de los documentos analizados, con base en aquellos tipos ya conceptualizados por Weishampel (2014) (ej. Listado faunístico, Taxonomía general, Bioestratigrafía, Tejido blando y Paleoecología), más otros cuatro aquí sugeridos como: Método, Paleoicnología, Tafonomía y Paleopatología. El tipo “Método” incluye documentos que describen nuevas técnicas de colecta, preparación, recopilación de datos y análisis de los materiales paleontológicos, o bien sugieren la implementación de mejoras a técnicas preexistentes, como en Gudiño-Maussán et al. (2018), quienes usaron la fotogrametría como una técnica de estudio de icnitas no invasiva. El tipo “Paleoicnología” incluye documentos donde se describen y analizan fósiles trazas (huevos y pisadas) de manera detallada; por ejemplo, Bravo-Cuevas y Jiménez-Hidalgo (1996), que describen de manera detallada icnitas, los rastros y su ubicación estratigráfica.

El tipo “Tafonomía” reúne documentos que descubren y describen los procesos que afectan el modo de conservación de los fósiles, modificando los restos postmortem, como los rasgos que originaron dicho yacimiento; por ejemplo, Serrano-Brañas y Espinosa Chávez (2017), donde analiza el yacimiento fósil de un dinosaurio e interpreta el origen del tipo de acumulación de huesos. Finalmente, el tipo “Paleopatología” reúne documentos donde se describen las enfermedades conservadas en los fósiles, realizando interpretaciones de como estas afectaron la salud del organismo; por ejemplo, Ramírez-Velasco et al. (2016), donde se identifican las patologías en un hadrosaurio. Como caso especial el tipo “Taxonomía general” se modificó del de Weishampel (2014) para incluir trabajos donde se describan de manera detallada un resto osteológico, como la mayoría de las tesis.

Tipos de Fósiles.— En esta categoría se registra el tipo de fosilización que conserva la evidencia fósil reportada en cada documento, siguiendo los presentes criterios: icnitas (huellas), improntas tegumentarias (impresiones de piel), cáscaras o huevos, restos postcraneales, restos craneales, fragmentos óseos (nomenclatural y/o taxonómicamente no identificables), y esqueleto parcial (se refiere a fósiles que representan materiales craneal y postcraneal asociado).

Localidad y/o Unidad Geológica.— Para contrastar la calidad y cantidad de estudios elaborados en cada sitio paleontológico con hadrosaurios, se clasificaron los documentos publicados a partir de la localidad o unidad geológica de los fósiles abordados.

Tipo de Asociación Paleontológica.— Los documentos incluidos en este estudio fueron categorizados a partir de la pertenencia de los fósiles a alguno de los siguientes tipos de asociaciones paleontológicas (Serrano-Brañas, 2017): Icnitas aisladas (yacimiento donde sólo localizaron pisadas aisladas y no hay ningún otro tipo de fósiles), rastro (cuando se observan secuencia de icnitas de uno o más individuos), fósiles aislados, fósiles asociados, fósiles articulados, fósiles acumulados en superficies amplias (= *bonebeds*), o fósiles acumulados en superficies pequeñas o micrositios.

Grupo taxonómico.— Los documentos analizados aquí son asociados con el o los grupos taxonómicos estudiados.

Producción Científica Relativa

Se refiere a la cuantificación del número relativo de publicaciones científicas sobre los hadrosaurios generados en México y su posible impacto en el medio académico del país. Para ello, se recopilaron los datos disponibles en el portal The Paleobiology Data Base (PBDB; paleodb.org) hasta noviembre del 2019 y los datos obtenidos de la clasificación de documentos, siguiendo los criterios de distintos autores (López & Truysols, 1994; Benton et al., 2011). Con esta información, se generaron curvas de producción anual de publicaciones científicas con ayuda del paquete Excel (Apéndice 1 y 2). Éstas se analizaron para las cuatro regiones de América, que incluyen Canadá, Estados Unidos de Norte América, México y América del Sur (en donde se agruparon a Argentina, Bolivia, Brasil y Chile).

Diagrama de Venn

La representatividad de los hadrosaurios mexicanos respecto a la asociación específica y genérica de éstos en toda América, se estimó considerando las especies y géneros válidos reportados en las regiones de Canadá, Estados Unidos, América del Sur y México. Como resultado de esta comparación se presenta un Diagrama de Venn donde se señala el número de taxones compartidos por dos a más regiones y el porcentaje de estos elementos comunes respecto a toda América.

Curvas de rarefacción (esfuerzo de colecta)

Siguiendo a Roup (1975) y Benton et al. (2011), se generaron curvas de acumulación mediante la rarefacción individual para Canadá, Estados Unidos, América del Sur y México. En ellas se consideraron tanto especies válidas, así como ejemplares referidos a categorías taxonómicas supra específicas, señaladas como indeterminadas, conferidas o afines, reconocidos en las distintas unidades geológicas de cada región. Los datos de ocurrencia considerados aquí fueron obtenidos a través del PBDB (2019) (Apéndice 2) y procesados con el programa PAST

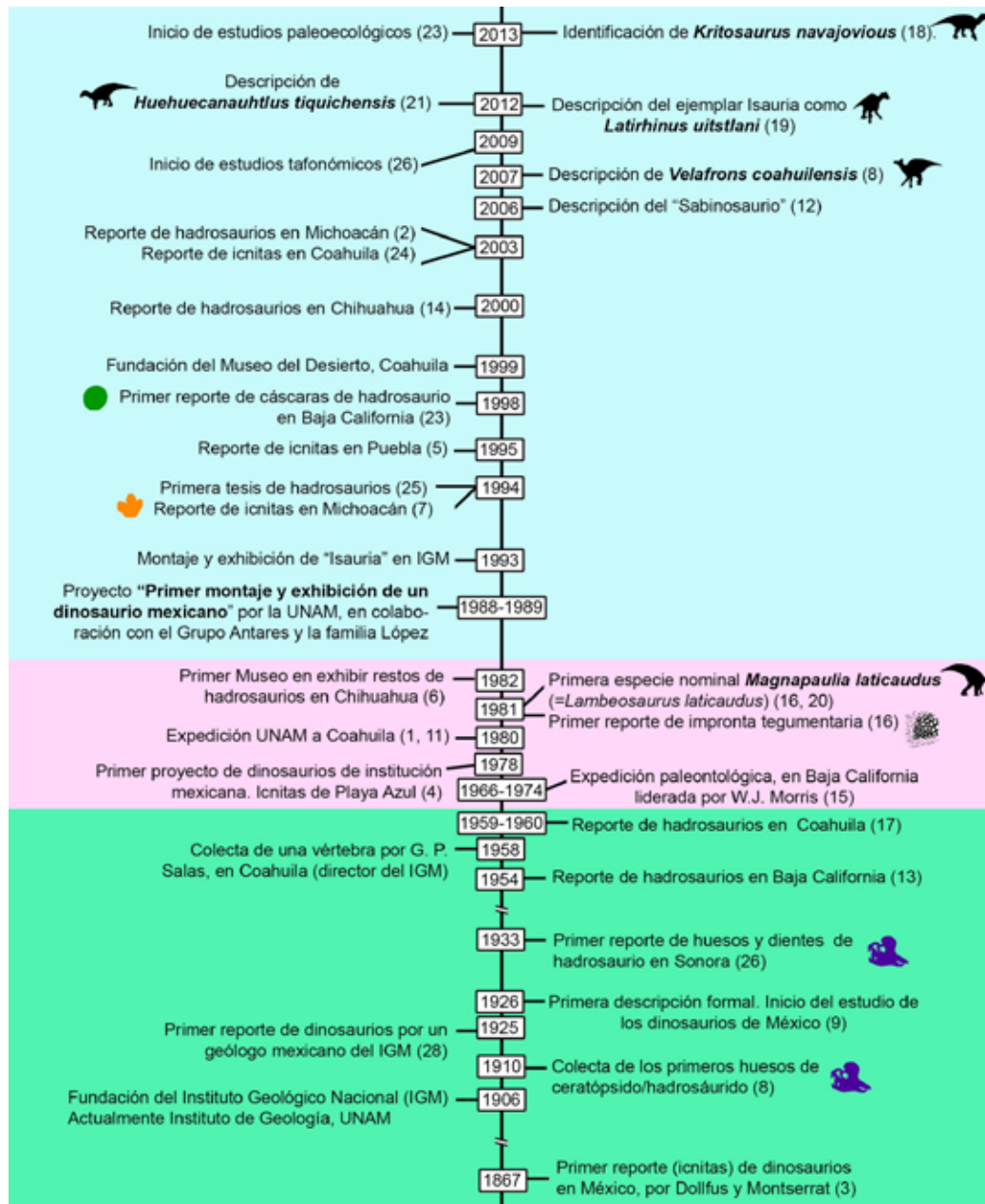


Figure 2. History of hadrosaur paleontology in Mexico. On the right side are studies led by foreign researchers, and on the left side those led by Mexican researchers. References: 1. Applegate (1988); 2. Bennami et al. (2004); 3. Dollfus y Montserrat (1867); 4. Ferrusquía-Villafranca et al. (1978); 5. Ferrusquía-Villafranca et al. (1995); 6. Fierro-Chavarría y Megías Rodríguez, 2019; 7. García Orozco and Zamora Vega (1994); 8. Gates et al. (2007); 9. Haarmann (1913); 10. Janensch (1926); 11. Kirkland et al. (2000); 12. Kirkland et al. (2006); 13. Langstone y Oalkes (1954); 14. Montellano-Ballesteros et al. (2000); 15. Morris (1971); 16. Morris (1981); 17. Murray et al. (1960); 18. Prieto-Márquez (2013); 19. Prieto-Márquez and Serrano-Brañas (2012); 20. Prieto-Márquez et al. (2012); 21. Ramírez-Velasco et al. (2012); 22. Rivera-Sylva and Barrón (2013); 23. Rodríguez de la Rosa (1998); 24. Rodríguez de la Rosa et al. (2003); 25. Serrano-Brañas (1994); 26. Serrano-Brañas et al. (2009); 27. Taliaferro (1933); 28. Vivar (1925).

Figura 2. Historia de la paleontología de hadrosaurios en México. Del lado derecho se muestran los estudios liderados por investigadores extranjeros, y del lado izquierdo los liderados por investigadores mexicanos. Referencias: 1. Applegate (1988); 2. Bennami et al. (2004); 3. Dollfus y Montserrat (1867); 4. Ferrusquía-Villafranca et al. (1978); 5. Ferrusquía-Villafranca et al. (1995); 6. Fierro-Chavarría y Megías Rodríguez, 2019; 7. García Orozco y Zamora Vega (1994); 8. Gates et al. (2007); 9. Haarmann (1913); 10. Janensch (1926); 11. Kirkland et al. (2000); 12. Kirkland et al. (2006); 13. Langstone y Oalkes (1954); 14. Montellano-Ballesteros et al. (2000); 15. Morris (1971); 16. Morris (1981); 17. Murray et al. (1960); 18. Prieto-Márquez (2013); 19. Prieto-Márquez y Serrano-Brañas (2012); 20. Prieto-Márquez et al. (2012); 21. Ramírez-Velasco et al. (2012); 22. Rivera-Sylva y Barrón (2013); 23. Rodríguez de la Rosa (1998); 24. Rodríguez de la Rosa et al. (2003); 25. Serrano-Brañas (1994); 26. Serrano-Brañas et al. (2009); 27. Taliaferro (1933); 28. Vivar (1925).

3.25 (Hammer et al., 2011), bajo los comandos de rarefacción individual, el log. Gamma por default, y con un intervalo de confianza del 95%. De igual manera se generaron curvas del esfuerzo muestral en las distintas unidades geológicas portadoras de restos de hadrosaurios en México, nuevamente empleando el programa PAST 3.25 (véase Apéndice 1 y 2).

RESULTADOS

Historia del estudio de los hadrosaurios de México

Ya entrada la segunda mitad del siglo XIX, Dollfus y Montserrat de la *Commission Scientifique du Mexique* (1867) reportaron el primer hallazgo en México de icnitas de dinosaurios en el Estado de Sonora (Fig. 2). A partir de entonces, se repitieron hallazgos similares en la parte norte del país, gracias al desarrollo de estudios geológicos emprendidos por investigadores nacionales (Vivar, 1925; Cabrera et al., 1984) y extranjeros (Haarmann, 1913; Taliaferro, 1933; Langstone & Oakes, 1954; Díaz et al., 1959; Murray et al., 1960; Weidie, 1961; Weidie & Murray, 1967; Weidie et al., 1972; McBride et al., 1974; Edmund, 1985) principalmente provenientes de la Universidad de California Berkeley y la Universidad de Luisiana. Sesenta años después, el paleontólogo alemán Werner Janensch (1926) identificó el primer dinosaurio de este país como *Monocloniulus* sp. (= *Centrosaurus* Lambe, 1904), un ceratópsido procedente del sitio Soledad Beds, Municipio Sierra Mojada, Coahuila. Recientemente, distintos autores (Rivera-Sylva & Carpenter, 2014; Rodríguez de la Rosa, 2015) han señalado que los restos de este ceratópsido mexicano en realidad son restos de un hadrosaurio.

Más de un siglo después de su descubrimiento en territorio mexicano, el primer proyecto de una institución nacional encaminado a estudiar los dinosaurios fue emprendido en 1978, liderado por los investigadores del Instituto de Geología de la UNAM Ismael Ferrusquía Villafranca, Shelton P. Applegate y Luis Espinosa Arrubarrena. Como resultado de este trabajo, se describieron huellas de terópodos y ornitópodos del Jurásico Tardío-Cretácico Temprano expuestas en el sitio de Playa Azul, Municipio Lázaro Cárdenas, Estado de Michoacán (Ferrusquía-Villafranca et al., 1978).

Aunque las icnitas de ornitópodos descubiertas por estos autores presentan algunos rasgos de hadrosaurios basales (*obs. pers.*), la determinación más precisa de éstas requiere de nuevos análisis. Posteriormente, Ferrusquía y sus estudiantes continuaron con el estudio de icnitas, incluyendo aquellas atribuibles a hadrosaurios del Cretácico tardío encontradas en Michoacán y Puebla (Bravo-Cuevas & Jiménez-Hidalgo, 1996; Ortíz-Mendieta, 2001; Fig. 3).

El primer hadrosaurio mexicano formalmente nominado es *Magnapaulia laticaudus* (inicialmente atribuido al género *Lambeosaurus*), cuyos restos fueron recuperados en el sitio El Rosario, en Baja California, entre 1966-1974, como parte de los resultados del proyecto del Dr. William J. Morris de la Universidad del Condado de Los Ángeles, que contó con la colaboración de los investigadores de la UNAM, I. Ferrusquía-Villafranca y S.P. Applegate (Bravo-Cuevas & Jiménez-Hidalgo, 1996) (Fig. 2). Este trabajo generó el impulso definitivo que los paleontólogos mexicanos requerían para encabezar las investigaciones de dinosaurios de este país.

En los albores de la década de 1980, Applegate (1988) lanza su publicación “¿Es México un país de Dinosaurios?”, que es fundamental para el desarrollo de futuros grupos de investigadores mexicanos dedicados a los dinosaurios. Ese mismo año, I. Ferrusquía-Villafranca y S.P. Applegate, acompañados por L. Espinosa Arrubarrena y Víctor Torres, aprovecharon la búsqueda de mamíferos mesozoicos en Coahuila para considerar la posibilidad de emprender futuros proyectos de dinosaurios en esta región (Espinosa et al., 1989; Fig. 2). Entonces, estos investigadores establecieron contactos con pobladores locales conocedores de múltiples localidades, entre los que se incluye a los señores José Rojas y Ramón López, quienes donaron algunos materiales hoy alojados en la UNAM. De manera paralela a estos eventos, en la región norte del país se estableció el Museo de Paleontología de Delicias “Roberto Fierro”, un museo privado que exhibe fósiles de México, incluyendo numerosos restos de hadrosaurios del Estado de Chihuahua desde 1982 (Fierro-Chavarría & Megías Rodríguez, 2019).

En 1987, un equipo del Instituto de Geología, que incluyó a René Hernández Rivera, L. Espinosa Arrubarrena y S.P. Applegate (quienes en conjunto con el Dr. I. Ferrusquía Villafranca pueden ser considerados como “padres” fundadores de la escuela mexicana de paleontología de dinosaurios), iniciaron el proyecto “Primer montaje de un dinosaurio colectado, preparado y armado en México”, también conocido como proyecto “Isauria”. Este proyecto fue apoyado por el CONACyT y contó con la colaboración del Grupo Antares (actualmente la SEPC) y miembros de la familia López (Espinosa et al., 1989; Hernández, 1994). Tal esfuerzo, permitió la colecta de restos óseos de varios hadrosaurios, como son el rostro de un *Kritosaurus navajovius* y de un ejemplar parcialmente completo que fue montado y exhibido en 1993, apodado “Isauria” (que más tarde fue identificado como *Latirhinus uitstlani* por Prieto-Márquez y Serrano-Brañas 2012). Dicho proyecto cumplió el objetivo de promover el interés en los dinosaurios por parte del público en general y paleontólogos académicos de México. Como consecuencia inmediata al

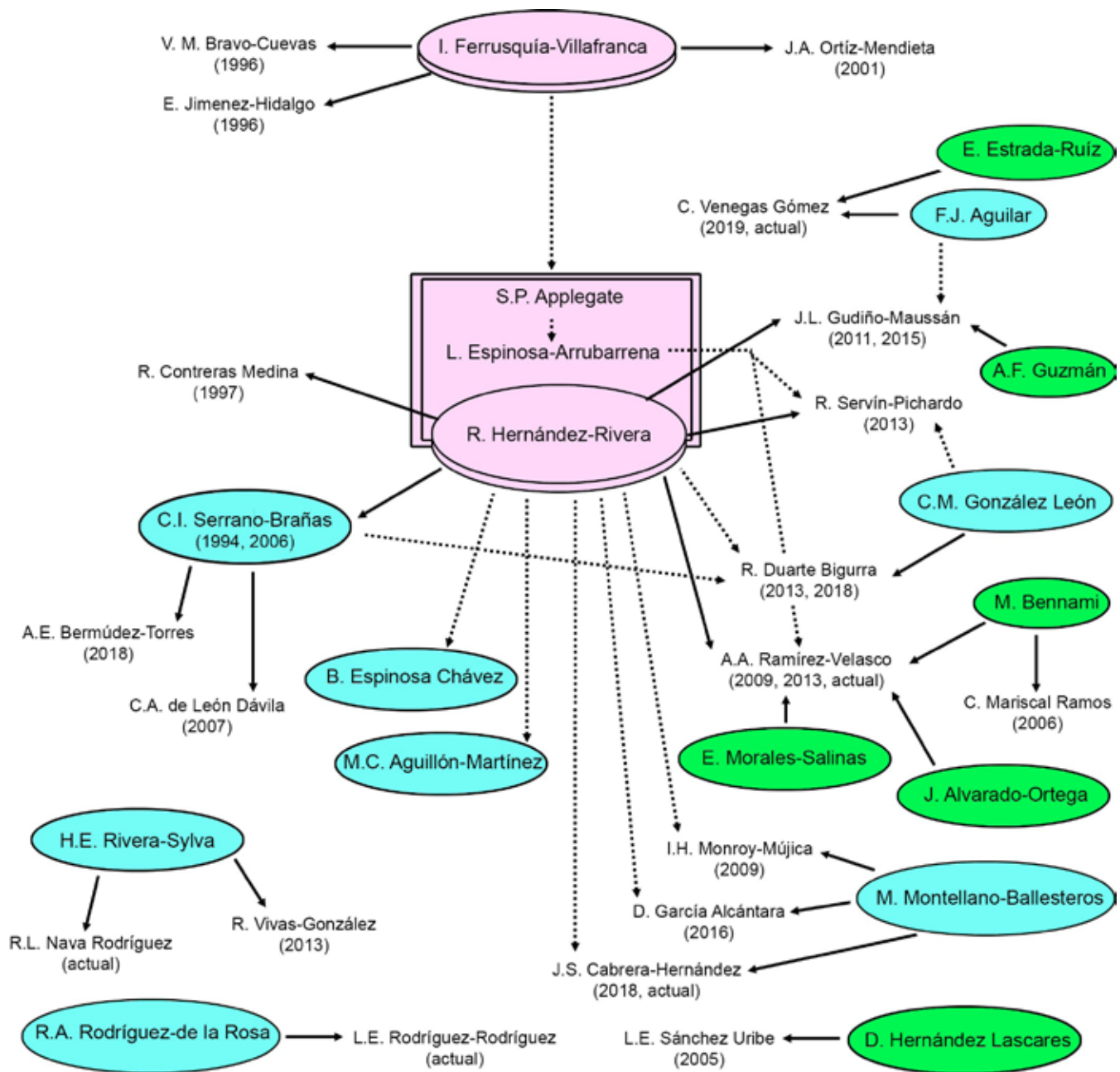


Figure 3. Student teacher relationships of Mexican researchers who have worked with hadrosaurs. Pink ovals denote the “fathers of dinosaur paleontology”. Blue ovals represent active researchers working with dinosaurs. Finally, green ovals are researchers who do not work per se with dinosaurs but have supervised theses. Students are the ones who aren't in ovals. Solid arrows indicate direct teacher-student relationships who performed theses, while dotted arrows show indirect teacher-student relationships.

Figura 3. Relaciones maestro alumno de investigadores mexicanos que han trabajado con restos de hadrosaurios. Los óvalos rosas encierran a los “padres de la paleontología de dinosaurios”. Los óvalos azules representan investigadores activos que trabajan con dinosaurios. Por último, los óvalos verdes son investigadores que no trabajan per se con dinosaurios, pero han dirigido tesis sobre ellos. Los alumnos son los que no están en óvalos. Las flechas sólidas indican relaciones maestro-alumno directas que realizaron tesis, mientras, las flechas punteadas muestran las relaciones maestro-alumno indirectas.

proyecto, se incrementó el número de estudiantes interesados en este grupo y en el emprendimiento de nuevos proyectos, la aparición de más publicaciones de investigación y divulgación, así como el desarrollo de otras actividades de difusión científica (Espinosa et al., 1989; Hernández, 1994, 1996; de León Dávila, 2019; Fig. 3). Como resultado final, es posible señalar que sentó los precedentes que permitieron la creación del Museo del Desierto en la ciudad de Saltillo, Coahuila en 1999, dedicado a exhibir la riqueza paleontológica del Estado de Coahuila.

Entre 1992 y 2002, un grupo de investigadores, técnicos y estudiantes de la UNAM, la SEPC y la Dinamotion International Society continuaron con los trabajos de prospección y recolección de restos de dinosaurios en Coahuila, al norte de México, obteniendo logros importantes. Entre estos, se incluye el hallazgo del segundo hadrosaurio mexicano, posteriormente descrito como *Velafrons coahuilensis*, recuperado en el sitio Cerro de los Dinosaurios en Rincón Colorado, Municipio de General Cepeda y preparado en los laboratorios del Museo del Desierto, el Museo Royal Tyrrell y el Museo de Historia Natural de Utah (Kirkland et al., 2006; Gates et al., 2007).

Desde el año 1990, la participación de los paleontólogos de instituciones mexicanas en el estudio de los hadrosaurios se ha venido incrementando, diversificando, y ganando mayor relevancia en las esferas científicas internacionales, en cuanto a trabajos científicos especializados, artículos de divulgación, tesis y participaciones en encuentros científicos. En estos estudios los mexicanos han venido participando solos, o con colaboradores extranjeros, en la descripción de nuevas localidades, determinación de nuevas especies, en estudios sobre aspectos tafonómicos y paleoecológicos, así como en detalles paleopatológicos individuales (ej. Rodríguez de la Rosa et al., 2004; Benammi et al., 2005; Kirkland et al., 2006; Serrano-Brañas, 2006; Gates et al., 2007; Prieto-Márquez y Serrano-Brañas, 2012; Ramírez-Velasco et al., 2012, 2016; Servín Pichardo, 2013; Gudiño-Maussán y Guzmán, 2014; Serrano-Brañas & Espinosa-Chávez, 2017; Rivera-Sylva et al., 2019 a, b).

Naturaleza del registro fósil de hadrosaurios en México.

En esta sección se lleva a cabo una cuantificación de los sitios de colecta en México a partir de la naturaleza del registro fósil de hadrosaurios (dividido en restos óseos, dientes aislados, icnitas, improntas de tegumento y huevos) y de su distribución estratigráfica y geográfica (Tabla 2; Fig. 3).

Restos óseos.— El 85 % de los sitios paleontológicos portadores de hadrosaurios (Fig. 4; Tabla 2), contienen restos óseos (sin considerar dientes aislados). Estos sitios se localizan en Sonora,

Michoacán, Coahuila, Chihuahua y Baja California, cuya temporalidad comprende cerca de 18 mda, entre el Santoniano (ej. sitios de la región Tiquicheo, Michoacán) y el Maastrichtiano (ej. sitios de la región de Esqueda y Naco, en Sonora). De estos, sólo el 18% correspondientes a Tiquicheo, Michoacán, y las del Grupo Cabullona, Sonora, representan ambientes continentales. Por el contrario, el 82% de los sitios corresponden a ambientes transicionales. De estas localidades, en el 52 % se han recuperado sólo restos óseos del postcráneo (ej. El sitio La Esperanza y Norte de Saltillo). En cambio, en el 15% se han recuperado huesos postcraneales y craneales asociados (ej. El Rosario 7255 y Los Bonetes-sitio 6), en el 5% sólo elementos aislados del cráneo (ej. La Rosa y Rincón Colorado 035) y el 3% corresponde a fragmentos óseos indeterminables. Así, el 10 % de estos sitios son de naturaleza mixta, donde los huesos de hadrosaurio están acompañados por improntas de tegumento, dientes aislados y cáscaras de huevos (ej. Dinotata y Esqueleto, en el área del Rosario, Baja California). Es notable que, en México, los estudios descriptivos de estos hadrosaurios están basados principalmente en restos óseos procedentes de sitios con elementos del cráneo y postcráneo (Morris, 1981; Gates et al., 2007; Prieto-Márquez y Serrano-Brañas, 2012; Ramírez-Velasco et al., 2012).

Dientes.— Los dientes de los hadrosaurios son elementos fósiles comunes, en sitios donde se encuentran huesos craneales y postcraneales. Sin embargo, el 6 % de los sitios en México con restos de estos dinosaurios, conservan exclusivamente dientes aislados (Fig. 4; Tabla 2). Estos sitios de colecta o micrositios se ubican dentro de Coahuila y Baja California, cuya temporalidad comprende cerca de 10 mda dentro del Campaniano (ej. Bell Brown en Coahuila y Fiesta de Huesos en Baja California). Los distintos estudios de estos micrositios han concluido que estas asociaciones de fósiles corresponden a depósitos fluviales (Rodríguez de la Rosa y Cevallos-Ferriz, 1998; Monroy-Mújica, 2009; García Alcántara, 2016). Además de aportar información sobre la composición de las comunidades bióticas, los dientes son útiles para reconocer los hábitos alimenticios de los organismos. En un primer estudio, Rivera-Sylva et al. (2019b) establecieron que, en la región del Cerro del Pueblo en Coahuila, los hadrosaurios se alimentaban de vegetales relativamente más duros que los de las regiones más boreales de América del Norte. Es deseable que este posible gradiente latitudinal del tipo de alimento sea corroborado con el estudio de una muestra en la que se analicen dientes de hadrosaurios de otros sitios de colecta en México.

Huellas (icnitas).— Ferrusquía-Villafranca et al. (1995) emprendieron los primeros esfuerzos por caracterizar las icnitas

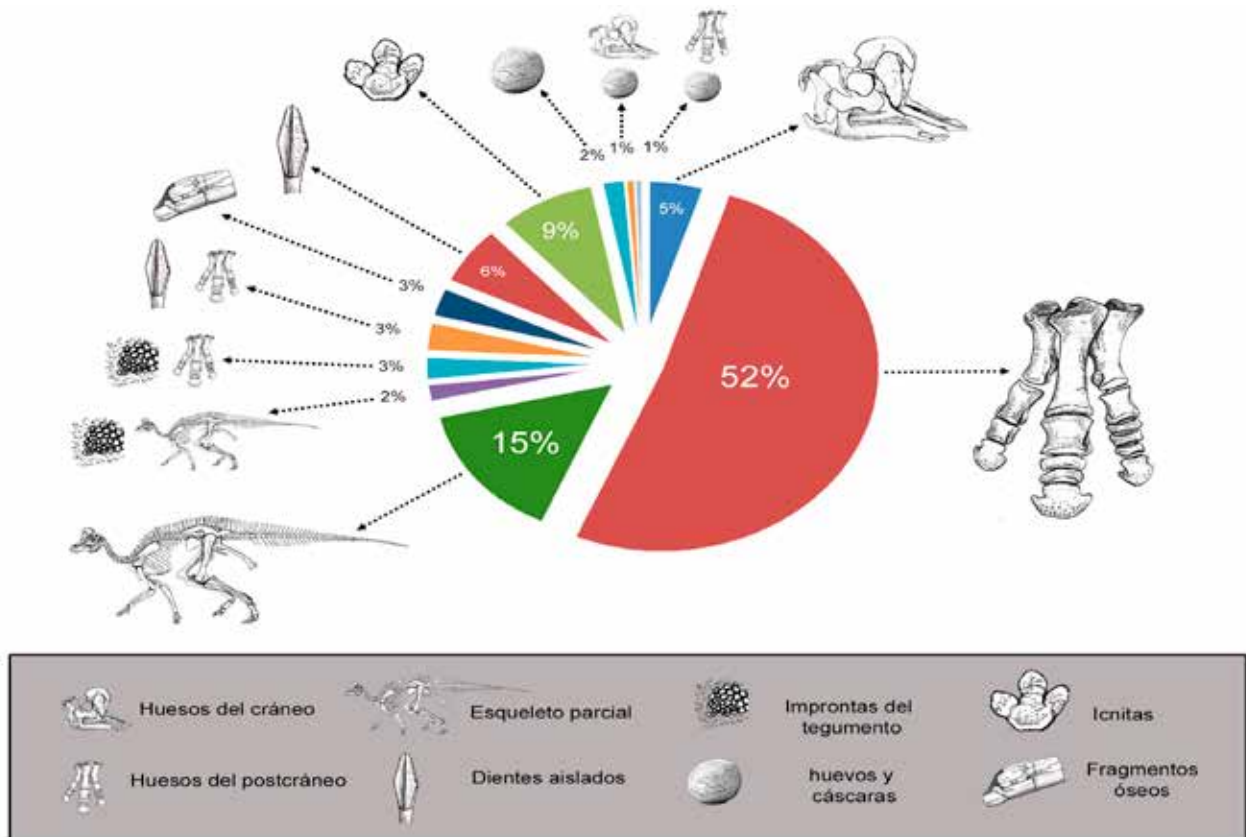


Figure 4. Graph on the nature of the hadrosaur fossil record in México (postcranial bones, cranial bones, partial skeletons, integument, isolated teeth, fragments, ichnites and eggs). The percentage of collection sites is displayed. Illustrations by the author.

Figura 4. Gráfica sobre la naturaleza del registro fósil de los restos de hadrosaurios en México (huesos postcraneales, huesos craneales, esqueletos parciales, tegumento, dientes aislados, fragmentos, icnitas y huevos). Se muestra el porcentaje de sitios de colecta con estas evidencias. Ilustraciones del autor.

de hadrosaurios en México, encontradas en Mitepec, Puebla. Desde entonces el estudio de icnitas de dinosaurios en México se ha incrementado notablemente (Bravo-Cuevas y Jiménez-Hidalgo, 1996; Ortiz-Mendieta, 2001; Eberth et al., 2003; Kappus et al., 2011; Servín-Pichardo et al., 2011). Actualmente, en este país existen 14 sitios con icnitas de hadrosaurios, con secuencias de pisadas o pisadas aisladas, los cuales representan el 9 % de los sitios con fósiles de hadrosaurios del país (Tabla 2; Fig. 4).

Estos están concentrados en los estados de Coahuila, Chihuahua, Sonora, Michoacán y Puebla (Tabla 2) y se conservan en sustratos lacustres, fluviales y costeros datados entre el Albiano tardío al Maastrichtiano temprano (Ortiz-Mendieta, 2001; Kappus et al., 2011; Servín-Pichardo et al., 2011). Es notable que, cuando hay icnitas de otros dinosaurios en estos sitios, las huellas de hadrosaurio son las más abundantes (ej. Las Águilas A, Coahuila) (Gudiño-Maassán, 2016).

Huevos.— En México, el 4% de los sitios paleontológicos con restos de hadrosaurio contienen huevos o cáscaras, atribuibles a este grupo (Tabla 2; Fig. 4). De estos sitios, sólo el 2 % contiene exclusivamente cáscaras, mientras que en el resto los huevos están asociados a restos óseos de individuos perinatales (embriones o recién nacidos indistinguibles).

Estos fósiles han sido encontrados principalmente en sitios con sedimentos fluviales del Campaniano, pertenecientes a dos unidades geológicas, las formaciones El Gallo y Cerro del Pueblo, en Baja California y Coahuila respectivamente (Rodríguez de la Rosa, 1996; Brinkman et al., 2002; Aguillón-Martínez et al., 2004; Cabrera-Hernández et al., 2017; Cabrera-Hernández, 2018). De acuerdo con Cabrera-Hernández (2018), al menos dos morfotipos de la oofamilia Spheroolithidae están representados entre las cáscaras de la Fm. El Gallo, las cuales se sugieren que pertenecían a lambeosaurinos y saurolofinos respectivamente (Tabla 2).

Table 2. Localities in Mexico with hadrosaurs remains. Abbreviations: Gpo., Geological group; Fm, geological formation; Mb, Geological member. Esq, Skeleton.**Tabla 2.** Localidades en México con restos de hadrosaurios. Abreviaturas: Gpo., Grupo geológico; Fm, Formación geológica; Mb, Miembro geológico. Esq, Esqueleto.

Unidad geológica / edad	Sitios de colecta	Tipo de fósil	Tipo de yacimiento	Taxón/parataxón	Referencias
Fm. Mojado, Mb. Sarten. Albiano tardío-Cenomaniano temprano (26)	Sitio Ladrillera	Incitas	Rastro	<i>Hadrosauropodus leonardii</i>	26
	Thallasinoides burrow	Incitas	Rastro		
Estrato Soledad. Maastrichtiano (24, 53), Campaniano (54)	Sierra Mojada	Postcraneal	Asociado	Hadrosauridae	24, 53
Área Jiménez. Cretácico temprano (*)	Arenales	Postcraneal	Asociado	Hadrosauridae	49
	Chamel				
	Doctor		Aislado		
Fm. La Bocana Roja. Campaniano tardío (35), Turoniano-Santoniano (39)	El Rosario 7257	Postcraneal	Aislado	Hadrosauridae	45
	El Rosario 7258	Fragmentos			
	Arroyo El Rosario	Postcraneal	Asociado	Lambeosaurinae	35
	El Rosario 7256				45
	El Rosario 7255	Esq. Parcial			
Fm. San Carlos. Campaniano temprano (77), Coniaciano-Santoniano (12, 33)	Potrero del Llano	Postcraneal	¿Acumulación en masa?	Hadrosauridae	32
	Cerca de Ojinaga	?	?		76
	Rancho Don Chuy	Postcraneal	Asociado		*
Fm. Cutzamala, Unidad Barranca Los Bonetes. Santoniano Tardío (86.8-84 mda)(3)	Los Bonetes sitio 1	Postcraneal	Aislado	Hadrosauroidea	3
	Los Bonetes sitio 2				31
	Los Bonetes sitio 5	Esq. fragmentado	Asociado	<i>Huehuecanauhtlus tiquichensis</i>	48
	Los Bonetes sitio 3				
	Los Bonetes sitio 6	Esq. parcial	Articulado		
Arenisca Aguillilla. Base del Cretácico tardío (41)	Afloramiento C	Incitas	Aislada	<i>Hadrosauropodus?</i>	15, 41
	Afloramiento principal		Rastro		

Unidad geológica / edad	Sitios de colecta	Tipo de fósil	Tipo de yacimiento	Taxón/parataxón	Referencias	
Fm. El Gallo, Miembro Disecado. Campaniano tardío (73.58 a 74.87 mda) (51)	El Rosario 66168	Esq. parcial y piel	Acumulación en masa	Magnapaulia laticaudus	38	
	Arroyo del Rosario Norte	Dientes y postcraneal				
	El Rosario 6751	Postcraneal	Articulados			
	Arroyo del Rosario Oeste					
	El Rosario Arriba 6752	Esq. parcial	Asociados			
	El Rosario Arriba 6753	Postcraneal	Aislados			
	El Rosario Arriba 6754		Asociados			
	El Campo de la Fortuna					
	El Rosario 3299	Dientes	¿Micrositio?	Hadrosauridae	45	
	El Rosario 3307					
	Lost Pick					Aislado
	Misty Hill					
	Misty Hill 2					
	El Rosario 3311					
	El Rosario 3303					
	El Rosario 3318					
	El Rosario 3540					Postcranea y dientes
	El Rosario 7253					
	Punta San Isidro	Postcraneal	Micrositio	Hadrosauridae y Spheroolithidae	29	
	Dinotata	Cáscaras y postcraneal		Magnapaulia laticaudus?	7	
	Fiesta de Huesos	Diente			14	
	Cascarita	Cáscaras			7	
	Sin nombre			Spheroolithidae	59	

Unidad geológica / edad	Sitios de colecta	Tipo de fósil	Tipo de yacimiento	Taxón/parataxón	Referencias
Fm. El Gallo, Miembro Disecado. Campaniano tardío (73.58 a 74.87 mda) (51)	Esqueleto	Cáscaras	Micrositio	Spheroolithidae	7
		Craneal	articulado	Kritosaurini	
Gpo. Cabullona, Columna Fronteras. Campaniano medio (76.7 mda) (17)	Puerto Viejo	Fragmentos	Aislado		
	"El Álamo"				49
	El Alamito			Hadrosauridae	
	Tascalar				
	Alamitos sitio 2	Postcraneal	Asociado		
	Alamitos sitio 2 (H2)				8
	Agua de los Conejos			Saurolophinae	
	Alamitos sitio 1 (H1)				
Fm. Aguja, Mb. Lutita Homero. Campaniano temprano-medio (Chron C39) (4)	Parque Nacional Cañón de Santa Elena	Esq. Parcial	?	Saurolophinae y <i>Kritosaurus</i>	76
	El Ojito-B		?		69
	Cri-Cri				
	Dueto Miseria				
	Álamos de Márquez		Aislado		49
	El Rebaje			Hadrosauridae	
	La Esperanza	Postcraneal			
	Bengis Bar				
	Altares				47
	La Salada		Asociado		55
	Jicoteas			Hadrosauridae y Saurolophinae	49
	Oeste de El Carricito (Las Jicoteas)			cf. <i>Kritosaurus</i>)	55
	El Ojito-C	Huesos	Articulado	Hadrosauridae	*

Unidad geológica / edad	Sitios de colecta	Tipo de fósil	Tipo de yacimiento	Taxón/parataxón	Referencias
Fm. Aguja, Mb. Lutita Homero. Campaniano temprano-medio (Chron C39)(4)	Las Garzas	Esq. parcial	Asociado	Hadrosauridae, Lambeosaurinae y Saurolophinae	71
	Anizul	Huesos	Asociado	Saurolophinae	36
	Pico de Pato	Craneal	Aislado	Saurolophinae	36
	Bell Brown	Diente	Micrositio	Saurolophinae	37
Fm. Cerro del Pueblo. Campaniano Tardío (72.5 a 73 mda)(10, 75)	El Pelillal	Diente	Micrositio		61
	Hedionda	Fragmentos			
	Estación Buñuelos		Aislado		
	El Barril				
	Los Pinos				
	Ejido Puebla	Postcraneal			
	Sitio Ceratopsio				49
	Cruce de Caminos			Hadrosauridae	
	El Carmen (Coah 18)	Esq. parcial			
	René 1				
	La Hedionda Chica	Postcraneal			
	Cerro de los Dinosaurios cantera 4	Craneal	Asociado		
	Cerro de los Dinosaurios cantera 5				27
	Cerro de los Dinosaurios cantera 8	Postcraneal y piel			21
	Cañada Ancha	Huesos		cf. <i>Velafrons</i>	74, 52
	Norte de Saltillo	Postcraneal		Lambeosaurinae	53
	Cerro de los Dinosaurios cantera 1			Hadrosauridae y Lambeosaurinae	20, 27
	El Palmar	Esq. parcial		Hadrosauridae, Lambeosaurinae y Saurolophinae	46, 49, 67
	Cerro de los Dinosaurios cantera 2	Postcraneal	Acumulación en masa	Saurolophinae	27

Unidad geológica / edad	Sitios de colecta	Tipo de fósil	Tipo de yacimiento	Taxón/parataxón	Referencias
Fm. Cerro del Pueblo. Campaniano Tardío (72.5 a 73 mda) (10, 75)	Cerro de los Dinosaurios cantera 3	Postcraneal y piel	Acumulación en masa	Hadrosauridae y Saurolophinae	27
	La Rosa	Craneal	Asociado	Saurolophinae	46
	Cerro de los Dinosaurios cantera 7	Esq. parcial		Lambeosaurinae	27
	Cerro de los Dinosaurios cantera 7A	Esq. parcial y piel	Articulado	<i>Velafrons coahuilensis</i>	1, 16
	Cantera dinosaurios "Pico de pato" (La Rosa)			Hadrosauridae y Lambeosaurinae	64
	Rincón Colorado 008	Esq. parcial			
	Rincón Colorado				
	Rincón Colorado FA	Postcraneal	Asociado	Hadrosauridae	48
	Rincón Colorado 006				
	Porvenir de Jalpa	Postcraneal y piel			
	Rincón Colorado 018	Esq. Parcial			
	La Parrita	Postcraneal y dientes	Acumulación en masa /micrositio	Hadrosauridae y Saurolophinae	57, 73
	Rincón Colorado Coah20	Postcraneal	Acumulación en masa		49
	Rincón Colorado 035	Craneal	Aislado		
	Pisicola				47
	Rincón Colorado 020	Postcraneal	Asociado		
	Rincón Colorado 037	Craneal	Aislado		49
	Rincón Colorado 040	Postcraneal		Hadrosauridae	
	Rojas II	Huesos y piel	Articulado		22, 49
	Rojas I	Esq. parcial			
	Valle de los Tiranos			Asociado	
	Dinosaurio Armado				49
		Postcraneal			
Las Pedreras					

Unidad geológica / edad	Sitios de colecta	Tipo de fósil	Tipo de yacimiento	Taxón/parataxón	Referencias
Fm. Cerro del Pueblo. Campaniano Tardío (72.5 a 73 mda)(10, 75)	Snake y las Torres	Postcraneal	Asociado		49
	B1	?	?	Hadrosauridae	27
	B2	Postcraneal	Asociado		
	SPA 88-9	Esq. parcial	Acumulación en masa	<i>Latirhinus uitstlani</i> , Lambeosaurinae y Saurolophinae	11, 44
	Cantera HB			Saurolophinae	49
	Presa San Antonio	Postcraneal	aislado?	Kritosaurini	43, 46
		Craneal	Articulado	<i>Kritosaurus navajovious</i>	27, 46
	Dinopato	Esq. parcial	Articulado	Parasaurolophini	50
	Camino de Las Águilas	Craneal	Articulado	<i>Velafrons?</i>	1, 9
	Área Presa San Antonio		Asociado	Lambeosaurinae	63
	BENC 23		Aislado		66
	BENC sin nombre				53
	Lala's Place 2	Postcraneal		Hadrosauridae	72
	Lala's Place 3		Asociado		
	Capa de dinosaurio 1				75
	Capa de dinosaurio 2				
	LA-11, LA-9, LA-14	Esq. parcial	?	Lambeosaurinae	56
	Cuesta A	?	?	Hadrosauridae	60
	Las Águilas A				9
	El Paso del Oso	Icnita	Rastros	<i>Hadrosauropodus?</i>	18, 19
	La Rosa tracksite				
	Fraustro	Craneal	Aislado	Saurolophinae	65
	El Pantano	Cáscara	Micrositio	Sphaeroolithidae	2, 6, 62

Unidad geológica / edad	Sitios de colecta	Tipo de fósil	Tipo de yacimiento	Taxón/parataxón	Referencias
Fm. El Rosario. Campaniano tardío-Maastrichtiano tardío (39)	El Destiladero	Postcraneal	Aislado	Hadrosauridae	25
	El Rosario				23
Gpo. Cabullona, Columna Esqueda. Maastrichtiano tardío (70.6 a 69.8 mda) (17)	Carro Quebrado R2	Icnitas	Rastro	<i>Hadrosauropodus?</i>	68
	Carro Quebrado R3				
	Esqueda I8		Aislada		
Gpo. Cabullona, Columna Naco. Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano (72 a 73 mda) (17)	Musteñas-Magallanes	Postcraneal y dientes	Asociado	Hadrosauridae	70
	Sin nombre		Aislado		
	SON-27				
	SON-30		Asociado		49
	Naco-loc. 4				
	Naco-loc. 2	Postcranial			
	Naco-loc. 1				
	Naco-loc. 29		Aislado		30
	Naco-loc. 32				
	Naco-loc. 16			Saurolophinae	
	Naco-loc. 17				
Fm. Javelina. Maastrichtiano (69)	El Ojito-A	Postcraneal	Asociado	Hadrosauridae	69
Fm. Olmos. Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano (13, 58), Maastrichtiano temprano o medio (42)	El Mezquite	Esq. parcial		Saurolophinae ("Sabinasauria")	28
	Santa Helena	Fragmentos			34
	Polvorín		Asociado		
	Cañon del Oso				
	Palaú	Postcraneal		Hadrosauridae	49
	Phelan				
	Mina la Mimosa		Aislado		

Unidad geológica / edad	Sitios de colecta	Tipo de fósil	Tipo de yacimiento	Taxón/parataxón	Referencias
Fm. Cerro Huerta. Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano (10, 27)	La Parrita- <i>tracksite</i>	Ícnita		<i>Hadrosauropodus?</i>	61
	Altamira	Postcraneal	Aislado		27
	Tanque	Fragmentos		Hadrosauridae	49
	Cuesta A	?	?		
Fm. Mezcala. Maastrichtiano (5)	Mitepec localidad 1		Rastro		
	Mitepec localidad 2	Ícnitas	Aislado	<i>Hadrosauropodus?</i>	5
	Mitepec localidad 3		Varios rastros		

Tegumento (improntas de piel).— El primer hallazgo de impresiones de la piel de un hadrosaurio en México corresponde a aquellos asociados a *Magnapaulia laticaudus*, descubierto en la Formación El Gallo, Baja California (Morris, 1981). Más tarde, Hernández y Kirkland (1993) reportaron un hallazgo similar en sedimentos de la Formación Cerro del Pueblo. Actualmente, las improntas de piel fósil atribuibles a hadrosaurios son escasas en México y poco estudiadas (Tabla 2; Fig. 4). Estos fósiles están presentes sólo en el 5% de los sitios aquí considerados y, en todos los casos, éstos se descubrieron en asociación con restos óseos postcraneales y en sedimentos lagunares de ambientes costeros (Morris, 1981; Hernández y Kirkland, 1993).

La diversidad, abundancia y distribución de los hadrosaurios de México

Hasta hoy, la diversidad, abundancia y distribución de los hadrosaurios en México se conoce a partir de los fósiles descubiertos en 167 sitios, expuestos en 18 unidades geológicas, cuyas edades se ubican dentro del rango Albiano al Maastrichtiano (Tabla 2).

Para fines comparativos, en este trabajo, los hadrosaurios se dividen en cuatro grupos, incluyendo dos de naturaleza parafilética, los Hadrosauroidea no-hadrosáuridos o hadrosauroideos basales, los Hadrosauridae no-euhadrosauria o hadrosáuridos basales, así como dos clados, los Lambeosaurinae o lambeosaurinos y los Saurolophinae o saurolofinos.

Diversidad taxonómica.— En México, existen representantes de hadrosauroideos basales, lambeosaurinos y saurolofinos,

que están figurados por cinco especies, distribuidas entre cuatro géneros, así como abundantes restos encontrados en 103 sitios, referidos como Hadrosauridae indet (Tablas 2 y 3; Fig. 5). Los hadrosauroideos basales están representados por una especie, *Huehucanauhtlus tiquichensis*, y otros restos indeterminados procedentes de cuatro sitios paleontológicos, referidos como Hadrosauroidea indet. Los lambeosaurinos están representados por dos especies, *Magnapaulia laticaudus* y *Velafrons coahuilensis*, un ejemplar identificado como cf. *Velafrons*, un Parasaurolophini indet, y otros restos procedentes de 11 sitios paleontológicos referidos como Lambeosaurinae indet (Fig. 5). Finalmente, los saurolofinos están representados por dos especies, *Kritosaurus navajovius* y *Latirhinus uitstlani*, el ejemplar conocido como “Sabinasaura”, dos sitios con Kritosaurini indet., uno de *Kritosaurus* sp., y otro cf. *Kritosaurus*, como otros restos procedentes de 16 sitios paleontológicos referidos como Saurolophinae indet (Fig. 5). En contraste, estos cuatro grupos de hadrosaurios mencionados están bien representados en Estados Unidos y Canadá, donde se han descrito 31 y 14 especies (Tabla 3), mientras que en América del Sur se cuenta con 3 especies, *Lapampasaurus cholinoi*, *Bonapartesaurus rionegrensis* y *Secernosaurus koernerii* y varias formas indeterminadas de hadrosauroideo basal, hadrosáuridos y saurolofinos (Tabla 3).

Distribución estratigráfica y geográfica.— Los fósiles más antiguos de hadrosaurios en México son ícnitas y posiblemente restos óseos (Tabla 2; Fig. 5). Por un lado, las ícnitas de estos dinosaurios del Albiano tardío-Cenomaniano temprano de la Formación Mojado, al norte de Chihuahua, fueron descritas como *Caririchnium leonardi* (= *Hadrosauropodus leonardi sensu*

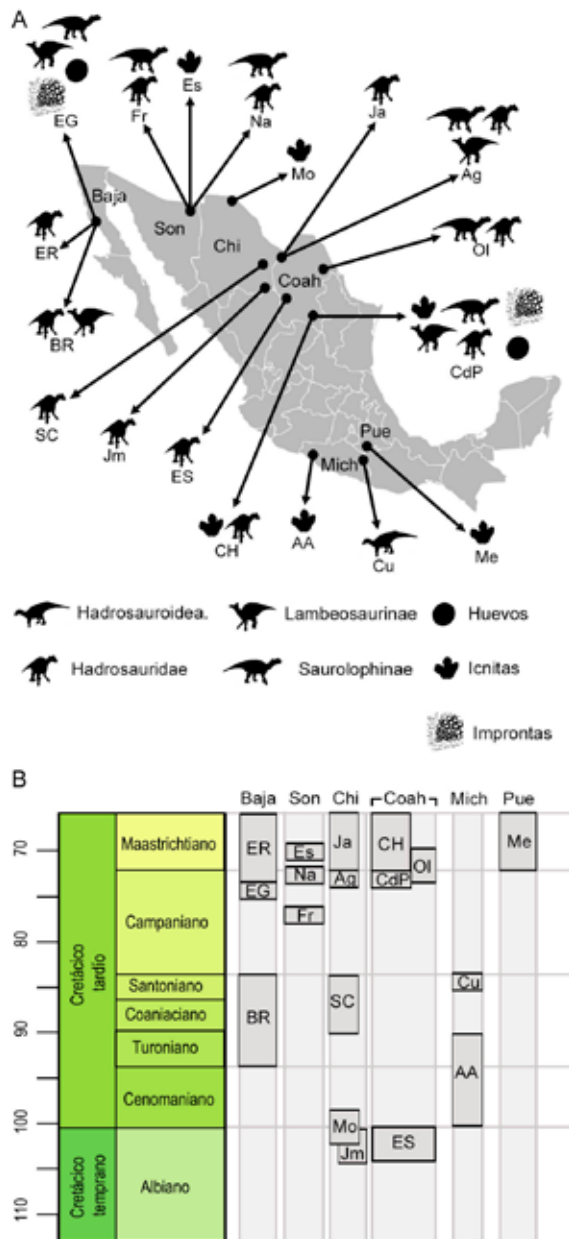


Figure 5. A) Map of México showing the location of the different taxonomic groups of hadrosaurs, such as their remains of eggs, iconites and tegument. B) the temporality of the geological units with hadrosaur remains.

Figura 5. A) Mapa de México mostrando la localización de los distintos grupos taxonómicos de hadrosaurios, como sus restos de huevos, iconitas y tegumento. B) como la temporalidad de las unidades geológicas portadoras de restos de hadrosaurios.

Abbreviations / Abreviaturas: AA. Arenisca Aguillilla; Ag. Fm. Aguja; Baja. Baja California; BR. Fm. La Bocana Roja; CdP. Fm. Cerro del Pueblo; CH. Fm. Cerro Huerta; Chi. Chihuahua; Coah. Coahuila; Cu. Fm. Cutzamala; EG. Fm. El Gallo; ER. Fm. El Rosario; Es. Columna Esquedra; ES. Estrato Soledad; Fr. Columna Frontera; Ja. Fm. Javalina; Jm. Área de Jiménez; Me. Fm. Mezcala; Mich. Michoacán; Mo. Fm. Mojado; Pue. Puebla; SC. Fm. San Carlos; Son. Sonora; Na. Columna Naco; Ol. Fm. Olmos.

Díaz-Martínez et al., 2015) (Kappus et al., 2011). Por otro lado, los restos óseos de "hadrosauridae" del área de Jiménez, al sureste de Chihuahua (Ramírez-Velasco et al., 2014), y de la Unidad Estrato Soledad, al suroeste de Coahuila (Janensch, 1926; Rivera-Sylva et al., 2007; Rivera-Sylva & Carpenter, 2014), posiblemente fueron recuperados en yacimientos del Cretácico temprano que, en ambos casos, se ubican en los afloramientos de rocas marinas someras de edad Albiana pertenecientes a la Formación Aurora (obs. pers.).

En comparación, los fósiles de hadrosaurios mexicanos del Cretácico tardío son más diversos, abundantes e incluyen hallazgos en sitios de las regiones norte, sur y oeste del país (Tabla 2; Fig. 2). En el Cenomaniano-Santoniano se destacan las iconitas de hadrosáuridos descubiertas en la Unidad Arenisca Aguillilla, en Michoacán (Ortíz-Mendieta, 2001), así como los restos óseos de los lambeosaurinos y hadrosauridae de la Fm. Bocana Roja, Baja California (Molnar, 1974; Hilton, 2003; Prieto-Márquez et al., 2012); los restos de *Huehuecanauhtlus tiquichensis* y los hadrosauroides indeterminados de la Barranca de los Bonetes, Michoacán (Benammi et al., 2005; Ramírez-Velasco et al., 2012; Ramírez-Velasco y Hernández-Rivera, 2015); y los hadrosáuridos de los yacimientos de la Formación San Carlos, en Chihuahua (Westgate et al., 2002 a, b, c; Estrada-Ruíz y Martínez-Cabrera, 2011; Martínez Reza com. pers. 2019). Entre estos, se destaca el hallazgo del lambeosaurino más antiguo en México, de la Fm. Bocana Roja (Hilton, 2003), así como, la presencia de *Huehuecanauhtlus tiquichensis*, el primer hadrosauroides primitivo del país (Ramírez-Velasco et al., 2012). Esta especie fué encontrado en yacimientos vulcanosedimentarios de la Fm. Cutzamala, expuestas en la Barranca de los Bonetes (Ferrari et al., 2009; Villanueva-Amadoz et al., 2014).

En México, como en el resto de América del Norte, los restos óseos e icnológico de hadrosáuridos alcanzaron su mayor diversidad y abundancia durante el Campaniano (ej. Gates et al., 2012; Fig. 5B). Entre los restos óseos de hadrosaurios de esta edad, se han identificado saurolofinos y lambeosaurinos en la mayoría de los sitios, como son la Columna Fronteras del Grupo Cabullona, Sonora (Duarte-Bigurra, 2013; Ramírez-Velasco et al., 2014; González-León et al., 2017) la Fm. El Gallo, en Baja California (Langstone & Oakes, 1954; Morris, 1981; Rodríguez de la Rosa, 1998; Hilton, 2003; Prieto-Márquez et al., 2012; García-Alcántara, 2016; Cabrera-Hernández et al., 2017; Cabrera-Hernández, 2018), Fm. Aguja, en Chihuahua y Coahuila (Montaño et al., 2009; Monroy-Mújica, 2009; Rivera-Sylva et al., 2009; Torres-Rodríguez et al., 2010; Westgate et al., 2002 a, b, c; Ramírez-Velasco et al., 2012; Ramírez-Velasco & Hernández-Rivera, 2015; Shiller, 2017); y la Fm. Cerro del

Table 3. Abundance and specific richness of American hadrosaurs. Data taken from PBDP (Appendix 2).**Tabla 3.** . Abundancia y riqueza específica de hadrosaurios de América. Datos tomados de PBDP (Apéndice 2).**Abbreviations /Abreviaturas:** EUA. Estados Unidos; Can. Canadá; Mx. México; SUA. América del Sur.

Taxones	Edad	CAN	EUA	MX	SUA
Hadrosauroidea indeterminados	Cenomaniano medio-Campaniano		4	3	1
Hadrosauroidea sin nombre (ver Jujihara et al., 2017)	Maastrichtiano				1
<i>Protophadros byrdi</i> Head, 1998	Cenomaniano medio		1		
<i>Eolambia caroljonesa</i> Kirkland, 1998	Cenomaniano temprano		7		
<i>Claosaurus agilis</i> (Marsh, 1872)	Coniaciano tardío		1		
<i>Claosaurus</i> Marsh, 1890	Campaniano		2		
<i>Lophorhynchon atopus</i> Langston, 1960	Campaniano temprano		1		
<i>Jeyawati rugoculus</i> McDonald, Wolfe y Kirkland, 2010	Turoniano medio		1		
<i>Huehucanauhtlus tiquichensis</i> Ramírez-Velasco, Benammi, Prieto-Márquez, Alvarado-Ortega y Hernández-Rivera, 2012	Santoniano tardío			2	
<i>Eotrachodon orientalis</i> Prieto-Márquez, Erickson y Ebersole, 2016	Santoniano tardío		1		
Hadrosauridae indeterminados	Albiano-Maastrichtiano	140	463	37	15
<i>Hadrosaurus foulkii</i> Leidy, 1858	Campaniano		5		
<i>Hadrosaurus</i> Leidy, 1858	Campaniano-Maastrichtiano	2	4		
<i>Aquilarhinus palimentus</i> Prieto-Márquez, Wagner y Lehman, 2019	Campaniano temprano		1		
<i>Lapampasaurus cholinoi</i> Coria, González Riga y Casadio, 2012	Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano				1
Saurolophinae indeterminados	Santoniano-Maastrichtiano	6	79	14	2
<i>Latirhinus uitstlani</i> Prieto-Márquez y Serrano-Brañas, 2012	Campaniano tardío			1	
<i>Bonapartesaurus rionegrensis</i> Cruzado-Caballero y Powell 2017	Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano				1
<i>Acristavus gagslarsoni</i> Gates, Horner, Hanna y Nelson, 2011	Campaniano temprano-medio		2		
<i>Maiaosaura peeblesorum</i> Horner y Makela, 1979	Campaniano medio-tardío		5		
<i>Maiaosaura</i> Horner y Makela, 1979	Santoniano-Campaniano		2		
<i>Brachylophosaurus canadensis</i> Sternberg, 1953	Campaniano tardío	2	4		
<i>Probrachylophosaurus bergeri</i> Freedman Fowler y Horner, 2015	Campaniano tardío		1		
Kritosaurini indeterminados	Campaniano		1	1	
<i>Rhinorex condrupus</i> Gates y Scheetz, 2014	Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano		1		
<i>Gryposaurus notabilis</i> Lambe, 1914	Campaniano tardío	10	1		
<i>Gryposaurus latidens</i> Horner, 1992	Santoniano tardío-Campaniano temprano		2		
<i>Gryposaurus monumentensis</i> Gates y Sampson, 2007	Campaniano tardío		1		
<i>Gryposaurus alsatei</i> ? Lehman, Wick y Wagner, 2016	Maastrichtiano medio-tardío		1		
<i>Gryposaurus</i> Lambe, 1914	Santoniano-Campaniano		4		

Taxones	Edad	CAN	EUA	MX	SUA
<i>Kritosaurus horneri</i> Hunt y Lucas, 1993	Campaniano tardío		1		
<i>Kritosaurus navajovius</i> Brown, 1910	Campaniano tardío		8	1	
<i>Kritosaurus</i> Brown, 1910	Santoniano tardío-Maastrichtiano temprano	2	17	1	
<i>Naashoibitosaurus ostromi</i> Hunt y Lucas, 1993	Campaniano tardío		1		
<i>Secernosaurus koernerii</i> Brett-Surman, 1979	Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano				3
<i>Prosaurolophus maximus</i> Brown, 1916	Campaniano tardío	9	3		
<i>Prosaurolophus</i> Brown, 1916	Campaniano tardío	2			
<i>Augustynolophus morrisi</i> (Prieto-Márquez y Wagner, 2013)	Maastrichtiano tardío		2		
<i>Saurolophus osborni</i> Brown, 1912	Maastrichtiano temprano	2			
<i>Saurolophus</i> Brown, 1912	Maastrichtiano temprano	2	2		
<i>Edmontosaurus annectens</i> Marsh, 1892	Maastrichtiano temprano	2	19		
<i>Edmontosaurus regalis</i> Lambe, 1917	Maastrichtiano temprano-tardío	6	1		
<i>Edmontosaurus</i> Lambe, 1917	Coniaciano tardío-Maastrichtiano	7	40		
Lambeosaurinae indeterminados	Santoniano tardío-Campaniano tardío	17	21	7	
<i>Angulomastacator daviesi</i> Wagner y Lehman, 2009	Campaniano medio		1		
<i>Adelolophus hutchisoni</i> Gates, Jinnah, Levitt y Getty, 2014	Campaniano temprano-medio		1		
Lambeosaurini indeterminados	Campaniano-Maastrichtiano temprano		2	1	
<i>Hypacrosaurus stebingeri</i> Horner y Currie, 1994	Campaniano medio-tardío	3	12		
<i>Hypacrosaurus altispinus</i> Brown, 1912	Campaniano tardío-Maastrichtiano temprano	14			
<i>Hypacrosaurus</i> Brown, 1912	Campaniano tardío		1		
<i>Corythosaurus intermedius</i> Parks, 1923	Campaniano tardío	6			
<i>Corythosaurus casuarius</i> Brown, 1914	Campaniano tardío	16	2		
<i>Corythosaurus</i> Brown, 1914	Campaniano tardío	1			
<i>Lambeosaurus clavinalis</i> Sternberg, 1935	Campaniano tardío	5			
<i>Lambeosaurus lambei</i> Parks, 1923	Campaniano tardío	11			
<i>Lambeosaurus magnicristatus</i> Sternberg, 1935	Campaniano tardío	2			
<i>Lambeosaurus</i> Parks, 1923	Campaniano tardío	1			
<i>Magnapaulia laticaudus</i> (Morris, 1981)	Campaniano tardío			4	
<i>Velafrons coahuilensis</i> Gates, Sampson, Delgado de Jesús, Zanno, Eberth, Hernández-Rivera, Aguillón-Martínez y Kirkland, 2007	Campaniano tardío			1	
Parasaurolophini sin nombre (ver Ramírez-Velasco et al., 2019)	Campaniano tardío			1	
<i>Parasaurolophus walkeri</i> Parks, 1922	Campaniano tardío	2			
<i>Parasaurolophus tubicens</i> Wiman, 1931	Campaniano tardío		4		

Taxones	Edad	CAN	EUA	MX	SUA
<i>Parasaurolophus cyrtocristatus</i> Ostrom, 1961	Campaniano tardío		2		
<i>Parasaurolophus</i> Parks, 1922	Campaniano tardío	1	8		
Spheroolithidae indeterminados	Albiano tardío-Cenomaniano temprano		1		1
<i>Spheroolithus albertensis</i> Zelenitsky y Hills, 1997	Campaniano medio-tardío	5	1		
<i>Spheroolithus chateauensis</i> Jackson y Varricchio, 2010	Campaniano temprano		4		
<i>Spheroolithus maiasauroides</i> Mikhailov 1994	Campaniano medio		1		
<i>Spheroolithus</i> Zhao, 1979	Maastrichtiano		2	2	
<i>Ovaloolithus utahensis</i> Bray, 1999	Maastrichtiano		7		
<i>Tridigitichnus inopinatus</i> Casamiquela, 1994 (en Leonardi, 1994)	Maastrichtiano tardío				1
TOTAL DE OCURENCIAS		276	759	76	26

Pueblo, en Coahuila (Rodríguez de la Rosa & Cevallos-Ferriz, 1998; Kirkland et al., 2000; Aguillón-Martínez et al., 2004; Eberth et al., 2004; Serrano-Brañas et al., 2006; Gates et al., 2007; Prieto-Márquez & Serrano-Brañas, 2012; Prieto-Márquez, 2013; Ramírez-Velasco et al., 2014; Rivera-Sylva & Carpenter, 2014; Vogt et al., 2015; Gudiño-Maussán, 2016; Serrano-Brañas & Espinosa-Chávez, 2017; Rivera-Sylva et al., 2019 b; Rybakiewicz et al., 2019; Venegas Gómez, 2019). Entre estos fósiles, destacan: 1) *Magnapaulia laticaudus*, de la Fm. El Gallo (Morris, 1981) que, con sus 12 metros de longitud, representa el lambeosaurino más grande de América del Norte (Prieto-Márquez et al., 2012). 2) los abundantes restos de huevos de hadrosaurios en sedimentos de la Fm. El Gallo donde algunos han sido atribuidos a la tribu Kritosaurini (Cabrera-Hernández, 2018). 3) la presencia de numerosos restos de kritosaurinos y lambeosaurinos en sitios del Grupo Cabullona (Sonora) y la Fm. Aguja (Chihuahua y Coahuila) (ej. Duarte-Bigurra, 2013; Ramírez-Velasco et al., 2014). 4) la presencia de icnitas, restos de huevos y abundantes restos óseos, en los diferentes niveles estratigráficos de la Fm. Cerro del Pueblo (Coahuila) (Eberth et al., 2004), que hacen de ésta la formación con más fósiles de hadrosaurios en todo el país. Entre los restos óseos destacan la presencia de *Velafrons coahuilensis*, un parasaurolofino indeterminado del Ejido de Guadalupe, *Kritosaurus navajovious*, *Latirinus uitstlani* y otros saurolofinos indeterminados (Kirkland et al., 2000; Gates et al., 2007; Prieto-Márquez & Serrano-Brañas, 2012; Ramírez-Velasco et al., 2019).

En lo que respecta a los hadrosaurios mexicanos del intervalo Campaniano-Maastrichtiano, éstos se reconocen en cinco unidades geológicas portadoras de icnitas y restos óseos

presentes en Sonora, Puebla, Coahuila y Chihuahua. Rastros de hadrosaurios han sido observados en la columna Esqueda del Grupo Cabullona, Sonora (Servín-Pichardo, 2013), la Fm. Cerro Huerta, Coahuila (Rodríguez-de la Rosa, 2007) y la Fm. Mexcala, Puebla (Bravo-Cuevas y Jiménez-Hidalgo, 1996; Fig. 5). En cambio, dichos restos óseos se han colectado en la columna Naco del Grupo Cabullona, Sonora (Taliaferro, 1933; Lucas et al., 1995; Ramírez-Velasco et al., 2014; González-León et al., 2017) las formaciones Javelina (Shiller, 2017), Huerta (Kirkland et al., 2000; Eberth et al., 2004) y Olmos, en Coahuila (Meyer et al., 2005; Kirkland et al., 2006; Ramírez-Velasco et al., 2014), así como, la Fm. El Rosario, Baja California (Morris & Busby-Spera, 1988; Hilton, 2003; Johnson et al., 2006). Entre estos fósiles, se destacan el hadrosaurio sin nombre o “Sabinasaura” recuperado en sedimentos pertenecientes a la Formación Olmos (Kirkland et al., 2006) y un axis erróneamente identificado como saurópodo (Shiller, 2017) procedente de la Fm. Javelina en Coahuila (*obs. pers.*), que corresponden a restos de hadrosaurios de grandes dimensiones (Kirkland et al., 2000).

Comparación con el resto de América.— En cuanto a su abundancia de sitios paleontológicos con restos hadrosaurios en América, es posible señalar que Estados Unidos es el territorio con mayor abundancia y diversidad de hadrosaurios ya que, se han documentado 759 sitios de edad Albiano-Maastrichtiano donde se han descrito 32 especies (Fig. 6; Tabla 3). En esta categorización, Canadá ocupa el segundo lugar con 276 sitios paleontológicos de edad Albiano- Maastrichtiano y con 14 especies (Fig. 6; Tabla 3). Muy atrás, México ocupa el tercer lugar, con 76 sitios dentro del mismo rango temporal, en donde sólo se han descrito cinco especies (Fig. 6; Tabla 3). Finalmente, América del Sur cuenta

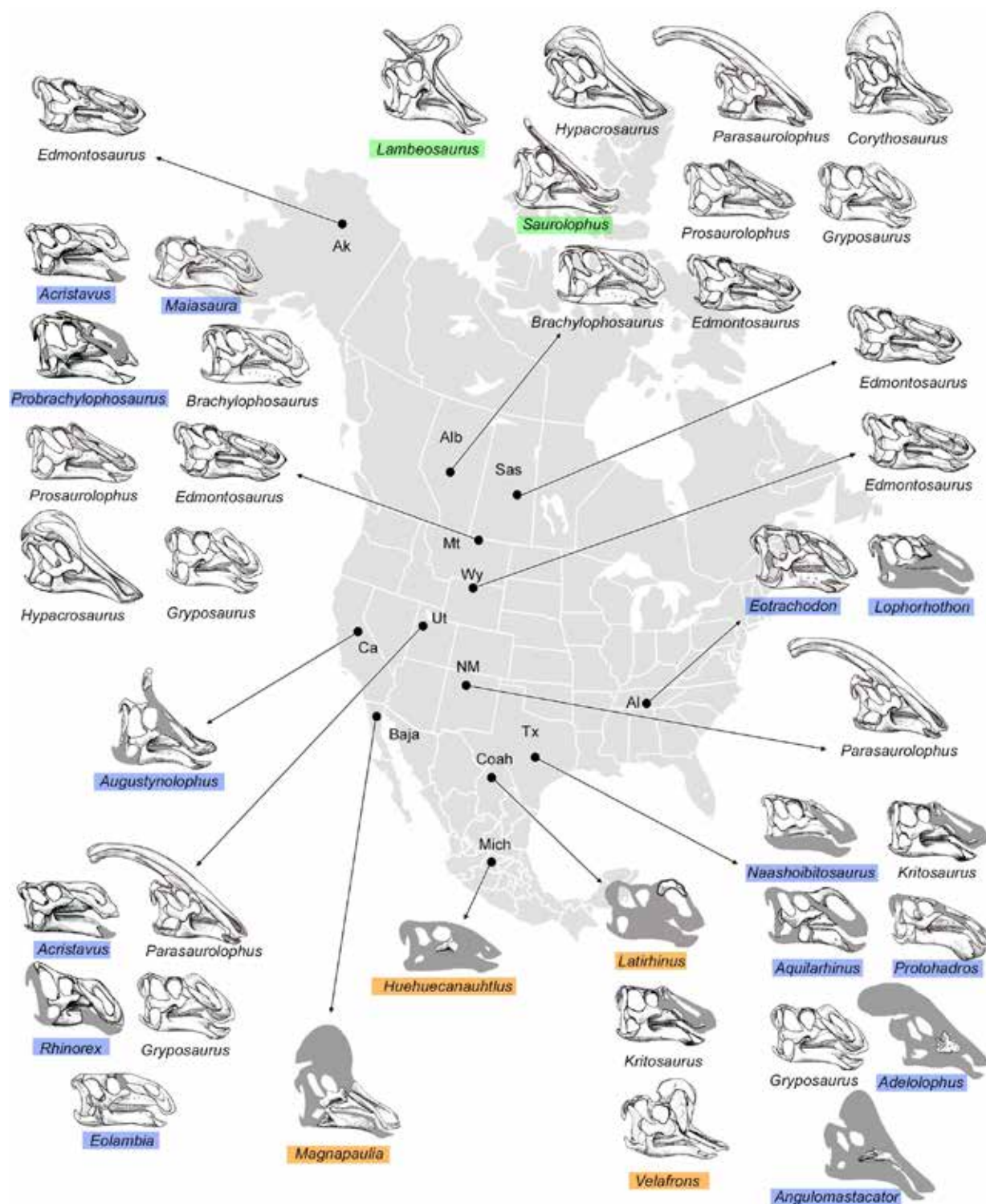


Figure 6. Hadrosaurs of North America, exemplified by the selection of skulls of valid nominal genera. The grey shadows on the skulls represent the reconstructed parts. Highlighted names indicate the unique genera for each region.

Figura 6. Hadrosaurios de América del Norte, ejemplificado por la selección de cráneos de los géneros nominales válidos. Las sombras grises en los cráneos representan las partes reconstruidas. Los nombres resaltados, indican los géneros únicos de cada región. **Abbreviations/Abreviaturas:** **Al.** Alabama; **Alb.** Alberta; **Ak.** Alaska; **Baja.** Baja California; **Ca.** California; **Coah.** Coahuila; **Mich.** Michoacán; **Mt.** Montana; **NM.** Nuevo México; **Sas.** Saskatchewan; **Tx.** Texas; **Ut.** Utah; **Wy.** Wyoming (author's illustrations/ilustraciones del autor).

con 26 de estos sitios y tres especies de hadrosáuridos de edad Campaniano-Maastrichtiano (Tabla 3).

Es notable que en América del Norte el hadrosaurio *Edmontosaurus annectens* es el más frecuentemente encontrado, sus restos han sido identificados en 21 sitios de Estados Unidos y Canadá (Tabla 3). A este saurolofino le siguen *Gryposaurus notabilis*, *Prosaurolophus maximus*, *Hypacrosaurus altispinus*, *H. stebingeri*, *Corythosaurus casuarius* y *Lambeosaurus lambei*, cuyos restos han sido recuperados entre 14 a 10 sitios de Estados Unidos y Canadá (Tabla 3). A continuación, se cuenta con *Kritosaurus navajovius*, *E. regalis* y *Eolambia caroljonesa* entre siete y ocho sitios, *Brachylophosaurus canadensis*, *C. intermedius*, *L. clavinitialis* y *Parasaurolophus tubicens* con seis a cuatro sitios en Estados Unidos y Canadá (Tabla 3). La mayor parte de las especies de hadrosaurios en América son conocidos a partir de hallazgos únicos, como en el caso de *Kritosaurus horneri* (Tabla 3). En México, *Huehuecanauhtlus tiquichensis* se conoce por dos ejemplares recuperados en distintos niveles estratigráficos dentro de la Barranca Los Bonetes, Michoacán. *Magnapaulia laticaudus* fue descrita a partir de ejemplares procedentes de cuatro puntos de colecta dentro de la Formación El Gallo, Baja California (Tabla 3). Las otras especies de hadrosaurios mexicano se conocen a partir de hallazgos únicos. Finalmente, en América del Sur, sólo *Secernosaurus koernerii* es reconocido por tres sitios y los demás son registros únicos (Prieto-Márquez y Salinas, 2010; Tabla 3).

Existen distintos factores que permiten explicar la diferente diversidad y abundancia de hadrosaurios a lo largo de América. En primer lugar, en Estados Unidos y Canadá la paleontología de vertebrados se estableció como una disciplina científica mucho antes que en México y otras regiones al sur de América. En promedio, estos países del norte nos llevan 100 años de ventaja en los trabajos de prospección y colecta de estos y otros fósiles (Chiarenza et al., 2019). Por otro lado, si comparamos los rasgos tafonómicos de los hadrosaurios encontrados en Estados Unidos y Canadá, es sabido que gran parte de las especies descritas en estos países fueron colectados en numerosos sitios con acumulaciones en masa o bonebeds, en donde se depositaron muchos individuos de una o más especies en eventos catastróficos, como inundaciones periódicas a gran escala (Chiarenza et al., 2019). Tal vez, debido a condiciones paleoclimáticas más áridas presentes desde el sur de Estados Unidos y en todo México durante el Cretácico tardío, estas regiones carecen de este tipo de yacimientos y en consecuencia el número de especies de hadrosaurios es relativamente menor (Chiarenza et al., 2019).

Producción científica sobre Hadrosaurios en México

La Figura 7 muestra la cantidad de textos científicos y de divulgación publicados cada 10 años, en donde se incluyen la información sobre el hallazgo y/o descripción de hadrosaurios de México. Aquí, es posible observar que la producción de estas publicaciones ha seguido un patrón escalonado y que en las últimas tres décadas (1991-2020) se ha disparado de manera notable. De manera particular, entre 1913 a 1950 aparecieron sólo seis de estas publicaciones que en promedio son 1.5 por década, desarrolladas durante los estudios geológicos por parte de investigadores mexicanos y extranjeros (ej. Haarmann, 1913; Vivar, 1925). En las dos décadas entre 1951 y 1970 el reporte de hadrosaurios se duplicó, y aparecieron tres publicaciones en cada una de estas décadas. En particular, es importante señalar que este aumento se debe a los reportes del proyecto de J.W. Durham y J. Pecks (Langstone & Oakes, 1954) y el segundo encabezado por C.O. Durham y G.E. (Díaz et al., 1959; Murray et al., 1960; Weidie & Murray, 1967). De igual manera, el número de estas publicaciones se vuelve a multiplicarse en las dos siguientes décadas. Entre 1971 y 1980 se publican ocho artículos conteniendo los resultados de la prospección encabezada por W.J. Morris (Morris, 1971, 1972, 1973, 1976, 1978).

En la década de 1981-1990 las publicaciones sobre hadrosaurios de México llegan a un máximo histórico de nueve artículos, debido a los estudios geológicos de investigadores extranjeros y nacionales en Chihuahua y Coahuila (Cabrera et al., 1984; Edmund, 1985), así como a los reportes de divulgación sobre los resultados alcanzados en el Proyecto Isauria (Espinosa et al., 1989).

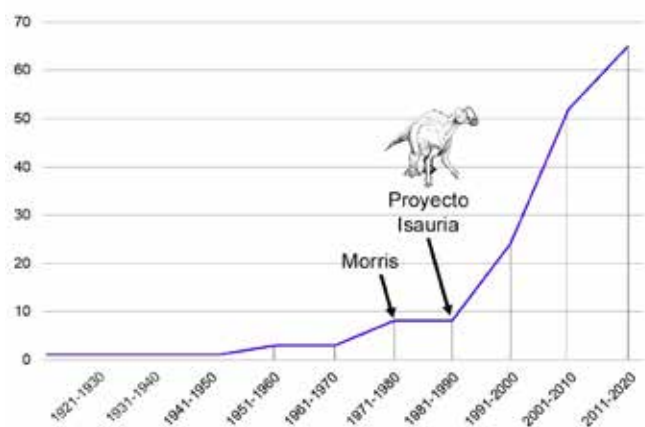


Figure 7. Graph of bibliographic production on hadrosaurs for every 10 years.

Figura 7. Gráfica de la producción bibliográfica sobre hadrosaurios por cada 10 años.

Los resultados del Proyecto Isauria rápidamente tuvieron efecto en el número y calidad de las publicaciones sobre hadrosaurios mexicanos que han venido apareciendo en las tres décadas siguientes, en donde hay 24 publicaciones entre 1991 y 2000, 55 entre 2001-2010 y 67 entre 2011-2020.

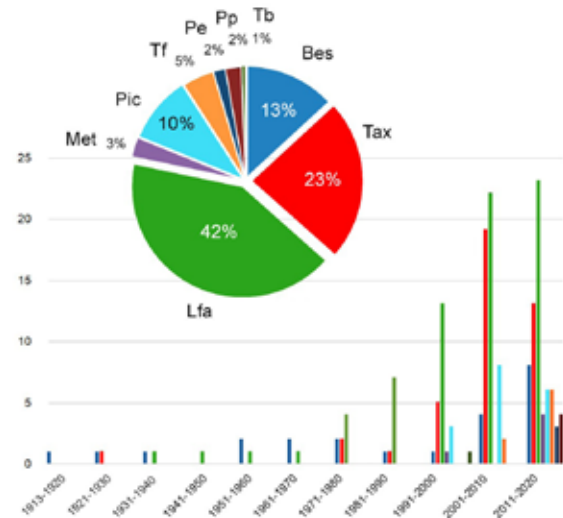
Por temas abordados. De los 175 textos sobre hadrosaurios de México, la revisión sobre los temas abordados en éstas (Fig. 8A) demuestra que, en términos netos y acumulativos desde 1913, la mayor parte de éstos (42 %) se concentra en los Listados Faunísticos generados en estudios paleontológicos locales y regionales (ej. Langstone & Oakes, 1954; Hernández, 1992; Rivera-Sylva et al., 2006). Es importante señalar que, estos listados faunísticos son notoriamente más abundantes a partir de 1981, en cuya década coincidieron las últimas publicaciones de Morris (1981).

Además, las publicaciones sobre hadrosaurios mexicanos de carácter taxonómico, donde se determina la identidad específica o supraespecífica de los fósiles, a partir de su descripción osteológica detallada y de un ejercicio comparativo adecuado, comenzaron tardíamente con Molnar (1974) y Morris (1978, 1981). Desde 1981 estos estudios taxonómicos se intensificaron de manera lenta hasta el día de hoy. En muchos casos estos estudios se han hecho sobre materiales incompletos, aislados y/o con poco valor diagnóstico, en pocas ocasiones estos no son concluidos en artículos científicos (ej. Contreras-Medina, 1997; Sánchez Uribe, 2005; Vivas González, 2013).

En tercer lugar, los estudios publicados de hadrosaurios en México tienen como tema principal determinar la posición Bioestratigráfica de estos fósiles dentro de sus respectivas unidades geológicas (Fig. 8A). Aquí, estas publicaciones sólo son 23 y representan el 13 % del total alcanzado hasta el 2019. Aunque estos estudios son los que están presentes a lo largo de la historia de la paleontología de hadrosaurios en México, es necesario señalar que, por sí mismos los hadrosaurios no son buenos elementos bioestratigráficos que ayuden a determinar edades.

En cuarto lugar, destacan los estudios sobre Paleocicnología (Fig. 8A). Estos estudios, a pesar de su importancia global, comenzaron tardíamente desde la década de 1991-2000. El restante 13 % (38) de las publicaciones principalmente abordan cinco temas, las cuales coinciden con las disciplinas paleontológicas menos desarrolladas en el país, que en orden decreciente corresponden a estudios sobre Taponomía (5%), nuevas metodologías de estudio (3%), Paleocología y Paleopatología (2% cada una), y estudios sobre tejido blando o improntas de tegumento (1%).

A Producción bibliográfica por tipo de estudio



B Producción bibliográfica por tipo de publicación

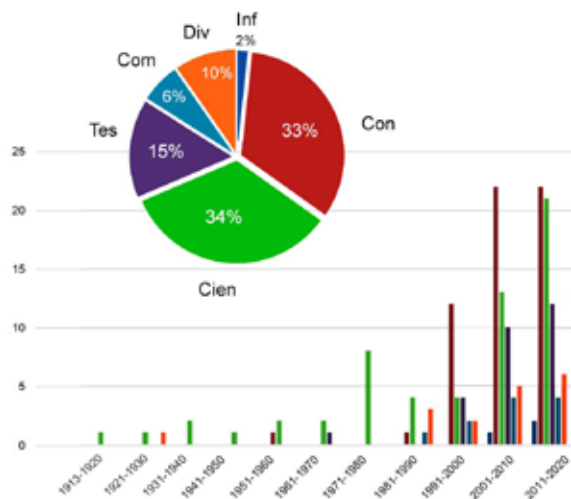


Figure 8. Graphs of bibliographic production on hadrosaurs in México by study type (A) or by type of publication (B).

Figura 8. Gráficas de la producción bibliográfica sobre hadrosaurios en México por tipo de estudio (A) o por tipo de publicación (B).

Por tipo de publicaciones.— Finalmente, la revisión de los tipos de publicaciones revela la juventud de la Paleontología de hadrosaurios en México (Fig. 8B). Aunque el número de estos productos se ha multiplicado en las últimas tres décadas, en términos porcentuales presentan una distribución interesante. Por un lado, sólo 59 que representa el 34 % de todas las publicaciones internacionales, son artículos científicos editados

en revistas especializadas, indexadas o no indexadas (ej. Morris, 1981; Gates et al., 2007). En la distribución de las autorías, es posible reconocer el aún escaso liderazgo de los paleontólogos de México con 24 artículos con todos los autores pertenecientes a instituciones extranjeras, 17 los autores son sólo de instituciones mexicanas y en el resto (18) la autoría es compartida. La creciente participación de estudiantes en el estudio de hadrosaurios de este país se ve reflejada en el número de resúmenes de congreso (58) y tesis (27), los cuales respectivamente representan el 33 y 15 % del total de publicaciones (Fig. 8B). Respecto a los resúmenes de congresos, éstos son el medio más utilizado por los estudiantes para presentar los resultados parciales o finales de sus investigaciones. Otros tipos de publicaciones son los artículos de divulgación, los compendios en capítulos de libro y los informes, los cuales representan porcentajes menores al 10 % de las publicaciones consideradas. A pesar de ello, éstos son instrumentos de comunicación que desde 1980 han sido utilizados con mayor frecuencia por los paleontólogos mexicanos.

Producción científica relativa sobre hadrosaurios de América

La gráfica resultante muestra que Estados Unidos y Canadá cuentan con el mayor número de publicaciones sobre hadrosaurios (Estados Unidos presenta una producción media de 14 artículos por cada diez años con una producción máxima de 54 artículos entre 2001-2010; mientras que Canadá presenta un promedio de seis artículos por década, con un máximo de 20 en el mismo periodo). En ambos países se destacan dos periodos de máxima productividad, uno menor entre 1911-1920 y otro mayor en la década del 2001-2010 que tuvo un inicio paulatino desde los 50's. De acuerdo con Weishampel (2014), en ambos países, este aumento obedece a las campañas de colecta emprendidas por Barnum Brown en el Río Red Deer, en Alberta Canadá, y sus continuas expediciones en Montana, donde han sido descubiertas la mayor parte de las especies de hadrosaurios de América del Norte. Este mismo autor señala que, la llegada y participación de estos dos países en la Segunda Guerra Mundial provocó una caída en la producción de publicaciones de hadrosaurios (Weishampel, 2014). Esta caída fue revertida hasta la década de 1950 y actualmente, el contrastante aumento de esta producción es resultado de la implementación de nuevos marcos teóricos y la aplicación de nuevas tecnologías (tomografía, computación, cladismo), así como a la elaboración de amplias y detalladas monografías sobre hadrosaurios (ej. Lull & Wright, 1942; Ostrom, 1961).

Es posible señalar que las curvas de producción de publicaciones científicas de México y el resto de América sobre hadrosaurios son comparativamente planas (Fig. 9). Este

comportamiento es multifactorial, pero obedece en gran parte a la naturaleza geológica de estos territorios y quizás al apoyo financiero para la investigación científica comparativamente limitado en estas regiones. Aunque de manera tardía, en México las campañas en Baja California de Morris (1966-1974) y de Ferrusquía-Applegate en Michoacán, Puebla y Coahuila (1980-1994), así como el proyecto Isauria en 1988 también tuvieron un impacto positivo en la producción científica en este país. De manera similar, el aumento en la productividad científica sobre hadrosaurios de América del Sur, paulatinamente creciente desde 1980, responde a los esfuerzos de prospección y estudio de yacimientos continentales mesozoicos en esta región, particularmente en Argentina por parte del Dr. Rodolfo Casamiquela y el Dr. José Bonaparte (ej. Casamiquela, 1964; 1978; Bonaparte et al., 1984; Bonaparte & Rougier, 1987).

Como ya se señaló, las diferencias en la producción científica sobre hadrosaurios en las distintas regiones de América, obedece también a la diferente naturaleza e historia geológica de estos territorios. Tras el surgimiento del grupo de los hadrosaurios en la región asiática de Laurasia, durante el Cretácico temprano, el norte de Norteamérica fue una región que se mantuvo comunicada esporádicamente con Europa y Asia, a través de puentes intersubcontinentales que sirvieron como rutas de intercambio de faunas terrestres (Prieto-Márquez, 2010). En cambio, después de la separación de Pangea, los continentes derivados de Gondwana (América del Sur, África, Antártida

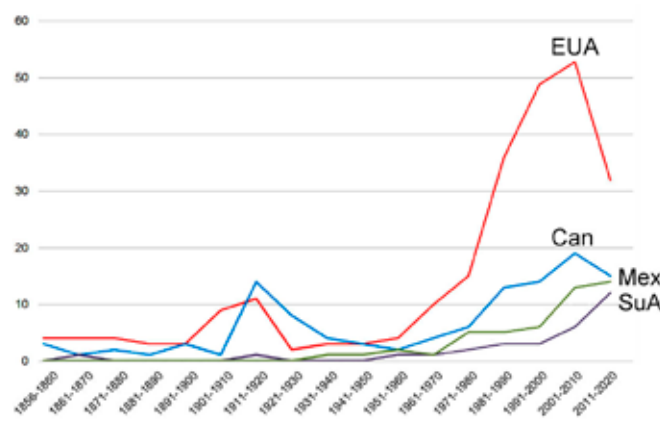


Figure 9. Graphs of bibliographic production on hadrosaurs in America, using data from the Paleobiology Data Base. **Abbreviations:** Can. Canada; USA. United States of America; Mex. Mexico; SuA. South America.

Figura 9. Gráficas de la producción bibliográfica sobre hadrosaurios en América, utilizando los datos de la Paleobiology Data Base. **Abreviaturas:** Can. Canada; USA. United States of America; Mex. Mexico; SuA. South America.

y la India) se mantuvieron aislados durante gran parte del Cretácico temprano, impidiendo la llegada y dispersión de los hadrosaurios en estos territorios. No obstante, estos dinosaurios llegaron tardíamente a América del Sur, África y la Antártida hasta la segunda parte del Cretácico tardío (Casamiquela, 1964; Case et al., 2000; Prieto-Márquez, 2010; Longrich et al., 2020). Finalmente, durante el Cretácico temprano, México estuvo cubierto por mar, lo que impidió el establecimiento de grandes comunidades de dinosaurios en las partes media y sur de este territorio norteamericano (López-Ramos, 1981), ya que el norte del país presentó una estabilidad semejante a la de los Estados Unidos. Además, desde el Cretácico el margen sur de México era una región tectónicamente activa debido a la subducción de la Placa Farallón y al contacto del Bloque Chortis, lo que a la postre llevó a la pérdida de gran parte del registro fósil en la región (López-Ramos, 1981).

La escasez de hadrosaurios en las partes media y sur de México, posiblemente es resultado de su complejidad geológica, marcada por eventos de acreción, elevación, plegamiento, y distintos periodos de intensa y extensa actividad volcánica, que a la postre llevó a la pérdida y/o extremo deterioro del registro fósil mesozoico (López-Ramos, 1981). Además, en la región del Este de este país, el registro de secuencias sedimentarias continentales del Cretácico se vio fuertemente afectado por repetidos eventos de transgresión y regresión de las aguas del Proto-Golfo de México (López-Ramos, 1981).

Desde los primeros trabajos con hadrosaurios de Estados Unidos y Canadá por parte de Joseph Leidy (1856 a, b), la paleontología de vertebrados experimentó un desarrollo explosivo en estos países, en cambio, en México y América del Sur los estudios sobre hadrosaurios sólo comenzaron hasta 1933 y 1964, respectivamente (Taliaferro, 1933; Casamiquela, 1964). Actualmente en Estados Unidos y Canadá se han identificado 83 y 19 unidades estratigráficas (formaciones) portadoras de restos de hadrosaurios que se remontan hasta el Albiano mientras que en México y el resto de América del Sur sólo se han identificado 14 y 11 de estas unidades, que se extienden hasta el Albiano-Cenomniano en México y el Santoniano en América del Sur (Prieto-Márquez, 2010; Jujihara et al., 2017; Cruzado-Caballero et al., 2018;).

Curvas de rarefacción de hadrosaurios en América.

En 2019, la diversidad de especies de hadrosaurios en América llegó a ser de 45 (Tabla 3; Fig. 10). Estados Unidos es la región con la mayor diversidad de hadrosaurios en este continente al poseer 32 spp., seguido de Canadá que esta representada por 14 spp. México que tiene cinco spp. y al final América del Sur que cuenta

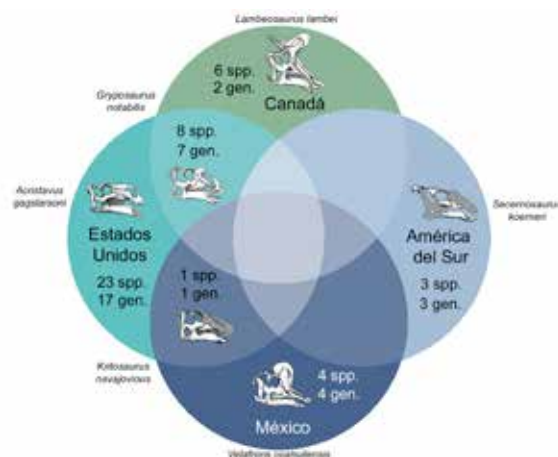


Figure 10. Venn diagram of the hadrosaur species and genera of each region of America. Illustrations by the author.

Figura 10. Diagrama de Venn de los hadrosaurios de América, donde se muestra las especies y géneros únicos de cada región de América. Ilustraciones del autor.

con sólo tres especies (Fig. 10). Además, existen ocho especies comunes entre Canadá y Estados Unidos (ej. *Gryposaurus notabilis*, *Corythosaurus casuarius*, *Edmontosaurus annectens* y *E. regalis*; Tabla 3). *K. navajovius* es la única especie común registradas en las asociaciones de México y Estados Unidos. Por último, México no comparte la presencia de especies comunes con Canadá y América del Sur (Fig. 10). Si se consideran taxa supraespecíficos e icnoespecies de hadrosaurios en América, se observan más taxa compartidos entre estas regiones (Tabla 3). Por ejemplo, debería sumarse una unidad más a los elementos taxonómicos compartidos entre México, Canadá y Estados Unidos, en donde se ha registrado *Hadrosauropodus leonardii*, la única icnoespecie de Hadrosauridae, no considerada en la Paleobiology Data Base (Díaz-Martínez et al., 2015).

Si se considera la ocurrencia o número de reportes de estos dinosaurios (incluyendo taxa supraespecíficos) dentro de una región geográfica determinada, de nuevo Estados Unidos es la región con mayor riqueza al alcanzar una ocurrencia de 759, en seguida se tiene a Canadá con una ocurrencia de 276, México con 76 y América del Sur con 30 (Tabla 3; Fig. 11). De acuerdo con las curvas de rarefacción obtenidas en este trabajo, es posible señalar que la diversidad de especies de hadrosaurios en América aún está lejos de llegar al límite (Fig. 11A). En estas curvas, donde también se incluyen taxa supraespecíficos, todas las regiones presentan una clara tendencia creciente, con excepción de Canadá, donde la curva casi llega a la horizontal. Esto último es apoyado con el hecho de que la última especie descrita para Canadá fue *Brachylophosaurus canadensis* en 1953.

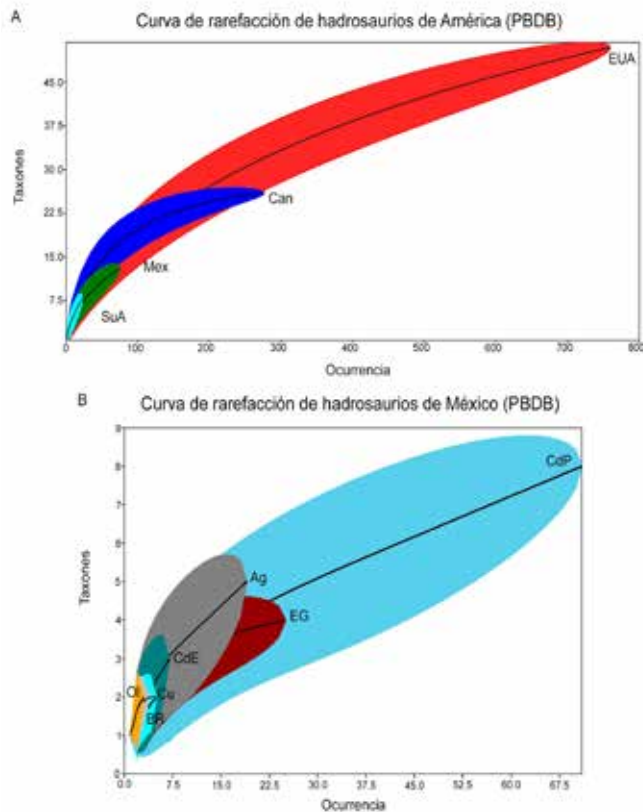


Figure 11. Accumulation curves of America and the geological units of Mexico. Note that the graphs were made based on data obtained from *Paleobiology Data Base* (PBDB: paleodb.org).

Figura 11. Curvas de acumulación de América y de las unidades geológicas de México. Note que las gráficas se realizaron con base a los datos obtenidos de *Paleobiology Data Base* (PBDB: paleodb.org). **Abbreviations /Abreviaturas:** BR. Fm. La Bocana Roja; Can. Canadá; CdE. Fm. Corral de Enmedio (Sección de la Columna Naco); CdP. Fm. Cerro del Pueblo; Cu. Cutzamala; EG. Fm. El Gallo; EUA. Estados Unidos de América; Mex. México; OI. Fm. Olmos; SuA. América del Sur.

Las curvas de esfuerzo de colecta que incluyen las distintas unidades geológicas de México revelan que la riqueza de estos organismos es heterogénea a lo largo del país (Fig. 11B). La Formación Cerro del Pueblo, en Coahuila, es la unidad con mayor diversidad y riqueza de hadrosaurios en todo el país al contar con 71 ocurrencias, la presencia de ocho taxones, incluyendo a tres de las cinco especies válidas de hadrosaurios mexicanos, *Velafrons coahuilensis*, *Latirhinus uisttlani* y *Kritosaurus navajovius*. A pesar de que la Formación Aguja, expuesta en Chihuahua y Coahuila cuenta con 19 ocurrencias, es la tercera unidad geológica más rica y la segunda más diversa en México (Fig. 11B). No obstante, su participación en el reconocimiento de la diversidad de hadrosaurios es mínima porque no posee especies válidas y sus fósiles sólo han sido vagamente identificados. Hasta

hoy se cuenta con la ocurrencia de hadrosaurios en 25 sitios de la Formación El Gallo, en Baja California, lo que hacen de esta unidad geológica la segunda más rica y la tercera más diversa de México, donde se ha reconocido a *Magnapaulia laticaudus* (Fig. 11B). En cuarto lugar, la Formación Corral de Enmedio, de la columna Naco en Sonora, ocupa el cuarto lugar en riqueza y diversidad en México, al contar con siete ocurrencias reportadas. Por último, las formaciones Olmos, La Bocana Roja y Cutzamala, en Coahuila, Baja California y Michoacán respectivamente, se disputan los lugares del quinto al séptimo en importancia de diversidad y riqueza de hadrosaurios, al presentar ocurrencias cercanas a cinco y la presencia de dos taxones. Entre estos, se debe resaltar la presencia de *Huehuecanatlus tiquichensis* (Fig. 11B).

DISCUSIÓN

La presencia de hadrosaurios en América se conoce desde mediados del siglo XIX, cuando *Hadrosaurus foulkii* Leidy, 1857, fue descrito a partir de restos provenientes del Estado de Alabama, en Estados Unidos. Después de 163 años y tras el paso de distintos episodios de intensificación y diversificación de los estudios paleontológicos, las instituciones paleontológicas de Estados Unidos son las que han invertido un mayor esfuerzo en coleccionar y estudiar estos dinosaurios, seguidos por aquellas de Canadá, México y América del Sur (Fig. 11A). Actualmente, se conocen 45 especies en América (Fig. 10), y a la par de los esfuerzos invertidos en dichos estudios, la diversidad y riqueza de se concentra en Estados Unidos seguido de Canadá, México y América del Sur. El patrón observado en la distribución y diversidad de estos dinosaurios a través de América podría ser natural (climáticos, geográficos, tafonómicos y biogeográficos), sin embargo, aquí se reconoce que estos índices también son regulados por distintos factores antropogénicos.

Factores climáticos y geológicos.— Por un lado, la diversidad de hadrosaurios en Estados Unidos y Canadá podría estar obedeciendo a factores favorables presentes durante el Cretácico. Desde entonces, estas regiones prácticamente ya habían alcanzado su integridad territorial actual y ésta sólo fue alterada muy poco. Esto último, posiblemente se deba a la tectónica terrestre o eventos de transgresiones marinas, siendo la más importante aquella que dio origen al Mar Interior de América del Norte, que corría desde el Golfo de México hasta la región central de Canadá (Slattery et al., 2015). Al mismo tiempo, Estados Unidos y la parte Sur de Canadá ocupaban una región paleoclimática tropical y el resto de Canadá era más frío (Hay & Floegel, 2012; Holz, 2015; Fig. 12A-12B). En cambio, a lo largo del Cretácico, el territorio mexicano estaba modificándose por la actividad tectónica, principalmente al sur, donde la



Figure 12. Reconstructions of the environments where North American hadrosaurs lived during the Cretaceous. **A**, reconstruction of a cold environment of the Dinosaur Park Formation, in Alberta Canada with two *Parasaurolophus walkeri*; **B**, reconstruction of humid tropical environment of Kirtland Formation, in New Mexico, United States, with a *Kritosaurus horneri* (this environment also extended to the San Carlos, Aguja and Olmos formations in México); **C**, reconstruction of a paratropical environment of the Cerro del Pueblo Formation, in Coahuila, with two *Velafrons coahuilensis*; **D**, reconstruction of the arid environment of the Cutzamala Formation, in Michoacán, with a *Huehuecanauhtlus tiquichensis*. Illustration's courtesy of Marco A. Pineda (A and C), Sergey Krasovskiy (B) and Román García Moran (D).

Figura 12. Reconstrucciones de los ambientes donde habitaban los hadrosaurios de América del Norte durante el Cretácico. **A**, reconstrucción de un ambiente frío de la Fm. Dinosaur Park, en Alberta Canadá con dos *Parasaurolophus walkeri*; **B**, reconstrucción de un ambiente tropical húmedo de la Fm. Kirtland, en Nuevo México Estados Unidos, con un *Kritosaurus horneri* (este ambiente se extendía a las formaciones San Carlos, Aguja y Olmos en México); **C**, reconstrucción de un ambiente paratropical de la Fm. Cerro del Pueblo, en Coahuila, con dos *Velafrons coahuilensis*; **D**, reconstrucción del ambiente árido de la Fm Cutzamala, en Michoacán, con un *Huehuecanauhtlus tiquichensis*. Ilustraciones cortesía de Marco A. Pineda (A y C), Sergey Krasovskiy (B) y Román García Moran (D).

Placa de Chortis se encontraba colisionando y desplazándose hacia el oeste (Molina Garza et al., 2019; Fig. 13). Cerca del 50 al 30 % del territorio de México estuvo sumergido por mares epicontinentales que afectaron principalmente su área Oriental (Fig. 13). Además, durante este tiempo, México presentó un gradiente paleoclimático dominado por grandes regiones áridas o desérticas al sur y una franja tropical al norte (Figs. 12C-12D, 13). Considerando estos factores, es posible reconocer que el desarrollo de los hadrosaurios encontró mejores condiciones al norte del subcontinente Laramidia, donde el clima tropical y la disponibilidad de grandes territorios pudieron favorecer la diversificación y abundancia de estos dinosaurios. En contrate, el reducido territorio, la aridez y, en consecuencia, los cambios en las asociaciones florísticas de México pudieron afectar de manera negativa la diversidad de los hadrosaurios reduciendo sus poblaciones. Es notable que, la reducida diversidad y

abundancia de hadrosaurios en América del Sur ha sido atribuida, no a cuestiones climáticas y territoriales, sino al arribo tardío de estos dinosaurios a regiones gondwánicas (Horner et al., 2004; Prieto-Márquez, 2010).

Factores tafonómicos.— Gran parte de los hadrosaurios de Estados Unidos y Canadá han sido recuperados en sitios descritos como *bonebeds* de origen fluvial y depositadas en regiones continentales (alejadas del mar), como resultado de lluvias torrenciales que causaron grandes inundaciones (Varricchio & Horner, 1993; Wosik et al., 2020). En estos sitios, los restos óseos de organismos grandes y pequeños suelen estar acumulados en altas densidades, conservando esqueletos casi completos, muchas veces articulados. Aunque es posible señalar que en México pudieran existir yacimientos *bonebeds* (ej. sitio SPA 88-9 y El Rosario 6618), éstas no tienen las mismas características

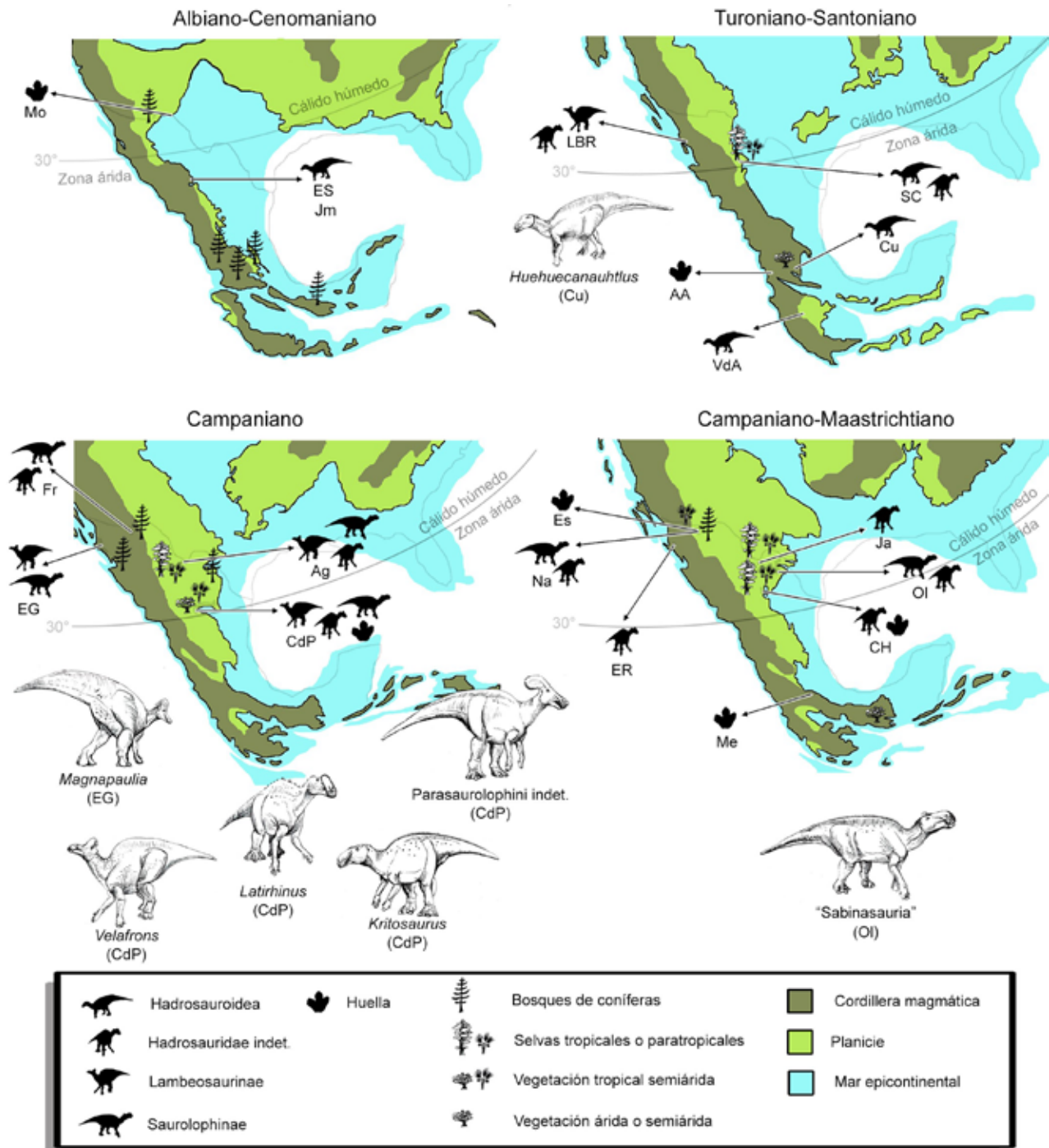


Figure 13. Paleogeographic maps of the southern United States, Mexico and Honduras (modified maps of Slattery et al., 2015; paleoclimatic data of Hay & Floegel, 2012, Holz, 2015; and paleobotanics of Villanueva-Amadoz et al., 2014).

Figura 13. Mapas paleogeográficos del sur de Estados Unidos, México y Honduras (mapas modificados de Slattery et al., 2015; datos paleoclimáticos de Hay & Floegel, 2012, Holz, 2015; y paleobotánicos de Villanueva-Amadoz et al., 2014).

Abbreviations/ Abreviaturas: AA. Arenisca Aguillilla; Ag. Aguja Fm.; Baja. Baja California; CdP. Cerro del Pueblo Fm.; CH. Cerro Huerta Fm.; Chih. Chihuahua; Coah. Coahuila; Cu. Cutzamala Fm.; EG. El Gallo Fm.; ER. El Rosario Fm.; ES. Estrato Soledad; Es. Esqueda Column; Fr. Frontera Column; Hon. Honduras; Ja. Javelina Fm.; Jm. Jiménez Area; LBR. Bocana Roja Fm.; Me. Mexcala Fm.; Mich. Michoacán; Mo. Mojado Fm.; Na. Naco Column; Ol. Olmos Fm.; Pue. Puebla; Son. Sonora; VdA. Valle de Angeles Group of Honduras. Illustrations by the author/ Ilustraciones del autor.

porque se formaron bajo condiciones de ambientes transicionales o fluviales, de alta energía y sus fósiles no muestran evidencias de la acumulación súbita de organismos completos vivos (Eberth et al., 2004; Fastovsky et al., 2020).

Factores biogeográficos.— El patrón de distribución geográfica de los Hadrosaurios en América del Norte aquí observado (Fig. 6), ha recibido cuatro explicaciones. Horner y Gorman (1990) sugirieron que estos dinosaurios de hábitos nómadas y gregarios migraban periódicamente de norte a sur, bordeando las zonas costeras de bajo relieve del subcontinente, desde Alaska a México. Posteriormente, Lehman (1997) propuso que estos dinosaurios estaban segregados latitudinalmente en dos grandes provincias, el primero se extendía al sur desde la región media de Estados Unidos hasta México mientras que, su contraparte ocupaba la región norte del subcontinente hasta Alaska. A su vez, Gates et al. (2010) sugirieron la presencia de una amplia zona transicional entre las dos provincias de Lehman, apoyando la presencia de verdaderos endemismos en cada provincia. Finalmente, Lucas et al. (2016) rechazaron el provincialismo y el endemismo verdadero para explicar la distribución de los hadrosaurios, argumentando la existencia de un endemismo aparente causado por el sesgo en el registro fósil.

A partir de las dos primeras propuestas, se esperaba que los hadrosaurios de México compartieran un número considerable de especies con Estados Unidos y Canadá, sin embargo, en este trabajo se observa que la diversidad específica en México constituye una asociación peculiar, posiblemente un endemismo aparente, diferente de las asociaciones presentes en el resto de América del Norte. De las cinco especies hasta ahora descritas en México, sólo *Kritosaurus navajovius* es compartida con el sur de Estados Unidos y las restantes cuatro son tan diferentes de otros hadrosaurios de América del Norte que fueron asignadas a sus propios géneros (Figs. 5 y 10).

Factores antropogénicos.— Por otro lado, entre los factores antropogénicos que afectan el reconocimiento de la diversidad y distribución de hadrosaurios en América, están directamente vinculados con las diferencias históricas en el desarrollo de la Paleontología de dinosaurios de cada una de las regiones aquí consideradas. Mientras que el primer hadrosaurio de Estados Unidos fue descrito en 1857, sólo 40 años después se dio a conocer el primer hadrosaurio de Canadá (Marsh, 1892). Desde entonces, los grupos e instituciones involucradas en el estudio de estos dinosaurios en ambos países encontraron espacios comunes que los llevaron a una intensa colaboración. Además de un idioma en común, estos dos países comparten formaciones

geológicas, en donde han descubierto especies comunes y los apoyos y programas de sus instituciones son comparables (Tabla 3). En cambio, sólo 122 y 124 años después, se conocen las primeras especies válidas de hadrosaurios en América del Sur y México (Brett-Surman, 1979; Morris, 1981), lo que representa, al menos para México, un retraso histórico tan profundo que aún están lejos de ser superado. Este retraso es patente en la composición y los logros alcanzados por la comunidad de paleontólogos de este país, en donde:

1) Los paleontólogos dedicados al estudio de dinosaurios es sumamente reducido e incluye 11 investigadores activos y 20 estudiantes formados en Licenciatura y Maestría desde 1980 (Tabla 1; Fig. 3). Aunque no se conocen estos datos en las otras regiones de América, los números observados en México son pobres. Esta situación ha impedido un reemplazo generacional adecuado de investigadores contratados en las distintas instituciones mexicanas, en donde, en el mejor de los casos sólo han sido contratados paleontólogos con nivel de Maestría (Tabla 1).

2) Cada vez con mayor frecuencia, los fósiles de hadrosaurios y otros organismos asociados están siendo depositados en Colecciones Paleontológicas desvinculadas de cuerpos académicos de alto nivel que garantizan su adecuado estudio y conservación (Tabla 1). En México, se han incrementado las colecciones privadas y públicas que utilizan estos fósiles, con fines didácticos o para armar exhibiciones temporales o permanentes, sin que exista un apego a la normativa mexicana vigente en el manejo de estos objetos patrimoniales, ni una garantía en la veracidad de su origen y adecuada conservación.

3) Como resultado de la pobre formación académica y de las escasas oportunidades laborales que enfrentan los paleontólogos de dinosaurios en México, los resultados de la mayor parte de las investigaciones no llegan a ser publicadas en revistas especializadas de alto nivel y sólo aparecen en resúmenes de congreso, tesis, y trabajos de divulgación (Fig. 8).

4) Los proyectos dedicados a la prospección y colecta de dinosaurios emprendidos en México desde 1980, con el apoyo de instituciones nacionales, se han limitado al rescate, preparación y exhibición de los fósiles, dejando de lado temas importantes como son las relaciones bioestratigráficas y el análisis paleoambiental asociados a los dinosaurios encontrados en el país. Aunque esta situación se ha venido corrigiendo en los últimos años, una gran cantidad de fósiles ya colectados carecen de estos datos.

CONCLUSIONES

Los hadrosaurios de México han sido estudiados de manera sistemática desde la década de 1980 por parte de investigadores extranjeros con una participación creciente de paleontólogos y estudiantes mexicanos. A pesar de ello, el núcleo de investigadores y estudiantes dedicados a ello es reducido y aún no logra impulsar la formación de especialistas de alto nivel que puedan ser contratados por instituciones educativas y académicas de este país.

A pesar de que los restos de hadrosaurios recuperados en distintas regiones de México son relativamente abundantes en rocas del Albano-Maastrichtiano, y representan diferentes tipos de conservación, como huesos, icnitas, huevos e improntas tegumentarias, la diversidad taxonómica de éstos es comparativamente muy baja. En el país, sólo cinco especies han sido descritas formalmente a partir de restos óseos y se ha identificado una única icnosepecie. Mientras que otros restos óseos de hadrosaurios del país sólo han sido vagamente identificados a niveles supraespecíficos, los huevos y tegumentos mencionados aún esperan estudios detallados.

En México, los restos óseos de hadrosaurio han sido recuperados en yacimientos de la región norte (Sonora, Coahuila y Chihuahua), sur (Michoacán) y oeste (Baja California) de México (Fig. 11). En donde generalmente son colectados como elementos fragmentados y/o aislados de difícil determinación taxonómica. No obstante, el estudio detallado de restos esqueléticos mejor conservados y más completos, procedentes de las formaciones Cutzamala, El Gallo y Cerro del Pueblo, han permitido la determinación específica de éstos, entre los que se incluye *Huehucanahutlus tiquichensis*, *Magnapaulia laticaudus*, *Velafrons coahuilensis*, *Kritosaurus navajovius* y *Latirhinus uitstlani* (Fig. 13). A pesar de esta situación, el conjunto de especies refleja que México poseía una asociación peculiar y única. No obstante, la poca información bioestratigráfica de los hadrosaurios generada en México, impide el reconocimiento franco de correlaciones bioestratigráficas entre Canadá, Estados Unidos y México.

La revisión de la historia del estudio de los hadrosaurios en México, así como las curvas obtenidas del correspondiente esfuerzo de muestreo, sugieren que estos dinosaurios fueron diversos y abundantes en este país. Por ello, la mejor conclusión del presente trabajo está dirigida a las instituciones y jóvenes paleontólogos interesados en estos organismos, quienes deberán redoblar esfuerzos para garantizar la mejor colecta, estudio y

conservación de estos dinosaurios y reconocer sus implicaciones en la historia natural del grupo.

Agradecimientos.— Agradezco a M.-R. Chavarría Martínez por su ayuda y apoyo en la organización del manuscrito. También agradezco a J.I. Barrientos Lara y J.A. Díaz Cruz por facilitarme parte de esta bibliografía. Este manuscrito fue significativamente mejorado a partir de los comentarios de J. Alvarado Ortega, P. Ornelas García, A. Bueno Hernández, V.M. Bravo Cuevas, M. Montellano Ballesteros, K.M. Cantalice y R. Hernández Rivera. También, la ayuda y las facilidades durante la revisión de los materiales de las diferentes colecciones paleontológicas, en especial a V. Romero Mayen (IGM), J. Manuel Padilla Gutiérrez (CPC), V.M. Escalante Hernández (voluntario de la CPC), M.C. Aguillón Martínez (CPC), A.F. Guzmán (DP. INAH), F.J. Aguilar (centro INAH Coahuila), H.G. Porras Múzquiz, (MUZ), R. Guajardo (PASAC), C.M. Gonzalez León (ERNO) y H.L. Kaiser (ERNO), así como L. Martínez Reza (estudiante de Chihuahua), A. Gutiérrez M. (Rancho Don Chuy) y R. Martínez M. (Rancho Don Chuy).

Las interpretaciones artísticas de los paleoambientes de este manuscrito fueron generosamente aportadas por M. A. Pineda, S. Krasovskiy y R. García Moran. Por último, se agradece a los revisores anónimos y al editor de esta revista, ya que sus comentarios mejoraron significativamente el trabajo final. Esta investigación es resultado parcial de mis estudios de doctorado. La UNAM y el CONACyT proporcionaron los recursos financieros para desarrollar este trabajo, a través del proyecto DGAPA-PAPIIT IN 209017 y de la beca de posgrado CONACyT (clave: 303851).

INFORMACIÓN ADICIONAL

Los apéndices pueden consultarse en las siguientes ligas:

Apéndice 1. Datos en extenso de la The Paleobiology Database. <https://bit.ly/3feNsBx>

Apéndice 2. Resultados y Referencias adicionales mencionadas en la Tabla 3. <https://bit.ly/3tIYnZi>

LITERATURA CITADA

Aguilar, F.J., R. Hernández-Rivera, J. López Espinoza, M. Lara Rodríguez, A.A. Ramírez-Velasco & J.L. Gudiño Maussán. 2013. Rescate paleontológico de un esqueleto semiarticulado de hadrosáurido (Ornithischia: Hadrosauridae) en el ejido

- Guadalupe, municipio General Cepeda, Coahuila. Consejo de Arqueología, INAH, Informe Inédito. México.
- Aguilar, F.J., R. Hernández-Rivera, J. López-Espinoza, M. Lara-Rodríguez, A.A. Ramírez Velasco & J.L. Gudiño-Maussán. 2014. Informe Rescate paleontológico de un esqueleto semiarticulado de Hadrosáurido (Ornithischia: Hadrosauridae) en el ejido Guadalupe, municipio General Cepeda, Coahuila. Consejo de Arqueología, INAH, Informe Inédito, México.
- Aguillón-Martínez, M.C., D. Zelenitsky, D. Brinkman & D. Eberth. 2004. Eggshell fragments from the uppermost Cerro del Pueblo Formation (upper Cretaceous; Mexico). *Journal of Vertebrate Paleontology* 24:33A.
- Applegate, S.P. 1988. ¿Es México un país de dinosaurios? *Ciencia y Desarrollo* XIV:69-74.
- Bell, P.R., E. Snively & L. Shychoski. 2009. A comparison of the jaw mechanics in hadrosaurid and ceratopsid dinosaurs using finite element analysis. *Anatomical Record* 292:1338-1351.
- Bell, P.R., F. Fanti, P.J. Currie & V.M. Arbour. 2014. A mummified duck-billed dinosaur with a soft-tissue cock's comb. *Current Biology* 24:1-6.
- Benammi, M. & M. Montellano-Ballesteros. 2006. New data from the continental Late Cretaceous faunas from northern Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 26:41A.
- Benammi, M., E. Centeno-García, E. Martínez-Hernández, M. Morales-Gámez, G. Tolson & J. Urrutia-Fucugauchi. 2005. Presencia de dinosaurios en la barranca Los Bonetes en el sur de México (Región de Tiquicheo, Estado de Michoacán) y sus implicaciones cronoestratigráficas. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 22:429-435.
- Benton, M.J., A.M. Dunhill, G.T. Lloyd & F.G. Marx. 2011. Assessing the quality of the fossil record: insights from vertebrates. *Geological Society, Special Publications* 358:63-94.
- Bonaparte, J.F. & G. Rougier. 1987. The Late Cretaceous fauna of Los Alamitos, Patagonia, Argentina Part VII-The Hadrosaurs. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia* 3:155-161.
- Bonaparte, J.F., M.R. Franchi, J.E. Powell & E.G. Sepúlveda. 1984. La Formación Alamitos (Campaniano-Maastrichtiano) del sudeste del Río Negro, con descripción de *Kritosaurus australis* n. sp. (Hadrosauridae). Significado paleogeográfico de los vertebrados. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 39:284-299.
- Bravo-Cuevas, V.M. & E. Jiménez-Hidalgo. 1996. Las Dinosauricnitas de México: su significación geológico-paleontológica. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Bray, E.S. 1999. Eggs and eggshell from the Upper Cretaceous North Horn Formation, central Utah. *Vertebrate Paleontology in Utah, Utah Geological Survey Miscellaneous Publication* 99:361-375.
- Brett-Surman, M.K. 1979. Phylogeny and paleobiogeography of hadrosaurian dinosaurs. *Nature* 277:560-562.
- Brinkman, D.B., D.A. Eberth, S.D. Sampson, M.C. Aguillón, C.R. Delgado-de Jesús & R.A. Rodríguez-de la Rosa. 2002. Paleontology and stratigraphy of the dinosaur bearing Cerro del Pueblo Formation, southern Coahuila, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 22:38A-39A.
- Brown, B. 1910. The Cretaceous Ojo Alamo Beds of New Mexico with description of the new dinosaur genus *Kritosaurus*. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 28:267-274.
- Brown, B. 1912. A crested dinosaur from the Edmonton Cretaceous. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 31:131-136.
- Brown, B. 1914. *Corythosaurus casuarius*, a new crested dinosaur from the Belly River Cretaceous, with provisional classification of the family Trachodontidae. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 33:559-565.
- Brown, B. 1916. A new crested trachodont dinosaur *Prosaurolophus maximus*. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 35:701-708.
- Cabrera, F., G. Narváez, J.M. Chávez, R. Hernández, J. Alcántara & F. Gómez. 1984. Exploración carbonífera en la Cuenca de Ojinaga, Chihuahua. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 45:41-61.
- Cabrera Hernández, J.S. 2018. Descripción e identificación de cáscaras de huevo de dinosaurios fósiles y de dos dinosaurios perinatales de la formación El Gallo (Cretácico Tardío) El Rosario, Baja California, México. Tesis de licenciatura. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. México.
- Cabrera Hernández, J.S., R. Hernández-Rivera & M. Mora Nuñez. 2017. Descripción de cáscaras de huevo y de dos embriones de

- dinosaurios de El Rosario, Baja California, México. Libro de resúmenes del XV Congreso Nacional de Paleontología 20p.
- Case, J.A., J.E. Martin, D.S. Chaney, M. Reguero, S.A. Marensi, S.M. Santillana & M.O. Woodburne. 2000. The first duck-billed dinosaur (family Hadrosauridae) from Antarctica. *Journal of Vertebrate Paleontology* 20:612-614.
- Casamiquela, R.M. 1964. Sobre un dinosaurio hadrosaurio de la Argentina. *Ameghiniana* 3: 285-308.
- Casamiquela, R.M. 1978. La zona litoral de la transgresión maastrichtense en el norte de Patagonia. Aspectos ecológicos. *Ameghiniana* 15: 137-148.
- Cervantes-León, I.G. & H.E. Rivera-Sylva. 2008. Fauna cretácica de la región desierto de Coahuila. Coahuila, COECYT – Coahuila, Avance de proyecto 4.
- Chiarenza, A.A., P.D. Mannion, D.J. Lunt, A. Farnsworth, L.A. Jones, S.J. Kelland & P.A. Alliso. 2019. Ecological niche modelling does not support climatically-driven dinosaur diversity decline before the Cretaceous/Paleogene mass extinction. *Nature communications* 10:1091.
- Contreras-Medina, R. 1997. Origen, taxonomía y paleobiogeografía de hadrosauridae (Ornithischia: Ornithopoda) una familia de dinosaurios del Cretácico. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Coria, R.A., B. González Riga, S. Casadio. 2012. Un nuevo hadrosáurido (Dinosauria, Ornithopoda) de la Formación Allen, provincia de La Pampa, Argentina. *Ameghiniana* 49:552-572.
- Cristín, A. & J. Alvarado-Ortega. 2017. El laberinto de la perspicuidad: ¿Paleobiología en México? Pp. 15-70. En S.R.S. Cevallos-Ferriz & A.R. Huerta-Vergara (Eds.). *Paleobiología interpretando procesos de la vida pasada*. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Cruzado-Caballero, P. & J.E. Powell. 2017. *Bonapartesaurus rionegrensis*, a new hadrosaurine dinosaur from South America: implications for phylogenetic and biogeographic relations with North America. *Journal of Vertebrate Paleontology* e1289381.
- Cruzado-Caballero, P., L.S. Filippi, A.H. Méndez, A.C. Garrido & I. Díaz-Martínez. 2018. First ornithopod remains from the Bajo de la Carpa Formation (Santonian, Upper Cretaceous), northern Patagonia, Argentina. *Cretaceous Research* 83: 182-193.
- Cuthbertson, R.S., A. Tirabasso, N. Rybczynski & R.B. Holmes. 2012. Kinetic limitations of intracranial joints in *Brachylophosaurus canadensis* and *Edmontosaurus regalis* (Dinosauria: Hadrosauridae), and their implications for the chewing mechanics of hadrosaurids. *The Anatomical Record* 295:968-979.
- De León-Dávila, C.A. 2019. Coahuilosaurios. Museo del Desierto de Coahuila y Benemérita Escuela Normal de Coahuila. México.
- Díaz, T., R. Mixon, G. Murray, A. Weidie & J. Wolleben. 1959. Mesozoic stratigraphy and structure, Saltillo-Galeana areas, Coahuila and Nuevo León, México. *South Texas Geological Society, Field Trip* 125 p.
- Díaz-Martínez, I., X. Pereda-Superbiola, F. Pérez-Lorente & J.I. Canudo. 2015. Ichnotaxonomic review of large ornithopod dinosaur tracks: temporal and geographic implications. *PLoS One* 10:e0115477.
- Dollfus, M.M. & E. de Montserrat. 1867. Étude sur le District de Sultepec. *Archives de la Commission Scientifique du Mexique* 3:479.
- Duarte-Bigurra, R. 2013. Descripción de dos esqueletos parciales de hadrosauridae (Dinosauria: Ornithischia) del Cretácico Superior de la región de Fronteras, Sonora, México. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad de Sonora. México.
- Eberth, D.A., C.R. Delgado-de Jesús, J.F. Lerbekmo, D.B. Brinkman, R.A. Rodríguez-de la Rosa & S.D. Sampson. 2004. Cerro del Pueblo Fm (Difunta Group, Upper Cretaceous), Parras Basin, southern Coahuila, Mexico: reference sections, age, and correlation. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 21:335-352.
- Eberth, D.A., S.D. Sampson, R.A. Rodríguez-de la Rosa, M.C. Aguillón-Martínez, D.B. Brinkman & J. López-Espinoza. 2003. Las Águilas: an unusually rich Campanian-age vertebrate locale in southern Coahuila, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 23:47A.
- Edmund, G.A. 1985. A new field of exploration: Dinosaur bones in the Chihuahua Desert. *Rotunda, Royal Ontario Museum* 35-39.
- Espinosa Arrubarrena, L., S.P. Shelton & R. Hernández-Rivera. 1989. Crónicas de una gran expedición paleontológica. *Ciencia y Desarrollo* 15:23-32.

- Estrada-Ruiz, E. & H.I. Martínez-Cabrera. 2011. A new Late Cretaceous (Coniacian-Maastrichtian) Javelinoxylon wood from Chihuahua, Mexico. *IAWA* 32:521-530.
- Evans, D.C. 2010. Cranial anatomy and systematics of *Hypacrosaurus altispinus*, and a comparative analysis of skull growth in lambeosaurine hadrosaurids (Dinosauria: Ornithischia). *Zoological Journal of the Linnean Society* 159:393-434.
- Fastovsky, D.E., M. Montellano-Ballesteros, H.C. Fricke, J. Ramezani, K. Tsukui, G.P. Wilson, P. Hall, R. Hernandez-Rivera & G. Alvarez. 2020. Paleoenvironments, taphonomy, and stable isotopic content of the terrestrial, fossil-vertebrate bearing sequence of the El Disecado Member, El Gallo Formation, Upper Cretaceous, Baja California, México: *Geosphere* 16:1-21.
- Ferrusquía-Villafranca, I., S.P. Applegate & L. Espinosa-Arrubarrrena. 1978. Rocas volcanosedimentarias mesozoicas y huellas de dinosaurios en la región suroccidental pacífica de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 2:150-162.
- Ferrusquía-Villafranca, I., E. Jiménez-Hidalgo & V.M. Bravo-Cuevas. 1995. Jurassic and Cretaceous dinosaur footprints from Mexico: additions and revisión. *Journal of Vertebrate Paleontology* 15:28A.
- Ferrari, L.M.M., M. López-Martínez, M. Cerca-Martínez, V.A. Valencia & L. Serrano-Durán. 2009. Cretaceous-Eocene magmatism and Laramide deformation in southwestern Mexico: No role for terrane accretion. *The Geological Society of America Memoir* 204:1-32.
- Fierro Chavarría, R. & J.J. Megías Rodríguez. 2019. Montaje y exhibición del primer dinosaurio en México. Libro de resúmenes del XVI Congreso Nacional de Paleontología 96p.
- Flores-Espinoza, E. 1989. Stratigraphy and sedimentology of the Upper Cretaceous terrigenous rocks and coal of the Sabinas-Monclova area, northern Mexico. Tesis doctoral. University of Texas at Austin. Texas.
- Freedman, F.E.A. & J.R. Horner. 2015. A new brachylophosaurin hadrosaur (Dinosauria: Ornithischia) with an intermediate nasal crest from the Campanian Judith River Formation of northcentral Montana. *PLoS ONE* 10:e0141304.
- Galton, P.M. 1986. Herbivorous adaptations of Late Triassic and Early Jurassic dinosaurs. Pp. 203-221. En K. Padian (Ed.). *The beginning of the age of dinosaurs*. Cambridge University Press. Cambridge.
- García Alcántara, D. 2016. Microvertebrados Cretácicos de la localidad Fiesta de Huesos, El Rosario, Baja California, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- García-Orozco, J., Zamora-Vega, A., 1994, Caracterización Geológica y potencial minerohidrogeológica del Municipio de Aguillilla, Michoacán. Tesis de licenciatura. Instituto Politécnica Nacional-ESTA. México.
- Gates, T.A. & S.D. Sampson. 2007. A new species of *Gryposaurus* (Dinosauria: Hadrosauridae) from the late Campanian Kaiparowits Formation, southern Utah, USA. *Zoological Journal of the Linnean Society* 151:351-376.
- Gates, T.A. & R. Scheetz. 2014. A new saurolophine hadrosaurid (Dinosauria: Ornithopoda) from the Campanian of Utah, North America. *Journal of Systematic Palaeontology* 13:711-725.
- Gates, T.A., A. Prieto-Márquez & L.E. Zanno. 2012. Mountain building triggered Late Cretaceous North American megaherbivore dinosaur radiation. *PLoS ONE* 7:e42135.
- Gates, T.A., J.R. Horner, R.R. Hanna & C.R. Nelson. 2011. New unadorned hadrosaurine hadrosaurid (Dinosauria, Ornithopoda) from the Campanian of North America. *Journal of Vertebrate Paleontology* 31:798-8114.
- Gates, T.A., Z. Jinnah, C. Levitt & M.A. Getty. 2014. New hadrosaurid specimens from the lower-middle Campanian Wahweap Formation of Utah. Pp. 156-173. In D.A. Eberth & D.C. Evans (Eds.). *Hadrosaurs*. Indiana University Press, Bloomington e Indianapolis.
- Gates, T.A., S. Sampson, C.R. Delgado de Jesús, L.E. Zanno, D.A. Eberth, R. Hernández-Rivera, M.C. Aguillón-Martínez & J.I. Kirkland. 2007. *Velafrons coahuilensis*, a new lambeosaurine hadrosaurid (Dinosauria: Ornithopoda) from the Late Campanian Cerro del Pueblo Formation, Coahuila, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 27:917-930.
- Gates, T.A., S.D. Sampson, L.E. Zanno, E.M. Roberts, J.G. Eaton, R.L. Nydam, J.H. Hutchison, J.A. Smith, M.A. Loewen & M.A. Getty. 2010. Biogeography of terrestrial and freshwater vertebrates from the Late Cretaceous (Campanian) Western

- Interior of North America. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 291:371-387.
- González-León, C.M., L.A. Solari & J. Madhavaraju. 2017. Stratigraphy, geochronology and regional tectonic setting of the Late Cretaceous (ca. 82-70 Ma) Cabullona basin, Sonora, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences* 80:494-511.
- Gudiño Maussán, J.L. 2016. Estudio paleobiológico de las dinosauricintas de la Formación Cerro del Pueblo (Campaniano Tardío), Coahuila. Tesis de maestría. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Gudiño Maussán, J.L. & A.F. Guzmán. 2014. El registro fósil de los dinosaurios de México. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.
- Gudiño Maussán, J.L., F.J. Aguilar & R. Hernández-Rivera. 2018. Aplicación de fotogrametría digital para el registro de las huellas de dinosaurio de la Formación Cerro del Pueblo (Campaniano tardío), Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 70:307-324.
- Haarmann, E. 1913. Geologische Streifzüge in Coahuila. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft Monatsberichte* 1:1-65.
- Hammer, O., D.A.T. Harper & P.D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data análisis. *Paleontología Electronica* 4:9.
- Hay, W.W. & S. Floegel. 2012. New thoughts about the Cretaceous climate and oceans. *Earth-Sciences Reviews* 115:262-272.
- Head, J.J. 1998. A new species of basal hadrosauroid (Dinosauria, Ornithomimidae) from the Cenomanian of Texas. *Journal of Vertebrate Paleontology* 18:718-738.
- Hernández, R. 1992. New dinosaur finds in the Cerro del Pueblo Formation (upper Cretaceous, Campanian) from Coahuila State, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 12:32A.
- Hernández, R. 1994. Dinosaurios. Edición del Gobierno del Estado de Coahuila, SEPC, México.
- Hernández, R. 1996. Los dinosaurios y otros vertebrados fósiles del Cretácico Superior en Coahuila. *GEOUNAM Boletín informativo del área de Ciencias de la Tierra* 3:39-44.
- Hernández, R. & J.I. Kirkland. 1993. The rediscovery of a rich uppermost Campanian dinosaur locality in the Cerro del Pueblo Fm., Coahuila, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 13:41A.
- Hernández, R., M.C. Aguillón-Martínez, C.R. Delgado & N.R. Gómez. 1995. The Mexican Dinosaur National Monument. *Journal of Vertebrate Paleontology* 15:34A.
- Hernández-Rivera, R. & C.R. Delgado-de Jesús. 2000. Hadrosaur skin impressions and associated skeletal remains from Cerro del Pueblo Fm (Uppermost Campanian) southeastern Coahuila, México. *Journal of Vertebrate Paleontology* 20:48A.
- Hilton, R.P. 2003. Dinosaur and other mesozoic reptiles of California. University of California Press, Berkeley, California.
- Holz, M. 2015. Mesozoic paleogeography and paleoclimates – a discussion of the diverse greenhouse and hothouse condition of an alien world. *Journal of South American Earth Sciences* 6:91-107.
- Horner, J.R. 1992. Cranial morphology of *Prosaurolophus* (Ornithischia: Hadrosauridae) with descriptions of two new hadrosaurid species and an evaluation of hadrosaurid phylogenetic relationships. *Museum of Rockies Occasional Paper* 2:1-119.
- Horner, J.R. & P.J. Currie. 1994. Embryonic and neonatal morphology and ontogeny of a new species of *Hypacrosaurus* (Ornithischia, Lambeosauridae) from Montana and Alberta. Pp. 312-336. In K. Carpenter, K.F. Hirsch & J.R. Horner (Eds.). *Dinosaur eggs and babies*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Horner, J.R. & J. Gorman. 1988. *Digging Dinosaurs*. Workman. New York.
- Horner, J.R. & R. Makela. 1979. Nest of juveniles provides evidence of family structure among dinosaurs. *Nature* 282:296-298.
- Horner, J.R., D.B. Weishampel & C.A. Forster. 2004. Hadrosauridae. Pp. 438-463. In D.B. Weishampel, P. Dodson & H. Osmolska (Eds.). *The Dinosauria*. University of California Press. Berkeley.
- Huene, F.V. 1954. *Die Saurierwelt und ihre Geschichtlichen Zusammenhänge* 2nd, revised edition.
- Hunt, A.P. & S.G. Lucas. 1993. Cretaceous vertebrates of New Mexico. *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin* 2:77-91.

- Jackson, F.D. & D.J. Varricchio. 2010. Fossil eggs and eggshell from the lowermost Two Medicine Formation of western Montana, Sevenmile Hill locality. *Journal of Vertebrate Paleontology* 30:1142-1156.
- Janensch, V.W. 1926. Dinosaurier-Reste aus Mexiko. *Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie* 192-197.
- Johnson, M.E., J. Ledesma-Vázquez & B.G. Baarli. 2006. Vertebrate remains on ancient rocky shores: a review with report on hadrosaur bones from the Upper Cretaceous of Baja California (México). *Journal of Coastal Research* 22:574-580.
- Jujihara, A., S. Soto-Acuña, W. Stinnesbeck, A. Zúñiga-Reinoso, P. Cruzado-Caballero, A.O. Vargas, M. Leppe, H. Mansilla, D. Rubilar-Rogers, J. Alarcón-Muñoz, M. Vogt & E. Frey. 2017. Phylogenetic position of a new Late Cretaceous duck-billed dinosaur (Hadrosauridae) from the Dorotea Formation, Chilean Southern Patagonia. 61 Annual Meeting Palaeontological Association.
- Kappus, E.J., S.G. Lucas & R. Langford. 2011. The Cerro de Cristo Rey Cretaceous dinosaurs tracksites, Sunland Park, New Mexico, USA, and Chihuahua, Mexico. *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin* 53:272-288.
- Kirkland, J.I. 1998. A new hadrosaurid from the upper Cedar Mountain Formation (Albian-Cenomanian: Cretaceous) of eastern Utah – the oldest known hadrosaurid (lambeosaurine?). *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin* 14:283-295.
- Kirkland, J.I., R. Hernández-Rivera, M.C. Aguillón-Martínez, C.R. Delgado-de Jesús, R. Gómez-Núñez & I. Vallejo-González. 2000. The Late Cretaceous Difunta Group of the Parras Basin, Coahuila, Mexico, and its vertebrate fauna. *The Society of Vertebrate Paleontology Annual Meeting Field Trip Guide Book, Mexico* 133-172.
- Kirkland, J.I., R. Hernández-Rivera, T. Gates, G.S. Paul, S. Nesbitt, C.I. Serrano-Brañas & J.P. García-de la Garza. 2006. Large hadrosaurine dinosaurs from the latest Campanian of Coahuila, Mexico. *Museum of Natural History and Sciences Bulletin* 35:299-315.
- Lambe, L.M. 1904. On the squamoso-parietal crest of the horned dinosaurs *Centrosaurus apertus* and *Monoclonius canadensis* from the Cretaceous of Alberta. *Transactions of the Royal Society of Canada, Series 2* 10:1-9.
- Lambe, L.M. 1914. On *Gryposaurus notabilis*, a new genus and species of trachodont dinosaur from the Belly River Formation of Alberta, with a description of the skull of *Chasmosaurus belli*. *The Ottawa Naturalist* 27:145-155.
- Lambe, L.M. 1917. A new genus and species of crestless hadrosaur from the Edmonton Formation of Alberta. *The Ottawa Naturalist* 31:65-73.
- Langstone, W.Jr. 1960. The vertebrate fauna of the Selma Formation of Alabama, Part VI The dinosaurs. *Fieldiana, Geology Memoirs* 3:317-361.
- Langston, W.Jr. & M.H. Oakes. 1954. Hadrosaurs in Baja California. *Bulletin of the Geological Society of American* 65:1344.
- Leblanc, A.R.H, R.R. Reisz, D.C. Evans & A.M. Bailleul. 2016. Ontogeny reveals function and evolution of the hadrosaurid dinosaur dental battery. *BMC Evolutionary Biology* 16:152.
- Lehman, T.M. 1997. Late Campanian dinosaur biogeography in the Western Interior of North America. *Dinofest International: Philadelphia, The Academy of Natural Sciences*:223-240.
- Lehman, T.M., S.L. Wick & J.R. Wagner. 2016. Hadrosaurian dinosaurs from the Maastrichtian Javelina Formation Big Bend National Park, Texas. *Journal of Paleontology* 90:333-356.
- Leidy, J. 1856a. Notices of Extinct Vertebrata Discovered by Dr. F. V. Hayden, during the Expedition to the Sioux Country under the Command of Lieut. G. K. Warren. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 8:311-312.
- Leidy, J. 1856b. Notices of remains of extinct reptiles and fishes, discovered by Dr. F. V. Hayden in the bad lands of the Judith River, Nebraska Territory: *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 8:72-73.
- Leidy, J. 1858. *Hadrosaurus foulkii*, a new saurian from the Cretaceous of New Jersey, related to *Iguanodon*. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 10:213-218.
- Leonardi, G. 1994. Annotated Atlas of South America Tetrapod Footprints (Devonian to Holocene) with an Appendix on Mexico and Central America. República Federativa do Brasil, Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Minas e Metalurgia, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Brasília.

- Longrich, N.R., X. Pereda Suberbiola, R.A. Pyron & N.E. Jalil. 2020. The first duckbill dinosaur (Hadrosauridae: Lambeosaurinae) from Africa and the role of oceanic dispersal in dinosaur biogeography. *Cretaceous Research* 120:104678.
- López, M.N. & S.J. Truysols. 1994. *Paleontología conceptos y métodos*. España Editorial Síntesis. Madrid.
- López-Ramos, E. 1981. Paleogeografía y tectónica del mesozoico en México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 5:158-177.
- Lucas, S.G., B.S. Kues & C.M. González-León. 1995. Paleontology of the Upper Cretaceous Cabullona Group, northeastern Sonora. Pp. 143-165. En C. Jacques-Ayala, C.M. González-León & J. Roldán-Quintana (Eds.). *Studies on the Mesozoic of Sonora and Adjacent Areas*. Geological Society of America Special Paper 301.
- Lucas, S.G., R.M. Sullivan, A.J. Lichtig, S.G. Dalam & S.E. Jasinski. 2016. Cretaceous dinosaur biogeography and endemism in the Western Interior Basin, North America: a critical re-evaluation. *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin* 71:195-213.
- Lull, R.S. & N.E. Wright. 1942. Hadrosaurian dinosaurs of North America. Geological Society of America, Special Paper 40:1-242.
- Mariscal-Ramos, C. 2006. Estudio paleontológico y magnetoestratigráfico de la localidad "Barranca los Bonetes" (Tuzantla, Michoacán). Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Marsh, O.C. 1872. Notice on a new species of *Hadrosaurus*. *American Journal of Science* 3:301.
- Marsh, O.C. 1890. Principal characters of American Jurassic dinosaurs, Part IV. *American Journal of Science Series* 3:417-423.
- Marsh, O.C. 1892. Notice of new reptiles from the Laramie Formation. *American Journal of Science* 43:449-453.
- McBride, E.F., A.E. Weide, J.A. Wolleben & R.C. Laudon. 1974. Stratigraphy and structure of the Parras and La Popa Basins, northeastern Mexico. *Geological Society of America Bulletin* 84:1603-1622.
- McDonald, A.T., D.G. Wolfe & J.I. Kirkland, J.I. 2010. A new basal hadrosauroid (Dinosauria: Ornithomimidae) from the Turonian of New Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 30: 799-812.
- Mendoza-Romero, M. & J.M. Guillén-Ortiz. 2004. Carta Geológico-Minera Coyame H13-C39, escala 1:50,000: Pachuca, Hidalgo, México, Consejo de Recursos Minerales informe 45.
- Meyer, C.A., E.D. Frey, B. Thüring, W. Etter & W. Stinnesbeck. 2005. Dinosaur tracks from the Late Cretaceous Sabinas Basin (Mexico). *Darmstädter Beiträge zur Naturgeschichte* 14:41-45.
- Meyer, C.A., D. Marty, B. Thüring, S. Thüring & M. Belvedere. 2020. The Late Cretaceous dinosaur track record of Bolivia – Review and perspective. *Journal of South American Earth Sciences* 106:102992.
- Mikhailov, K.E. 1994. Eggs of sauropod and ornithomimid dinosaurs from Cretaceous deposits of Mongolia. *Paleontological Journal* 28:141-159.
- Molina Garza, R.S., D.JJ. van Hinsbergen, L.M. Boschman, R.D. Rogers & M. Ganerod. 2019. Large-scale rotations of the Chortis Block (Honduras) at the southern termination of the Laramide flat slab. *Tectonophysics* 760:36-57.
- Molnar, R.E. 1974. A distinctive theropod dinosaur from the Upper Cretaceous of Baja California (Mexico). *Journal of Paleontology* 48:1009-1017.
- Monroy-Mújica, I.H. 2009. Microvertebrados fósiles cretácicos tardíos (Campaniano Tardío) de la Formación Aguja en el Noroeste de Coahuila. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Montaño, M.I., R. Hernández-Rivera & M. Montellano-Ballesteros. 2009. Hadrosaurios kritosaurinos del Cretácico Tardío de Coahuila y Chihuahua, México. Libro de resúmenes del XI Congreso Nacional de Paleontología 47p.
- Montellano-Ballesteros, M., R. Hernández-Rivera, G. Álvarez-Reyes, P. Andrade-Ramos & L. Martín-Medrano. 2000. Discovery of Late Cretaceous vertebrate local faunas in northern México. *Journal of Vertebrate Paleontology* 20:58A-59A.
- Morris, W.J. 1971. Mesozoic and Tertiary vertebrates in Baja California. *National Geographic Society Research Report* 1965:195-198.
- Morris, W.J. 1972. A giant hadrosaurian dinosaur from Baja California. *Journal of Paleontology* 46:777-779.

- Morris, W.J. 1973. A review of pacific coast hadrosaurs. *Journal of Paleontology* 43:551-561.
- Morris, W.J. 1976. Mesozoic and Tertiary vertebrates of Baja California, 1968-1971. National Geographic Society Research Reports 305-316.
- Morris, W.J. 1978. *Hypacrosaurus altispinus?* Brown from the Two Medicine Formation, Montana a taxonomically indeterminate specimen. *Journal of Paleontology* 52:200-205.
- Morris, W.J. 1981. A new species of hadrosaurian dinosaur from the Upper Cretaceous of Baja California ?*Lambeosaurus laticaudus*. *Journal of Paleontology* 55:453-462.
- Morris, W.R., & C.J. Busby-Spera. 1987. Sedimentologic evolution of a submarine canyon in a Forearc Basin, Upper Cretaceous Rosario Formation, San Carlos, Mexico. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 72:717-737.
- Murray, G.E., D.R. Boyd, J.A. Wollbein & J.A. Wilson. 1960. Late Cretaceous fossil locality, Eastern Parras Basin, Coahuila, Mexico. *Journal of Paleontology* 34:368-370.
- Nabavizadeh, A. 2014. Hadrosauroid jaw mechanics and the functional significance of the predentary bone. Pp. 467-482. In D. Eberth & D. Evans (Eds.). *The Hadrosaurs*. Indiana University Press. Bloomington.
- Nabavizadeh, A. 2016. Evolutionary trends in the jaw adductor mechanics of ornithischian dinosaurs. *The Anatomical Record* 299:271-294.
- Nabavizadeh, A. 2020. Cranial musculature in herbivorous dinosaurs: a survey of reconstructed anatomical diversity and feeding mechanisms. *The Anatomical Record* 303:1104-1145.
- Ortiz-Mendieta, J.A. 2001. *Dinosauricnitas Cretácico-tardías de El Aguaje, Michoacán, región suroccidental de México y sus implicaciones geológico-paleontológicas*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Ostrom, J.H. 1961. Cranial morphology of the hadrosaurian dinosaurs of North America: *Bulletin of the American Museum of Natural History* 122:33-186.
- Parks, W.A. 1922. *Parasaurolophus walkeri*, a new genus and species of crested trachodont dinosaur. University of Toronto Studies, Geological Series 13:1-32.
- Parks, W.A. 1923. *Corythosaurus intermedius*, a new species of trachodont dinosaur. University of Toronto Studies, Geological Series 15:1-57.
- Pessagno, E.A. 1969. Upper Cretaceous stratigraphy of the Western Gulf Coast Area of Mexico, Texas and Arkansas. *Geological Society of America Memoir* 111:139.
- Polaco-Rosas, A. del C., C.I. Serrano-Brañas, E. Torres-Rodríguez & B. Espinosa-Chávez. 2009. Primer hallazgo de hadrosaurios neonatos de la tribu Kritosaurini (subfamilia Hadrosaurinae) en la Formación Cerro del Pueblo del Estado de Coahuila, México. *Libro de resúmenes del XI Congreso Nacional de Paleontología* 60p.
- Prieto-Márquez, A. 2010. Global historical biogeography of hadrosaurid dinosaurs. *Zoological Journal of the Linnean Society* 159:503-525.
- Prieto-Márquez, A. 2013. Skeletal morphology of *Kritosaurus navajovius* (Dinosauria: Hadrosauridae) from the Late Cretaceous of the North America southwest, with an evaluation of the phylogenetic systematic and biogeography of Kritosaurini. *Journal of Systematic Paleontology* 12:133-175.
- Prieto-Márquez, A. & G.C. Salinas. 2010. A re-evaluation of *Secernosaurus koeneri* and *Kritosaurus australis* (Dinosauria, Hadrosauridae) from the Late Cretaceous of Argentina. *Journal of Vertebrate Paleontology* 30:813-837.
- Prieto-Márquez, A. & C.I. Serrano-Brañas. 2012, *Latirhinus uitstlani*, a "broad-nosed" saurolophine hadrosaurid (Dinosauria, Ornithomimidae) from the Late Campanian (Cretaceous) of northern Mexico. *Historical Biology* 24:607-619.
- Prieto-Márquez, A. & J.R. Wagner. 2013. A new species of saurolophine hadrosaurid from the Late Cretaceous of the Pacific coast of North America: *Acta Palaeontologica Polonica* 58:255-68.
- Prieto-Márquez, A., L.M. Chiappe & S.H. Joshi. 2012, The lambeosaurine dinosaur *Magnapaulia laticaudus* from the Late Cretaceous of Baja California, Northwestern México. *PLoS ONE* 7:e38207.
- Prieto-Marquez, A., G.M. Erickson & J.A. Ebersole. 2016. A primitive hadrosaurid from southeastern North America and the origin and early evolution of 'duck-billed' dinosaurs. *Journal of Vertebrate Paleontology* 36:e1054495.

- Prieto-Márquez, A., J.R. Wagner, P.R. Bell & L.M. Chiappe. 2015. The late-surviving “duck-billed” dinosaur *Augustynolophus* from the upper Maastrichtian of western North America and crest evolution in Saurolophini. *Geological Magazine* 152:225-241.
- Prieto-Márquez, A., J.R. Wagner & T. Lehman. 2019. An unusual “shovel-billed” dinosaur with trophic specializations from the early Campanian of Trans-Pecos Texas, and the ancestral hadrosaurian crest. *Journal of Systematic Palaeontology* 18:461-498.
- Rabosky, D.L. 2017. Phylogenetic tests for evolutionary innovation: the problematic link between key innovations and exceptional diversification. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 372:20160417.
- Ramírez-Velasco, A.A. & R. Hernández-Rivera. 2015a. Diversity of late cretaceous dinosaurs from Mexico. *Boletín Geológico y Minero* 126:63-108.
- Ramírez-Velasco, A.A., R. Hernández-Rivera & R. Servín-Pichardo. 2014. The hadrosaurian record from Mexico. Pp. 340-360. En D.A. Eberth & D.C. Evans (Eds.). *Hadrosaurs*. Indiana University Press, Bloomington e Indiana.
- Ramírez-Velasco, A.A., E. Morales-Salinas, R. Hernández-Rivera & D.H. Tanke. 2016. Spinal and rib osteopathy in *Huehuecanauhtlus tiquichensis* (Ornithopoda: Hadrosauroidea) from the Late Cretaceous in Mexico. *Historical Biology* 29:208-222
- Ramírez-Velasco, A.A., M. Benammi, A. Prieto-Márquez, J. Alvarado-Ortega & R. Hernández-Rivera. 2012c. *Huehuecanauhtlus tiquichensis*, a new hadrosauroid dinosaur (Ornithischia: Ornithopoda) from the Santonian (Late Cretaceous) of Michoacán, Mexico. *Canadian Journal of Earth Sciences* 49:379-395.
- Ramírez-Velasco, A.A., F.J. Aguilar, R. Hernández-Rivera, J. López Espinoza, J.L. Gudiño Maussán, M. Lara Rodríguez & J. Alvarado-Ortega. 2019. Un nuevo lambeosaurino (Ornithopoda: Hadrosauridae) de la Formación Cerro del Pueblo (Campaniano) y sus implicaciones en la evolución de la cresta supracraneal. Libro de resúmenes del XVI Congreso Nacional de Paleontología 37p.
- Raup, D.M. 1975. Taxonomic diversity estimates under rarefaction. *Paleobiology* 1:333-342.
- Renne, P.R., M.M. Fulford & C. Busby-Spera. 1991. High resolution ⁴⁰Ar/³⁹Ar chronostratigraphy of the Late Cretaceous El Gallo Formation, Baja California del Norte, Mexico. *Geophysical Research Letters* 18:459-462.
- Rivera-Sylva, H.E. & C. Barrón. 2013. Dental microwear analysis of the Late Cretaceous (Late Campanian) hadrosaurs from the Cerro del Pueblo Formation, Northern Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 33:200A.
- Rivera-Sylva, H.E. & K. Carpenter. 2014. The ornithischian dinosaurs of Mexico. Pp. 156-180. In H.E. Rivera-Sylva, K. Carpenter & E. Frey (Eds.). *Dinosaurs and other reptiles from the Mesozoic of Mexico*. Indiana University Press, Bloomington and Indiana.
- Rivera-Sylva, H.E., R. Rodríguez-de la Rosa & J. Ortiz-Mendieta. 2006. A review of the dinosaurian record from Mexico. Pp. 233-248. En F.J. Vega, T.G. Nyborg, M.C. Perrilliat, M. Montellano-Ballesteros, S.R.S. Cevallos-Rerriz & S.A. Quiroz-Barroso. (Eds.). *Studies on Mexican Paleontology*. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Rivera-Sylva, H.E., E. Frey, F.J. Palomino-Sánchez, J.R. Guzmán-Gutiérrez & J.A. Ortiz-Mendieta. 2009. Preliminary report on a Late Cretaceous vertebrate fossil assemblage in Northwestern Coahuila, Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 61:239-244.
- Rivera-Sylva, H.E., E. Frey, W. Stinnesbeck, N. Amezcua Torres & D. Flores Huerta. 2019a. Terrestrial vertebrate paleocommunities from the Cerro del Pueblo Formation (Late Cretaceous; Late Campanian) at Las Águilas, Coahuila, Mexico. *Paleo Vertebrata* 28:1-12.
- Rivera-Sylva, H.E., J.R. Guzmán-Gutiérrez, F.J. Palomino-Sánchez, J. López-Espinosa & I. de La Peña-Oviedo. 2007. New vertebrate fossil localities from the Late Cretaceous of Northern Coahuila, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 27:135A.
- Rivera-Sylva, H.E., C.I. Barrón-Ortíz, R. Vivas González, R.L. Nava Rodríguez, J.R. Guzmán-Gutiérrez, F. Cabral Valdez, C. de León Dávila. 2019b. Preliminary assessment of hadrosaur dental microwear from the Cerro del Pueblo Formation (Upper Cretaceous: Campanian) of Coahuila, northeastern Mexico. *Paleontología Mexicana* 8:17-28.
- Robeck, R.C., V.R. Pesquera & A.S. Ulloa. 1956. Geología y depósitos de carbón de la región de Sabinas, Estado de Coahuila. Libro de

- resúmenes del XX Congreso Geológico Internacional México, 109 p.
- Rodríguez-de la Rosa, R.A. 1996. Vertebrate remains from a late Cretaceous locality (Campanian, Cerro del Pueblo Formation), Coahuila, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 16:60A.
- Rodríguez-de la Rosa, R.A. 1998. Cáscaras de huevo avianas (Neognathae) y de Ornithopoda (Dinosauria) del Cretácico Tardío de Baja California. Libro de resúmenes del VI Congreso Nacional de Paleontología:59-60.
- Rodríguez-de la Rosa, R.A. 2007. Hadrosaurian footprints from the Late Cretaceous Cerro del Pueblo Formation of Coahuila, Mexico. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 4th European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin America. Cuadernos del Museo Geominero 8:339-343.
- Rodríguez-de la Rosa, R.A. 2015. Hace 72 millones de años: Los dinosaurios de México. Instituto Chihuahuense de la Cultura, México.
- Rodríguez-de la Rosa, R.A. & S. Cevallos-Ferriz. 1998. Vertebrates of the El Pelillal locality (Campanian, Cerro del Pueblo Formation), southeastern Coahuila, Mexico. *Journal of Vertebrate Paleontology* 18:751-764.
- Rodríguez-de la Rosa, R.A., M.C. Aguillón-Martínez, J. López-Espinoza & D.A. Eberth. 2004. The fossil record of vertebrate tracks in México. *Ichnos* 11:27-37.
- Rybakiewicz, S., H.E. Rivera-Sylva, W. Stinnesbeck, E. Frey, J.R. Guzmán-Gutiérrez, R. Vivas González, R.L. Nava Rodríguez & J.M. Padilla-Gutiérrez. 2019. Hadrosaurs from Cañada Ancha (Cerro del Pueblo Formation; Upper Campanian-?Lower Maastrichtian), Coahuila, northeastern Mexico. *Cretaceous Research* 104:104-199.
- Sánchez Uribe, I.E. 2005. Identificación taxonómica y catalogación de vertebrados fósiles de la Cuenca de Parras. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Serrano-Brañas, C.I. 2006. Descripción de los dinosaurios pertenecientes a la familia Hadrosauridae del Cretácico Superior de Coahuila, México. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Serrano-Brañas, C.I. 2017. Tafonomía de dinosaurios: reconstruyendo las piezas del rompecabezas. Pp. 275-296. En S.R.S. Cevallos-Ferriz & A.R. Huerta-Vergara (Eds.). *Paleobiología interpretando procesos de la vida pasada*. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Serrano-Brañas, C.I. & B. Espinosa-Chávez. 2017. Taphonomic history of a "duck-bill" dinosaur (Dinosauria: Ornithopoda) from the Cerro del Pueblo Formation (Upper Cretaceous, Campanian) Coahuila, Mexico: preservational and paleoecological implications. *Cretaceous Research* 74:165-174.
- Serrano-Brañas, C.I., B. Espinosa-Chávez & S.A. Maccracken. 2018a. Gastrochaenolites Leymerie in dinosaur bones from the Upper Cretaceous of Coahuila, north-central Mexico: taphonomic implications for isolated bone fragments. *Cretaceous Research* 92:18-25.
- Serrano-Brañas, C.I., B. Espinosa-Chávez & S.A. Maccracken. 2018b. Insect damage in dinosaur bones from the Cerro del Pueblo Formation (Late Cretaceous, Campanian) Coahuila, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences* 86:353-365.
- Servín-Pichardo, R. 2013. Descripción e interpretación del primer registro de dinosauricnitas en el Grupo Cabullona (Cretácico Superior) de Esqueda, Municipio de Fronteras, Sonora. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Servín-Pichardo, R., R. Hernández-Rivera, C.M. González-León & R. Pacheco-Rodríguez. 2011. Primer registro de dinosauricnitas en el Grupo Cabullona (Cretácico Tardío), Esqueda, Municipio de Fronteras, Sonora. Libro de resúmenes del XII Congreso Nacional de Paleontología:130-131.
- Slattery, J.S., W.A. Cobban, K.C. McKinney, P.J. Harries & A.L. Sandness. 2015. Early Cretaceous to Paleocene paleogeography of the Western Interior Seaway: the interaction of eustasy and tectonism. *Wyoming Geological Association Guidebook* 22-60.
- Shiller, T. 2017. Stratigraphy and paleontology of Upper Cretaceous-Paleogene strata in northern Coahuila, Mexico. PhD thesis. Texas Tech university. Texas.
- Soto-Acuña, S., T. Jujihara, F.E. Novas, M. Leppe, E. González, W. Stinnesbeck, M.P. Isasi, D. Rubilar-Rogers & A.O. Vargas. 2014. Hadrosaurios (Ornithopoda: Hadrosauridae) en el Cretácico Superior del extremo austral de América del Sur. *Actas del IV Simposio Paleontología en Chile*, p. 73.

- Sternberg, C.M. 1935. Hooded hadrosaurs of the Belly River Series of the Upper Cretaceous. Canada Department of Mines Bulletin, Geological Series 77:1-37.
- Sternberg, C.M. 1953. A new hadrosaur from the Oldman Formation of Alberta: Discussion of nomenclatura. Canadian Department of Resource Development Bulletin 128:1-12.
- Strickson, E., A. Prieto-Márquez, M.J. Benton & T.L. Stubb. 2016. Dynamics of dental evolution in ornithopod dinosaurs. Scientific Reports, 6:28904.
- Stubbs, T.L., M.J. Benton, A. Esler & A. Prieto-Márquez. 2019. Morphological innovation and the evolution of hadrosaurid dinosaurs. Paleobiology 45:347-362.
- Taliaferro, N.L. 1933. An occurrence of Upper Cretaceous sediments in northern Sonora, Mexico. Journal of Geology 41:12-37.
- The Paleobiology Database. <http://paleobiodb.org/#/> [Consultado en Noviembre del 2019].
- Torres-Rodríguez, E., M. Montellano-Ballesteros, R. Hernández-Rivera & M. Benammi. 2010. Dientes de terópodos del Cretácico Superior del Estado de Coahuila, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 27:72-83.
- Varricchio D.J., & J.R. Horner. 1993. Hadrosaurid and lambeosaurid bone beds from the Upper Cretaceous Two Medicine Formation of Montana: taphonomic and biologic implications. Canadian Journal of Earth Sciences 30:997-1006.
- Venegas Gómez, C. 2019. Fauna fósil de la localidad Lala's place y su interpretación paleoambiental. Tesis de licenciatura. Instituto Politécnico Nacional. México.
- Villanueva-Amadoz, U., L. Calvillo-Canadell & S.R.S. Cevallos-Ferriz. 2014. Síntesis de los trabajos paleobotánicos del Cretácico en México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 66:97-121.
- Vivas González, R. 2013. Paleoecología de dinosaurios hadrosáuridos (Ornithischia: Ornithopoda) de la Formación Cerro del Pueblo (Cretácico Tardío: Campaniano), Coahuila, México. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- Vivas González, R., H.E. Rivera-Sylva, A. González Cervantes & L. Alfaro Ortiz. 2015. Cañada Ancha: una catástrofe del Cretácico Tardío en Coahuila. Libro de resúmenes del XIV Congreso Nacional de Paleontología, p. 61.
- Vivar, G. 1925. Informe preliminar sobre el estudio geológico petrolero de la región de Ojinaga, Estado de Chihuahua. Departamento de Exploraciones y Estudios Geológicos, Dirección de estudios geográficos y climatológicos. Folletos de Divulgación 16:3-12.
- Vogt, M., W. Stinnesbeck, P. Zell, B. Kober, J. Kontny, N. Herzer, E. Frey, H.E. Rivera-Sylva, J.M. Padilla Gutiérrez, N. Amezcua & D. Flores Huerta. 2015. Age and depositional environment of the "dinosaur graveyard" at Las Águilas, southern Coahuila, NE Mexico. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 441:758-769.
- Wagner, J.R. & T.M. Lehman. 2009. An enigmatic new lambeosaurine hadrosaur (Reptilia: Dinosauria) from the Upper Shale Member of the Campanian Aguja Formation of trans-pecos Texas. Journal of Vertebrate Paleontology 29:605-611.
- Weidie, A.E. 1961. The stratigraphy and structure of the Parras Basin, Coahuila and Nuevo León, México. PhD thesis. Louisiana State University, Baton Rouge.
- Weidie, A.E. & G.E. Murray. 1967. The Geology of Parras Basin and adjacent areas of northeastern Mexico. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 51:678-695.
- Weidie, A.E., J.A. Wolleben & E.F. McBride. 1972. Late Cretaceous depositional systems in northeastern Mexico. Transactions - Gulf coast Association of Geological Societies 22:323-329.
- Westgate, J.W., R.B. Brown, D. Cope & J. Pittman. 2000. A late Cretaceous dinosaur-bearing community from coastal deposits in Chihuahua, Mexico. Journal of Vertebrate Paleontology 20:78A.
- Westgate, J.W., J. Pittman, R.B. Brown & D. Cope. 2002. Continued excavation of the first dinosaur community from Chihuahua, Mexico. Journal of Vertebrate Paleontology 22:118A.
- Weishampel, D.B. 2014. A history of the study of ornithopods: Where have we been? Where are we now? and Where are we going? Pp. 2-7. In D.A. Eberth & D.C. Evans (Eds.). Hadrosaurs. Indiana University Press. Bloomington e Indiana.
- Weishampel, D.B. & D.B. Norman. 1989. Vertebrate herbivory in the Mesozoic: jaws, plants and evolutionary metrics. Geological

- Society of America Special Paper 238:87-100.
- Wiman, C. 1931. *Parasaurolophus tubicen* n. sp. aus der Kreide in New Mexico. Nova Acta Regiae Societatis Scientiarum Upsaliensis, Series IV 7:3-11.
- Wosik, M., K. Chiba, F. Therrien & D.C. Evans. 2020. Testing size–frequency distributions as a method of ontogenetic aging: a life-history assessment of hadrosaurid dinosaurs from the Dinosaur Park Formation of Alberta, Canada, with implications for hadrosaurid paleoecology. *Paleobiology* 46:379-404.
- Young, K. 1969. Ammonite Zones of Northern Chihuahua: Guidebook of The Border Region. New Mexico Geological Society, 20 th Field Conference 97-101p.
- Zelenitsky, D.K. & L.V. Hills. 1997. Normal and pathological eggshells of *Spheroolithus albertensis*, sp. nov., from the Oldman Formation (Judith River Group, Late Campanian), southern Alberta. *Journal of Vertebrate Paleontology* 17:167-171.
- Zhao, Z. 1979. Advances in the study of fossil dinosaur eggs in our country. Mesozoic and Cenozoic red beds of South China; selected papers from the field conference on the South China Cretaceous-Early Tertiary red beds. Science Press 330-340.



DESCRIPTION OF A NEW SPECIES OF THE *LIOLAEMUS ELONGATUS* GROUP FROM THE ANDES OF CENTRAL CHILE (IGUANIA: LIOLAEMIDAE)

DESCRIPCIÓN DE UNA NUEVA ESPECIE DEL GRUPO DE *LIOLAEMUS ELONGATUS* DE LOS ANDES DE CHILE CENTRAL (IGUANIA: LIOLAEMIDAE)

JAIME TRONCOSO-PALACIOS^{1*} & DIEGO RAMÍREZ-ÁLVAREZ²

¹Programa de Fisiología y Biofísica, Facultad de Medicina, Universidad de Chile, Independencia 1027, Santiago, Chile.

²Servicio Agrícola y Ganadero de Chile, Dirección Regional O'Higgins, Rancagua, Chile.

*Correspondence: jtroncosopalacios@gmail.com

Received: 2020-07-20. Accepted: 2021-01-13.

Resumen.— Los lagartos *Liolaemus* habitan en el sur de Sudamérica, y son uno de los géneros de vertebrados terrestres más diversos del mundo. En este género, las especies del grupo de *L. elongatus* habitan en la cordillera andina de Chile y Argentina, y en los afloramientos rocosos de la Patagonia Argentina. Aquí, revisamos la identidad taxonómica de una población de los Andes de la Región de O'Higgins, Chile, previamente confundida con *L. cristiani* y probablemente también con *L. ubaghsi*. Nosotros encontramos que este taxón no es asignable a ninguno de los *Liolaemus* actualmente descritos y proveemos una descripción para este. Preliminarmente incluimos a esta nueva especie en el grupo de *L. elongatus*, probablemente una de las especies del grupo distribuidas más al norte.

Palabras clave.— Endemismo, *Liolaemus cristiani*, *Liolaemus ubaghsi*, Lagarto, Región de O'Higgins, poros precloacales.

Abstract.— *Liolaemus* lizards inhabit southern South America, and are one of the most diverse terrestrial vertebrate genera in the world. In this genus, species of the *L. elongatus* group inhabit the Chilean and the Argentine Andean mountain range, and the Argentine Patagonian rocky outcrops. Here, we review the taxonomic identity of one population from the Andean O'Higgins Region, Chile, previously confused with *L. cristiani* and probably also with *L. ubaghsi*. We found that this taxon is not assignable to any of the *Liolaemus* currently described and provide a description for it. We preliminary include this new species in the *L. elongatus* group, likely one of the northernmost distributed species of this group.

Keywords.— Endemism, *Liolaemus cristiani*, *Liolaemus ubaghsi*, Lizard, O'Higgins Region, precloacal pores.

INTRODUCTION

The genus *Liolaemus* Wiegmann, 1834, is an extraordinarily diverse group of lizards distributed in Southern South America, mainly in Argentina and Chile, but also in Bolivia, Brasil, Peru, Paraguay and Uruguay. The genus reached 257 described species in the last review (Abdala & Quinteros, 2014). However, since several species are described each year, the diversity of the genus is estimated to be approximately 265 species at current (Ruiz

et al., 2019a) and according to Núñez et al. (2018), 98 species of *Liolaemus* occurs in Chile. *Liolaemus* has been split into two subgenera, *Liolaemus (sensu stricto)* and *Eulaemus*, supported by both morphology (Etheridge, 1995; Laurent, 1985) and molecular evidence (Espinoza et al., 2004; Schulte et al., 2000), with each subgenus split into several groups (e.g. Avila et al., 2020). The *L. elongatus* group belongs to the subgenus *Liolaemus (sensu stricto)* (Morando et al., 2003) and comprises medium to large *Liolaemus* (with maximum snout vent length of approximately 100 millimeters), with long tail (approximately 1.5 of the SVL), absent or reduced sexual dichromatism, both presence of lateral

dark stripe and light dots on the dorsum in almost all species, viviparous, insectivorous, mainly saxicolous, and in almost all species high amount of midbody, ventral and dorsal scales (Abdala et al., 2010; Avila et al., 2015; Troncoso-Palacios et al., 2018). These species inhabit in the western and eastern slopes of the Andes mountain range, from the south of the Claro River (Chile) and the Mendoza River (Argentina), to the volcanic hills of the Patagonia in the Chubut Province (Argentina) and in the Araucanía Region (Chile) (Medina et al., 2017, 2018; Ramírez-Álvarez et al., 2017; Troncoso-Palacios et al., 2018). Esquerré et al. (2019) recovered the *L. elongatus* group as the sister group of the *L. leopardinus* clade.

In general, it is accepted that the *L. elongatus* group currently comprises the following species (Medina et al., 2018; Ruiz et al., 2019a; Troncoso-Palacios et al., 2018, 2019): *L. antonietae* Troncoso-Palacios, Esquerré, Urrea, Díaz, Castro-Pastene & Ruiz, 2018; *L. antumalguen* Avila, Morando, Pérez & Sites, 2010; *L. burmeisteri* Avila, Fulvio Pérez, Medina, Sites & Morando, 2012; *L. carlosgarini* Esquerré, Núñez & Scolaro, 2013; *L. crandalli* Avila, Medina, Fulvio Pérez, Sites & Morando, 2015; *L. curis* Núñez & Labra, 1995; *L. elongatus* Koslowsky, 1896; *L. janequeoae* Troncoso-Palacios, Díaz, Puas, Riveros-Riffo, & Elorza, 2016; *L. quinterosi* Ruiz, Quipildor, Bulacios, Chafraat & Abdala, 2019; *L. scorialis* Troncoso-Palacios, Díaz, Esquerré & Urrea, 2015; and *L. smaug* Abdala, Quinteros, Scrocchi & Stazzonelli, 2010. Additionally, the status of *L. choique* Abdala, Quinteros, Scrocchi & Stazzonelli, 2010, is disputed because it was found as paraphyletic in a DNA phylogenetic study by Medina et al. (2017), stating that results “does not support” to *L. choique* as valid species, because “individuals (from the type locality) are genetically related to *L. antumalguen* and *L. smaug*”; but later, Ruiz et al. (2019b) revalidated *L. choique* through a morphologic statistical study, which compared *L. choique* and *L. smaug* (without comparisons in regards to *L. antumalguen*).

Nine species of the 12 species of the *L. elongatus* group have been described in the last ten years (Abdala et al., 2010; Avila et al., 2010, 2012, 2015; Esquerré et al., 2013; Troncoso-Palacios et al., 2015, 2016, 2018; Ruiz et al., 2019a) and it has been proposed that the diversity inside the group is underestimated (Morando et al., 2003), especially in Chile (Troncoso-Palacios et al., 2016). In 2015, one of us (DRA) found a large *Liolaemus* sp. in the Andean mountain range of the O'Higgins Region of Chile and later used it to represent to *L. cristiani* Navarro, Núñez & Loyola, 1991 in a field guide (Ramírez-Álvarez, 2018). This misidentification occurred because both *Liolaemus* sp. nov. and *L. cristiani*, have a dark lateral stripe and slender aspect, they are closely distributed, the identification was based mainly on photographs and field

observations (only one female specimen collected), and at the time there was no published scientific study on the lizards of this zone. Here, we review the taxonomic status of this population of lizards.

MATERIALS AND METHODS

Specimens of *Liolaemus* sp. nov. were collected in the field by hand or lasso. We examined previously collected specimens of all Chilean species of the *L. elongatus* group. For *L. carlosgarini*, we directly examined specimens and also, we used the data of the holotype and the paratypes from Esquerré et al. (2013, *n* = 8). For *L. elongatus*, we directly examined specimens, but since this species is widely distributed, data was complemented with Avila et al. (2010, *n* = 99). Data for Argentine species of the *L. elongatus* group were taken from literature (Abdala et al., 2010; Avila et al., 2010, 2012, 2015; Ruiz et al., 2019a), but we examined some specimens of *L. antumalguen*. We also examined specimens of all similarly sized *Liolaemus* found near the type locality of *Liolaemus* sp. nov. (Alto Huemul), and that do not belong to the *L. elongatus* group. Table 1 summarizes the composition of the species groups following Esquerré et al. (2019), Medina et al. (2019) and Troncoso-Palacios et al. (2018), and the diagnosis of these species groups is included in the Diagnosis section.

We examined specimens of *L. ubaghsi* Esquerré, Troncoso-Palacios, Garín & Núñez, 2014, and *L. normae* Esquerré, Ramírez-Álvarez, Pavón-Vásquez, Troncoso-Palacios, Garín, Keogh & Leaché, 2019, both species of the *L. leopardinus* group, which is the sister group of the *L. elongatus* group (Esquerré et al., 2019). In the case of *L. ubaghsi*, we add data from nine more specimens from Esquerré et al. (2014). We examined specimens of *L. buergeri* Werner, 1907, a species of the *L. kriegi* group (Morando et al., 2003). We also examined specimens of *L. cristiani*, a species of the *L. chillanensis* group (Troncoso-Palacios et al., 2018), because *Liolaemus* sp. has been previously misidentified with it. In this case, we add data of five type specimens from Núñez et al. (1991). We examined specimens of *L. riodamas* Esquerré, Núñez & Scolaro, 2013, a species closely related to *L. cristiani* (Esquerré et al., 2013). For *L. riodamas*, we add data of ten type specimens from Esquerré et al. (2013). All directly examined specimens (*n* = 84) are listed in the Appendix I.

For species delimitation, we consider the “species category” as a geographically constrained lineage, characterized through character analysis and geographical research (Frost & Hillis, 1990). In particular, we used morphological characters comparisons between *Liolaemus* sp. nov. and other species, through Principal Component Analysis (PCA) of the morphometric variables, a statistical test of meristic variables, and qualitative character

Tabla 1. Grupos de especies de *Liolaemus* andinos usados para la comparación. La nueva especie es asignada al grupo de *L. elongatus*, pero algunas especies de otros grupos fueron incluidas en la diagnosis debido a su proximidad geográfica. Los grupos del complejo de *L. elongatus-kriegi* que habitan lejos de la localidad tipo de la nueva especie no se muestran. Las especies marcadas con un asterisco no fueron incluidas en la diagnosis debido a su lejanía geográfica (excluyendo las especies del grupo de *L. elongatus*). La taxonomía sigue a Esquerré et al. (2019), Medina et al. (2019) y Troncoso-Palacios et al. (2018). *Liolaemus riadamas* es ubicado en el grupo de *L. chillanensis* debido a su relación cercana con *L. cristiani* (fide Esquerré et al., 2013).

Table 1. Species groups of Andean *Liolaemus* used for comparisons. The new species is assigned to the *L. elongatus* group, but some species of other groups were included in the diagnosis due its geographical proximity. The groups of the *L. elongatus-kriegi* complex that inhabits far away from the type locality of the new species are not shown. Species marked with asterisks were not included in the diagnosis due to geographical remoteness (excluding the species of the *L. elongatus* group). Taxonomy follows Esquerré et al. (2019), Medina et al. (2019) and Troncoso-Palacios et al. (2018). *Liolaemus riadamas* is placed in the *L. chillanensis* group due its close relationship with *L. cristiani* (fide Esquerré et al., 2013).

<i>L. chillanensis</i> group	<i>L. elongatus-kriegi</i> complex		
	<i>L. elongatus</i> group	<i>L. kriegi</i> group	<i>L. leopardinus</i> group
<i>L. chillanensis</i> *	<i>Liolaemus</i> sp.	<i>L. buergeri</i>	<i>L. frassinettii</i> *
<i>L. cristiani</i>	<i>L. antonietae</i>	<i>L. kriegi</i> *	<i>L. leopardinus</i> *
<i>L. riadamas</i> (?)	<i>L. antumalguen</i>	<i>L. tregenzai</i> *	<i>L. normae</i>
	<i>L. burmeisteri</i>	<i>L. zabalai</i> *	<i>L. ubaghsi</i>
	<i>L. carlosgarini</i>		<i>L. valdesianus</i> *
	<i>L. choique</i>		
	<i>L. crandalli</i>		
	<i>L. elongatus</i>		
	<i>L. janequeoae</i>		
	<i>L. quinterosi</i>		
	<i>L. scorialis</i>		
	<i>L. smaug</i>		

comparisons (colour pattern, scales shape and presence of preloacal pores), following several recent species descriptions of the *L. elongatus* group (Abdala et al., 2010; Troncoso-Palacios et al., 2015; Ruiz et al., 2019).

Morphological characters were examined according to Abdala et al. (2010), Avila et al. (2010, 2012, 2015), Ruiz et al. (2019a) and Troncoso-Palacios et al. (2018). Body measurements were taken using a digital Vernier calliper (0.02 mm precision) and are provided as mean $\pm$ standard deviation.

As a visualization and exploratory analysis, we performed a two PCA on the morphometric variables with the R package FactoMineR (Lê et al., 2008). One PCA was performed to compare between species of the *L. elongatus* group, using data of examined specimens or published data sets, including: *L. antonietae*, *L. antumalguen*, *L. carlosgarini*, *L. curis*, *L. elongatus*, *L. janequeoae*, *L. scorialis* and *Liolaemus* sp. Another PCA was performed to compare between *Liolaemus* sp. nov. and species outside of the *L. elongatus* group with similar size and geographical proximity

to *Liolaemus* sp. nov.: *L. buergeri*, *L. cristiani*, *L. normae*, *L. riadamas* and *L. ubaghsi*. These analyses were performed in the R statistical environment version 3.2.3 (RDCT, 2016). We used the residuals of a regression between the snout-vent length (SVL) and the following six variables: head length (distance between anterior edge of auditory meatus and tip of the snout), head width, head height, axilla-groin distance, arm length and foot length. Missing data from some measurements of some individuals were imputed using the imputePCA function from the MissMDA R package (Josse & Husson, 2012).

We performed a normality test (Shapiro-Wilk) on the meristic variables and an One Way ANOVA followed by a Holm-Sidak post hoc to compare between species (Zar, 2010) of the following variables: midbody scales, dorsal scales (counted between the occiput and the level of the anterior border of the hind limbs), ventral scales, supralabial scales, infralabial scales and fourth toe lamellae; using data from all species listed before for the PCAs analyses methodology.

For species without a published dataset we performed a comparison based on scale count and SVL ranges following the diagnosis previously published for the description of species of the *L. elongatus* group (Abdala et al., 2010; Avila et al., 2010, 2012, 2015; Esquerré et al., 2013; Ruiz et al., 2019a). Color pattern features were used as qualitative features of comparison for all species.

RESULTS

PCA analyses between species of the *L. elongatus* group: The first three Principal Components (PCs) cumulatively account for 76.9% of the total variation (Table 2). PC1 is mainly explained by variation in head length, head width and axilla-groin distance. PC2 mostly represents variation in arm length, head height and head width. PC3 mostly represents variation in foot length, AGD and head height. The PCA plots (Fig. 1) have 95% confidence ellipses around the centroid of the species and illustrate the morphometric differences between the species included in the analysis. In the PC1 vs PC2 graph, *Liolaemus* sp. nov. mostly overlaps with *L. scorialis*, whereas marginal overlap is observed with *L. antonietae*, *L. curis* and *L. elongatus*. There is no overlap with *L. antumalguen*, *L. carlosgarini* and *L. janequeoae*. In the PC1 vs PC3 graph, *Liolaemus* sp. nov. mostly overlaps with

L. antonietae and *L. curis*, whereas marginal overlap is observed with *L. carlosgarini*, *L. elongatus* and *L. scorialis*. There is no overlap with *L. antumalguen* and *L. janequeoae*. Thus, none of the species of the *L. elongatus* group shows a great overlap with *Liolaemus* sp. nov. in both graphs (PC1 vs PC2 and PC1 vs PC3).

PCA analyses between *Liolaemus* sp. nov. and *Liolaemus* spp. with similar size found near the type locality of *Liolaemus* sp. nov.: The first three Principal Components (PCs) cumulatively account for 77.9% of the total variation (Table 3). PC1 is mainly explained by variation in foot length, head length and head width. PC2 mostly represents variation in axilla-groin distance, arm length and head height. PC3 mostly represents variation in head height, head width and axilla-groin distance.

In the PC1 vs PC2 graph (Fig. 2), *Liolaemus* sp. nov. does not show great overlap with any species, but shows marginal overlap with *L. normae* and *L. ubaghsi*. There is no overlap with *L. buergeri*, *L. cristiani* and *L. riodamas*. In the PC1 vs PC3 graph, *Liolaemus* sp. nov. mostly overlaps with *L. ubaghsi* and *L. riodamas*, whereas marginal overlap is observed with *L. cristiani* and *L. normae*. There is no overlap with *L. buergeri*. Thus, none of the similarly sized species that are geographically proximate to *Liolaemus* sp. shows a great overlap with *Liolaemus* sp. in both graphs (PC1 vs

Tabla 2. Resultados del Análisis de Componentes Principales. Porcentajes de la varianza total y el porcentaje de varianza acumulada para CP1-3, realizados para comparar entre especies del grupo de *L. elongatus* (incluyendo a *Liolaemus* sp.), y la correlación de cada variable (residuos de una regresión con la SVL).

Table 2. Results of the Principal Component Analysis. Percentage of the total variance and the cumulative percentage of variance for PC1-3, performed to compare between species of the *L. elongatus* group (including *Liolaemus* sp.), and the correlation of each variable (residuals of a regression with the SVL).

PCA			
Eigenvalues	PC1	PC2	PC3
Eigenvalue per Component	2.57	1.13	0.91
% of var.	42.77	18.92	15.23
Cum. % of var.	42.77	61.69	76.92
Eigenvectors	PC1	PC2	PC3
Head Length (HL)	0.884	-0.290	-0.018
Head Height (HH)	0.641	0.463	-0.258
Head Width (HW)	0.781	-0.316	0.099
Axilla-Groin Distance (AGD)	-0.656	0.281	0.387
Foot Length (FL)	0.468	0.114	0.826
Arm Length (AL)	0.408	0.804	-0.072

Tabla 3. Resultados del Análisis de Componentes Principales. Porcentajes de la varianza total y el porcentaje de varianza acumulada para CP1-3, , realizados para comparar entre *Liolaemus* sp. y las especies de tamaño similar geográficamente cercanas, y la correlación de cada variable (residuos de una regresión con la SVL).

Table 3. Results of the Principal Component Analysis. Percentage of the total variance and the cumulative percentage of variance for PC1-3, performed to compare between *Liolaemus* sp. and similarly sized geographically closer species, and the correlation of each variable (residuals of a regression with the SVL).

PCA			
Eigenvalues	PC1	PC2	PC3
Eigenvalue per Component	2.21	1.38	1.09
% of var.	36.81	22.98	18.14
Cum. % of var.	36.81	59.80	77.94
Eigenvectors	PC1	PC2	PC3
Head Length (HL)	0.772	-0.285	-0.024
Head Height (HH)	-0.074	0.471	0.827
Head Width (HW)	0.749	0.229	0.384
Axilla-Groin Distance (AGD)	-0.304	0.782	-0.356
Foot Length (FL)	0.820	-0.009	-0.186
Arm Length (AL)	0.530	0.649	-0.308

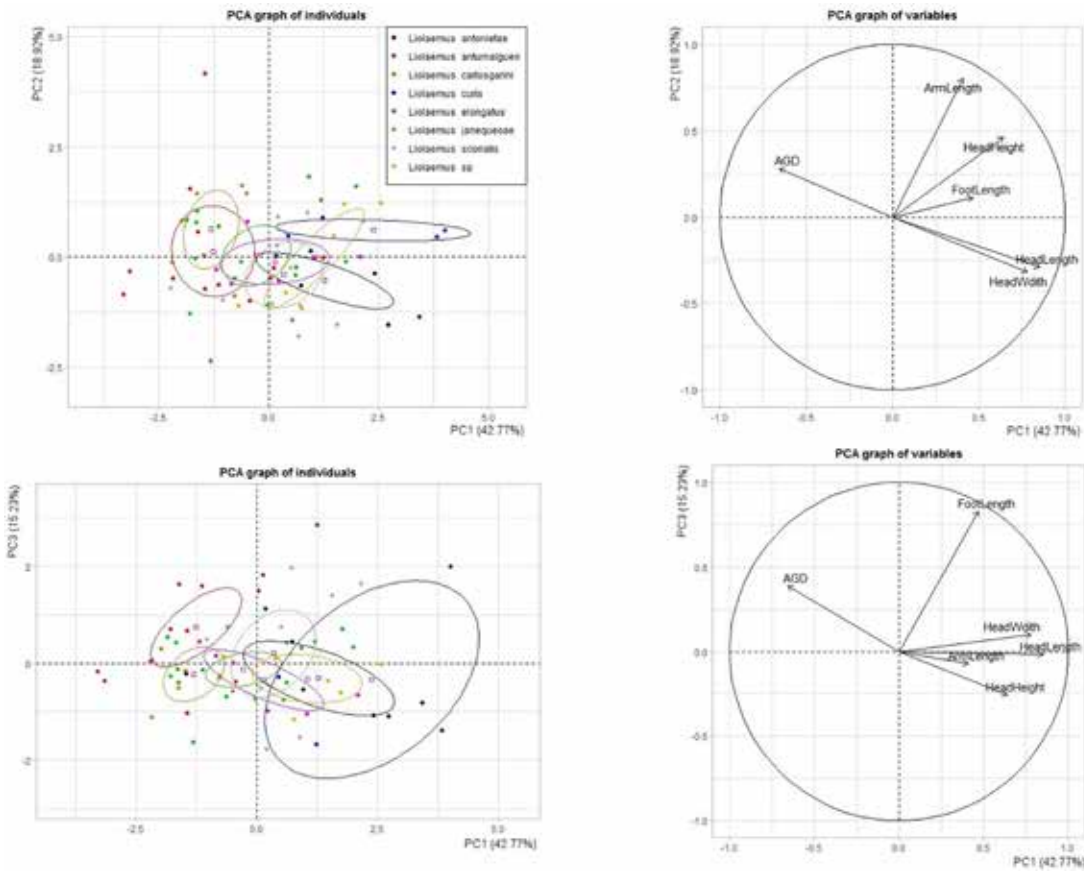


Figura 1. Gráficos del Análisis de Componentes Principales (ACP) de las especies del grupo de *L. elongatus* (incluyendo a *Liolaemus* sp. nov.). En los paneles de la izquierda, los individuos están coloreados de acuerdo a su especie como se muestra en la leyenda en la esquina superior derecha. Las elipses representan el intervalo de confianza del 95% alrededor del centroide para cada especie. En los ejes, el CP está etiquetado de acuerdo a su número y al porcentaje de variancia total que explica el CP. A la derecha, los gráficos de las variables, los cuales ilustran la contribución de cada variable a la construcción de los ejes.

Figure 1. Principal Component Analysis (PCA) plots of the species of the *L. elongatus* group (including *Liolaemus* sp. nov.). On the left panels, the individuals are colored according to their species as shown on the legend on the top right corner. Ellipses represent the 95% confidence interval around the centroid for each species. On each axis, the PC is labelled according to its number and the percentage of the total variance that PC explains. On the right, the variables graphs, which illustrate the contribution of each variable to the construction of the axes.

PC2 and PC1 vs PC3).

A One-Way ANOVA test on the meristic variables revealed significant differences in four of the six variables analysed: scales around midbody, dorsal scales, ventral scales and supralabial scales (Table 4). The results show statistical differences in at least one meristic character between *Liolaemus* sp. and all species that show a major overlap with it in one of the PCA graphs.

Based on the absence of significant overlap with other species in the PCA analyses, the presence of precloacal pores in the males, and differences in coloration versus other species, we propose that the *Liolaemus* that we analyzed from Alto Huemul should be recognized as a distinct species and we here provide a description for it as:

***Liolaemus pikunche* sp. nov. (Fig. 3a,b)**

2014 *Liolaemus* sp.(?) Esquerré, Troncoso-Palacios, Garín & Núñez. Zootaxa, 3815: 522.

2015 *Liolaemus ubaghsi*(?) Núñez & Gálvez. Pub. Oca. Mus. Nac. His. Nat. Chil., 64: 131.

2018 *Liolaemus cristiani* Ramírez-Álvarez. Fau. Nat. Reg. O'Higgins Chi. Ver. Terr., 108.

Material examined

Holotype: SSUC Re 781, adult male (Fig. 3a,b). Alto Huemul

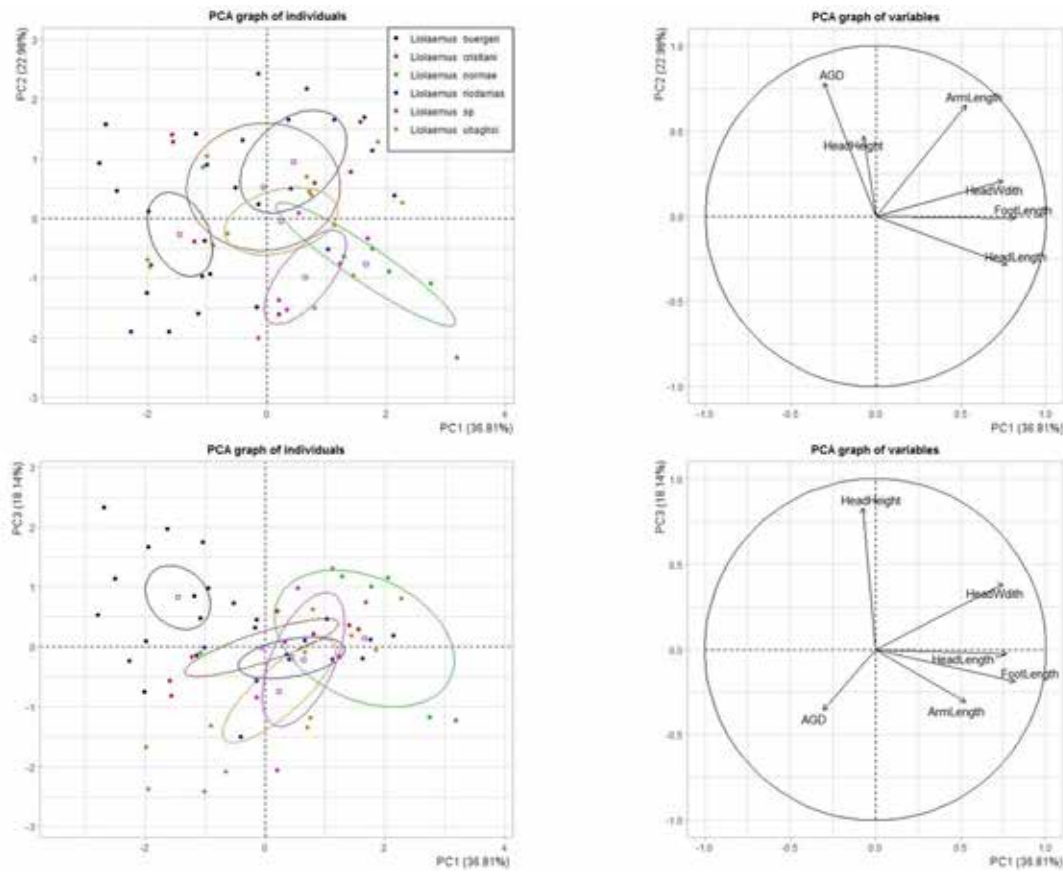


Figura 2. Gráficos del Análisis de Componentes Principales (ACP) de *Liolaemus* sp. nov. y las especies de tamaño similar que habitan cerca de Alto Huemul. En los paneles de la izquierda, los individuos están coloreados de acuerdo a su especie como se muestra en la leyenda en la esquina superior derecha. Las elipses representan el intervalo de confianza del 95% alrededor del centroide para cada especie. En los ejes, el CP está etiquetado de acuerdo a su número y al porcentaje de variancia total que explica el CP. A la derecha, los gráficos de las variables, los cuales ilustran la contribución de cada variable a la construcción de los ejes.

Figure 2. Principal Component Analysis (PCA) plots of *Liolaemus* sp. nov. and species of similarly sized found near Alto Huemul. On the left panels, the individuals are colored according to their species as shown on the legend on the top right corner. Ellipses represent the 95% confidence interval around the centroid for each species. On each axis, the PC is labelled according to its number and the percentage of the total variance that PC explains. On the right, the variables graphs, which illustrate the contribution of each variable to the construction of the axes.

(34°56'S, 70°38'W, 1790 m asl), O'Higgins Region, Chile. Collected by D. Ramírez-Álvarez and J. Troncoso-Palacios. January 29, 2020. Paratypes: SSUC Re 782–784 (adult males), SSUC Re 785 (adult female), SSUC Re 786 (juvenile) (Fig. 3). Same locality and data as the holotype. SSUC Re 780 (adult female). Collected by D. Ramírez-Álvarez. February 22, 2015. Same locality as the holotype.

Diagnosis

We include this lizard in the *L. elongatus* group because it shows all the morphological features that characterized this group: *L. pikunche* is a large (maximum SVL = 91.3 mm) saxicolous *Liolaemus* with a relatively long tail (1.6–1.8 of the SVL), no sexual dichromatism, presence of lateral dark stripe, light dots on the dorsum, and high counts of midbody, ventral, and dorsal scales

(82–90, 119–127 and 71–76, respectively). Additionally, *L. pikunche* is distributed within the geographical latitudinal range of the *L. elongatus* group, but it is allopatric in regards to all known species of this group.

Liolaemus pikunche differs from *L. antonietae*, which is smaller (maximum SVL = 77.6 mm) than *L. pikunche* (maximum SVL = 91.3 mm) and with head lighter than body and few dispersed dark brown spots (head markedly darker than the body and covered by several dark brown spots in *L. pikunche*).

Liolaemus pikunche differs from *L. antumalguen*, which is larger (maximum SVL = 107.8 mm) than *L. pikunche* (maximum SVL = 91.3 mm) and has inconspicuous or no tail rings, no dorsal stripes, and has ventral melanism (marked tail rings, light dorsal



Figura 3. *Liolaemus pikunche* sp. nov. A) Vista dorsal del holotipo macho (SSUC Re 781), B) Vista ventral del holotipo. C) Vista dorsal de un paratipo hembra (SSUC Re 780). D) Acercamiento a los poros precloacales del espécimen SSUC Re 782. E) Individuo no colectado. F) Vista dorsal de un paratipo macho (SSUC Re 784).

Figure 3. *Liolaemus pikunche* sp. nov. A) Dorsal view of the male holotype (SSUC Re 781), B) Ventral view of the holotype. C) Dorsal view of one female paratype (SSUC Re 780). D) Close-up to the precloacal pores of the SSUC Re 782 specimen. E) Not collected individual. F) Dorsal view of one male paratype (SSUC Re 784).

stripes, and no ventral melanism in *L. pikunche*). These species do not overlap in multivariate morphological space in the PCA.

Liolaemus pikunche differs from *L. burmeisteri* which lacks a dorsal pattern, whereas *L. pikunche* has occipital stripe and fragmented vertebral line. Moreover, the head is not darker than the body in *L. burmeisteri*, but is darker than the body in *L. pikunche*. Additionally, *L. pikunche* has more midbody scales (82–90) than *L. burmeisteri* (70–81), fewer dorsal scales (71–76) than *L. burmeisteri* (76–85) and more ventral scales (119–127) than *L. burmeisteri* (99–110).

Liolaemus pikunche is larger (maximum SVL = 91.3 mm) than *L. carlosgarini* (maximum SVL = 68.8 mm, Fig. 4). All males of *L. pikunche* have precloacal pores, whereas only 50% of *L. carlosgarini* males have precloacal pores. These species do not overlap in the PC1 vs PC2 graph.

Liolaemus pikunche differs from *L. choique*, which has bright yellow dorsal color with black spots or black stripes on the dorsum, or occasionally totally melanistic trunk, and a tail with inconspicuous or no rings; whereas *L. pikunche* never has bright yellow or melanistic dorsal coloration and has marked tail rings.

Liolaemus curis (Fig. 4) is the geographically most proximate species of the *L. elongatus* group to *L. pikunche*; however, these species can be easily differentiated by several characters. *Liolaemus curis* has a yellowish dorsal coloration accompanied by series of black transversal dorsal spots or an overall melanistic dorsal coloration; whereas *L. pikunche* never has yellowish or melanistic dorsal coloration. Moreover, *L. pikunche* has more midbody scales (82–90, 84.0 ± 3.0) than *L. curis* (68–76, 72.0 ± 4.6 , Table 4), more dorsal scales (71–76, 73.8 ± 1.7) than *L. curis* (56–64, 61.3 ± 3.8 , Table 4) and more ventral scales (119–127, 122.3 ± 3.1) than *L. curis* (102–116, 109.0 ± 6.2 , Table 4). Males of *L. pikunche* have 3–4 precloacal pores, whereas males of *L. curis* have 0–2 precloacal pores.

Liolaemus pikunche can be differentiated from *L. crandalli* because dorsolateral field in *L. pikunche* are light brown color and the occipital stripe is marked and narrow, whereas *L. crandalli* has brown color on the dorsolateral field and the occipital stripe is inconspicuous and wide. Moreover, *L. crandalli* is endemic to the Auca Mahuida volcano in Argentina and separated by almost 350 km (airline).

Some specimens of *Liolaemus elongatus* have a wide deep black occipital stripe and some have totally melanistic dorsal color. However, individuals of *L. pikunche* never have a deep black

occipital stripe or melanism, but instead have a dark brown occipital stripe. Although *L. elongatus* is widely distributed, the northern most Chilean record from Lonquimay Volcano (Escobar-Huerta et al., 2015b; Troncoso-Palacios et al., 2016) is approximately 490 km (airline) south of the type locality of *L. pikunche*.

Liolaemus pikunche differs from *L. janequeoae*, because the latter species does not feature any dorsal pattern, apart from a few black or white dots and is smaller (maximum SVL 66.9) than *L. pikunche* (maximum SVL = 91.3 mm). Moreover, *L. pikunche* has fewer dorsal scales (71–76, 73.8 ± 1.7) than *L. janequeoae* (77–89, 85.0 ± 4.2 , Table 4).

Liolaemus pikunche differs from *L. quinterosi*, which has more midbody scales (82–90) than *L. quinterosi* (70–78) and more ventral scales (119–127) than *L. quinterosi* (104–112). Besides, *L. quinterosi* has marked sexual dichromatism, a feature absent in *L. pikunche*. *Liolaemus quinterosi* has no precloacal pores in males, whereas males of *L. pikunche* have 3–4 precloacal pores.

Liolaemus pikunche is larger (maximum SVL = 91.3 mm) than *L. scorialis* (maximum SVL = 69.9 mm) and has more supralabial scales (6–8, 7.3 ± 0.8) than *L. scorialis* (6–7, 6.2 ± 0.4 , Table 4).

Liolaemus pikunche differs from *L. smaug* because it is larger (maximum SVL = 91.3 mm) than *L. smaug* (maximum SVL = 71.3 mm) and has more midbody scales (82–90) than *L. smaug* (73–80). Moreover, *L. smaug* has inconspicuous or absent tail rings, whereas *L. pikunche* has dark brown tail rings.

Liolaemus pikunche differs from *Liolaemus* that do not belong to the *L. elongatus* group, but have similar size and occur near *L. pikunche* (though allopatric). In fact, *L. pikunche* differs from all species of the *L. leopardinus* group because the lack of “leopard type dorsal spots” and the lack of intense yellow or reddish ventral coloration present among the species of this group (Esquerré et al., 2019). In particular, *L. pikunche* can be easily differentiated from *L. normae*, because this latter species has red color on the flanks, ventral surface and even on the snout of some individuals, whereas *L. pikunche* has no red color. *Liolaemus ubaghsi* (Fig. 4) is characterized by a very variable dorsal pattern (occipital stripe absent/present, fragmented vertebral line absent/present, transversal dorsal whitish stripes absent/present, whitish dorsal dots on the trunk absent/present and yellow color on the flanks absent/present); whereas all specimens of *L. pikunche* have the same dorsal pattern with variation only in the shades. In *L. ubaghsi*, 69.2% of our sample totally lack or have an inconspicuous occipital stripe, whereas all specimens

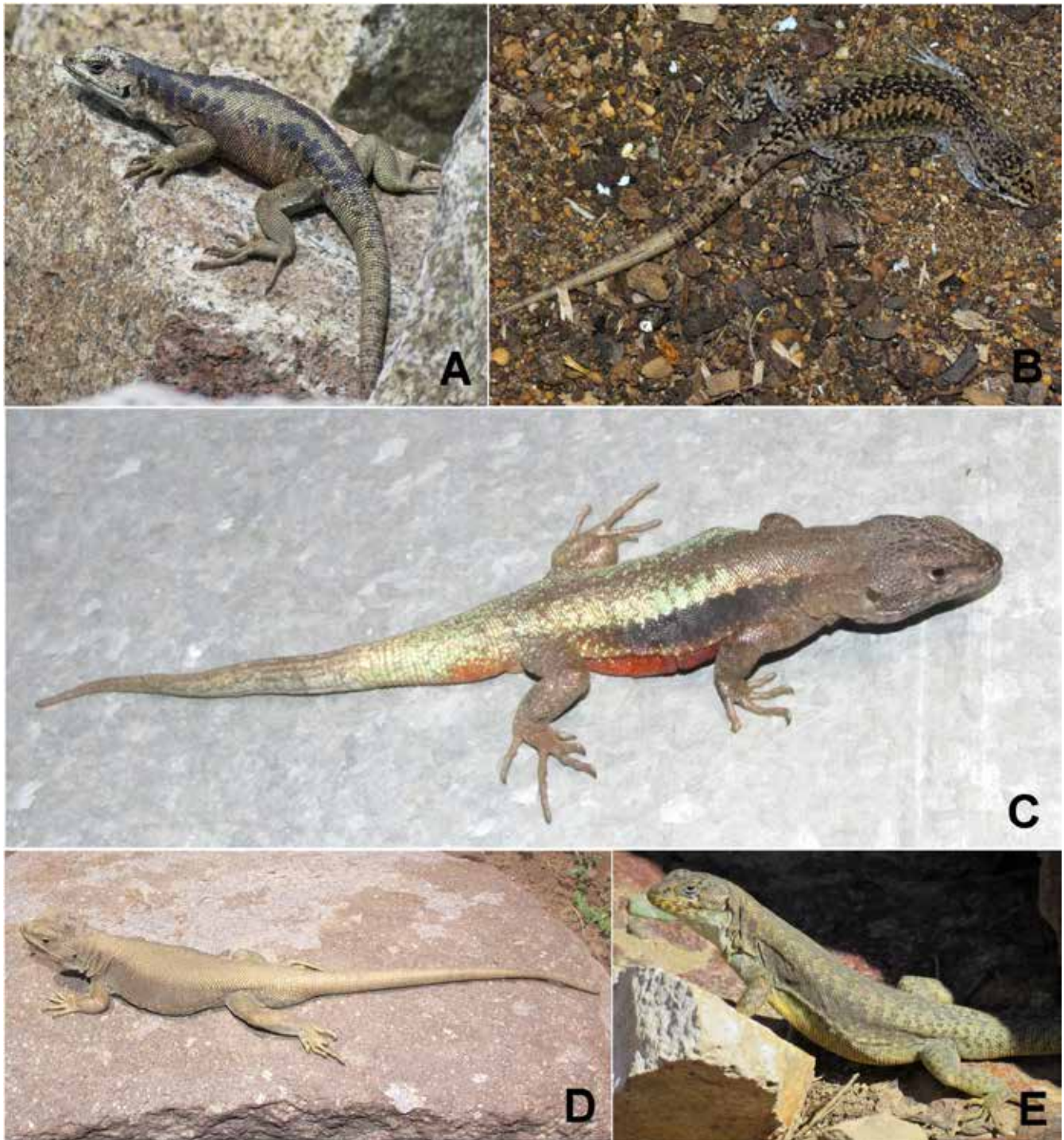


Figura 4. Algunas especies que habitan geográficamente cerca de *Liolaemus pikunche* sp. nov. A) *Liolaemus curis* del grupo de *L. elongatus* (Fotografía por DRA). B) *Liolaemus carlosgarini* del grupo de *L. elongatus* (Fotografía por JTP). C) *Liolaemus cristiani* del grupo de *L. chillanensis* (Fotografía por JTP). D-E) Parte de la variación fenotípica en *Liolaemus ubaghsi* del grupo de *L. leopardinus* (Fotografías por JTP y DRA, respectivamente).

Figure 4. Some species that are found in geographic proximity to *Liolaemus pikunche* sp. nov. A) *Liolaemus curis* of the *L. elongatus* group (Photograph by DRA). B) *Liolaemus carlosgarini* of the *L. elongatus* group (Photograph by JTP). C) *Liolaemus cristiani* of the *L. chillanensis* group (Photograph by JTP). D-E) Part of the phenotypic variation in *Liolaemus ubaghsi* of the *L. leopardinus* group (Photographs by JTP and DRA, respectively).

Tabla 4. Resultados de la ANOVA de una vía con grados de libertad (*df*) y la comparación *post hoc* (Holm-Sidak method). Solo se proveen los resultados significativos.**Table 4.** Results of the One Way ANOVA with degrees of freedom (*df*) and the *post hoc* comparison (Holm-Sidak method). Only significant results are provided.

	One Way ANOVA			Holm-Sidak method
	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>df</i>	
Midbody scales	12.04	> 0.01	12	<i>L. sp.</i> > <i>L. curis</i> ; <i>L. antonietae</i> > <i>L. antumalguen</i> , <i>L. curis</i> , <i>L. elongatus</i> , <i>L. normae</i> , <i>L. scorialis</i> , <i>L. ubaghsi</i> ; <i>L. buergeri</i> > <i>L. antumalguen</i> , <i>L. curis</i> , <i>L. normae</i> , <i>L. scorialis</i> , <i>L. ubaghsi</i> ; <i>L. carlosgarini</i> > <i>L. antumalguen</i> , <i>L. curis</i> , <i>L. normae</i> , <i>L. ubaghsi</i> ; <i>L. elongatus</i> > <i>L. curis</i> ; <i>L. janequeoae</i> > <i>L. antumalguen</i> , <i>L. curis</i> , <i>L. normae</i> , <i>L. scorialis</i> , <i>L. ubaghsi</i> ; <i>L. riodamas</i> > <i>L. curis</i> ; <i>L. scorialis</i> > <i>L. curis</i>
Dorsal scales	18.33	> 0.01	12	<i>L. sp.</i> > <i>L. curis</i> ; <i>L. antonietae</i> > <i>L. curis</i> , <i>L. normae</i> ; <i>L. antumalguen</i> > <i>L. curis</i> , <i>L. normae</i> ; <i>L. buergeri</i> > <i>L. sp.</i> , <i>L. antonietae</i> , <i>L. antumalguen</i> , <i>L. carlosgarini</i> , <i>L. curis</i> , <i>L. elongatus</i> , <i>L. normae</i> , <i>L. riodamas</i> , <i>L. scorialis</i> , <i>L. ubaghsi</i> ; <i>L. carlosgarini</i> > <i>L. curis</i> , <i>L. normae</i> ; <i>L. cristiani</i> > <i>L. sp.</i> , <i>L. antonietae</i> , <i>L. antumalguen</i> , <i>L. carlosgarini</i> , <i>L. curis</i> , <i>L. elongatus</i> , <i>L. normae</i> , <i>L. riodamas</i> , <i>L. scorialis</i> , <i>L. ubaghsi</i> ; <i>L. janequeoae</i> > <i>L. sp.</i> , <i>L. antonietae</i> , <i>L. antumalguen</i> , <i>L. carlosgarini</i> , <i>L. curis</i> , <i>L. elongatus</i> , <i>L. normae</i> , <i>L. riodamas</i> , <i>L. scorialis</i> , <i>L. ubaghsi</i> ; <i>L. scorialis</i> > <i>L. curis</i> , <i>L. normae</i> , <i>L. ubaghsi</i> ; <i>L. ubaghsi</i> > <i>L. curis</i>
Ventral scales	7.35	> 0.01	12	<i>L. sp.</i> > <i>L. curis</i> , <i>L. riodamas</i> ; <i>L. antonietae</i> > <i>L. antumalguen</i> , <i>L. curis</i> , <i>L. riodamas</i> ; <i>L. elongatus</i> > <i>L. curis</i> , <i>L. riodamas</i> ; <i>L. janequeoae</i> > <i>L. antumalguen</i> , <i>L. buergeri</i> , <i>L. carlosgarini</i> , <i>L. cristiani</i> , <i>L. curis</i> , <i>L. riodamas</i> ; <i>L. scorialis</i> > <i>L. antumalguen</i> , <i>L. curis</i> , <i>L. riodamas</i> ; <i>L. ubaghsi</i> > <i>L. curis</i> , <i>L. riodamas</i>
Supralabial scales	3.41	> 0.01	11	<i>L. sp.</i> > <i>L. scorialis</i> ; <i>L. antumalguen</i> > <i>L. scorialis</i> ; <i>L. janequeoae</i> > <i>L. scorialis</i>

of *L. pikunche* have a marked occipital stripe. Several specimens of *L. ubaghsi* have whitish dots dispersed on the dorsum of the trunk, which from transversal stripes only in the 23.1% of our sample, whereas in *L. pikunche* white scales of the dorsum from transversal stripes in all specimens. Several specimens of *L. ubaghsi* have yellow color on the flanks, tail, limbs and snout (clearly observable from lateral view), whereas inconspicuous yellowish color in *L. pikunche* is only observable from ventral view. In *L. ubaghsi* the ventral surface has several dark gray spots dispersed, whereas *L. pikunche* lacks spots on the ventral surface or has inconspicuous light gray spots (one specimen). These species show only marginal overlap in multivariate morphological space, and their type localities are separated by more than 90 km (airline, including the Cachapoal, Claro and Tinguiririca river basins) without intermediate populations (Fig. 5).

There is no published morphological diagnosis for the species of the *L. chillanensis* group, but *L. pikunche* differs from all

them, because in this group the males have no precloacal pores (Troncoso-Palacios, unpublished data). In particular, *L. pikunche* is larger (maximum SVL = 91.3 mm) than *L. cristiani* (maximum SVL = 78.2 mm) and has fewer dorsal scales (71–76, 73.8 ± 1.7) than *L. cristiani* (84–93, 88.5 ± 6.4). Moreover, *L. cristiani* has two color pattern features that are totally absent in *L. pikunche*, which are: metallic light green dorsolateral stripe and red ventral color (Fig. 4). Males of *L. pikunche* have 3–4 precloacal pores, whereas males of *L. cristiani* have no precloacal pores. These species do not overlap in the PC1 vs PC2 graph. *Liolaemus pikunche* can be easily differentiated from *L. riodamas* because this latter species has inconspicuous or absent dorsal pattern, has no tail rings and has light green color on the flanks, whereas *L. pikunche* has marked occipital and lateral stripes, tail rings and never has light green color on the flanks. These species do not overlap in the PCA space.

In regards to the *L. kriegi* group, *L. pikunche* differs because the species of this group have a very robust aspect, short limbs, and

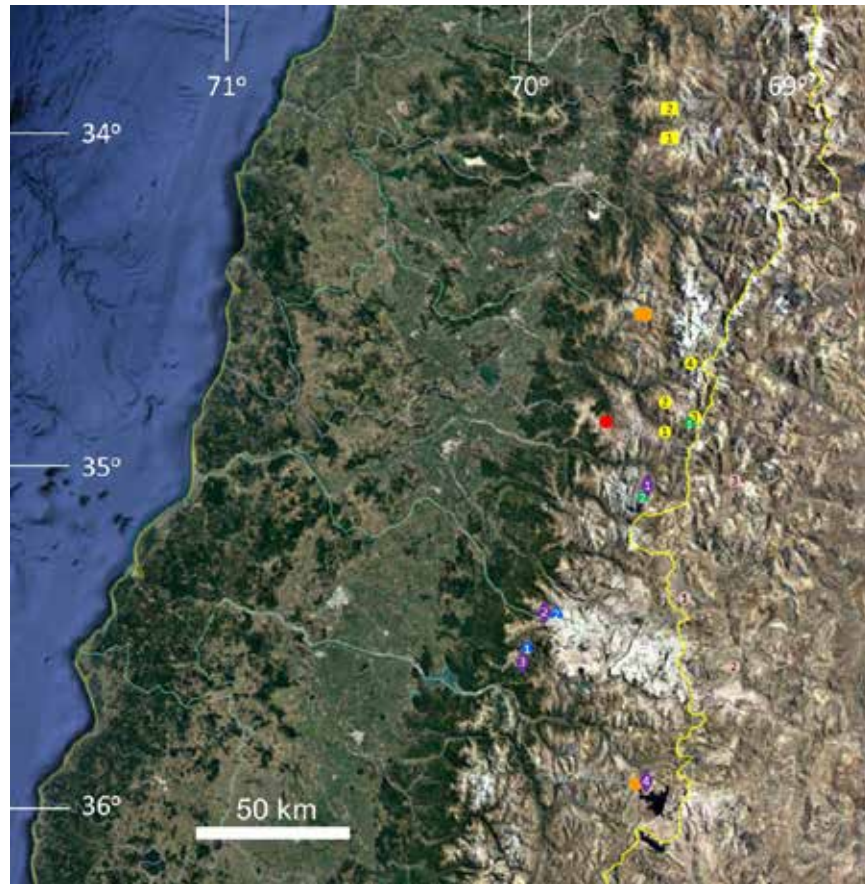


Figura 5. Distributional map for *Liolaemus pikunche* sp. nov. along with the geographically proximate species of the *L. elongatus* group (circles) and the species of similar size that belong to other groups. Red circle: *L. pikunche* sp. nov. (Alto Huemul). Orange circle: *L. carlosgarini* (Maule Lagoon). Yellow circle: *L. curis* (1 = Del Flaco hot springs, 2 = Los Humos flooded land, 3 = Las Damas River and 4 = University Glacier). Pink circles: *L. smaug* (1 = between Las Loicas and Peteroa Volcano, 2 = near Las Leñas and 3 = near Las Loicas). Orange square: *L. normae* (Cristales Lagoon). Yellow square: *L. ubaghsi* (1 = Chapa Verde and 2 = Pabellones Mountain). Blue triangle: *L. cristiani* (1 = El Peine Mountain and 2 = Siete Tazas National Park). Green triangle: *L. riodamas* (1 = Las Damas River and 2 = Planchón Volcano).

Figura 5. Mapa distribucional para *Liolaemus pikunche* sp. nov. junto con las especies geográficamente cercanas del grupo de *L. elongatus* (círculos) y las especies de tamaño similar que pertenecen a otros grupos. Círculo rojo: *L. pikunche* sp. nov. (Alto Huemul). Círculo naranja: *L. carlosgarini* (Laguna del Maule). Círculo amarillo: *L. curis* (1 = Termas del Flaco, 2 = Vegas de Los Humos, 3 = Río Las Damas y 4 = Glaciar Universidad). Círculos rosados: *L. smaug* (1 = entre Las Loicas y Volcán Peteroa, 2 = cerca de Las Leñas y 3 = cerca de Las Loicas). Cuadrado naranja: *L. normae* (Laguna Cristales). Cuadrado Amarillo: *L. ubaghsi* (1 = Chapa Verde y 2 = Montaña Pabellones). Triángulo azul: *L. cristiani* (1 = Cerro El Peine y 2 = Parque Nacional Siete Tazas). Triángulo verde: *L. riodamas* (1 = Río Las Damas y 2 = Volcán Planchón).

very developed neck folds (Pincheira-Donoso & Núñez, 2005), all traits absent in *L. pikunche*. In particular, *L. pikunche* has fewer dorsal scales (71–76, 73.8 ± 1.7) than *L. buergeri* (78–91, 83.9 ± 4.3 , Table 4). Moreover, *L. buergeri* has inconspicuous or absent tail rings, whereas *L. pikunche* has dark brown tail rings. These species do not overlap in multivariate morphological space.

Description of the holotype

Adult male. SVL = 90.6 mm. Horizontal diameter of the eye: 4.3 mm. Subocular length: 6.0 mm. Length of the fifth supralabial: 3.3 mm. Head length (from the anterior border of the auditory

meatus to the tip of the snout): 20.7 mm. Head height (at the level of ear openings): 10.3 mm. Head width (distance between the two ear openings): 16.1 mm. Neck width: 22.1 mm. Interorbital distance: 7.3 mm. Ear-eye distance: 8.5 mm. Internasal scales distance: 2.7 mm. Ear width: 1.3 mm. Ear height: 3.4 mm. Axilla-groin distance: 38.2 mm. Body width: 26.8 mm. Forelimb length: 27.8 mm. Hindlimb length: 47.9 mm. Tail length (not autotomized): 151 mm, with relation tail length/SVL = 1.7. Rostral scale, wider (4.4 mm) than high (1.4 mm).

Two postrostrals. Four internasals. Interparietal is

subtriangular, with a small central spot marking the position of the parietal eye. The interparietal is slightly smaller than the parietals, and is surrounded by six scales. The parietal scales are in contact. Ten scales between the interparietal and rostral. Sixteen scales between the occiput and the rostral (Hellmich index; Lobo 2005). Orbital semicircles are complete and formed by 15 scales on both sides. Five supraoculars on the right side and six on the left. Seven superciliary scales. Frontal area divided into three scales, from back to front: 1 and 2. Preocular separated from the lorilabials by one loreal scale. Two scales between nasal and canthal. Nasal separated of the rostral by one scale, surrounded by seven scales. One row of lorilabials between the supralabials and the subocular. Seven supralabials, the fifth is curved upward without contacting the subocular. Five infralabials scales. Pentagonal mental scale, in contact with four scales. Four pairs of post-mental shields, the second is separated by two scales. Temporal of variable shape, but mainly hexagonal, slightly keeled, juxtaposed. Nine temporal scales between the level of superciliary scales and the rictal level. Four small scales on the anterior edge of the ear, slightly projected, which do not cover the auditory meatus. Differentiated auricular scale, wide, restricted to the first third of the auditory meatus. Forty-eight gular scales between the auditory meatuses. The lateral neck fold is "Y" shaped. There is a slightly developed ventro-lateral fold running from the axilla to the half the trunk.

Midbody scales: 90. Dorsal scales are lanceolate, subimbricate, keeled (without mucrons) and with interstitial granules. Dorsal scales and ventral scales have similar size. Dorsal scales: 73. Ventral scales are rounded, smooth, imbricated and without interstitial granules. Ventral scales: 122. Four orange precloacal pores. Supra-femoral scales are lanceolate, imbricate and slightly keeled. Infra-femoral scales are lanceolate or rhomboidal, smooth and imbricated. Supra-antibrachials scales are lanceolate, imbricate and keeled. Infra-antibrachials are rounded or rhomboidal, imbricated and smooth, with some interstitial granules. Dorsal scales of the first third of the tail are rhomboidal, imbricate, keeled and mucronate. Ventral scales the first third of the tail are lanceolate, smooth and imbricate. Lamellae of the fingers: I: 10, II: 14, III: 19, IV: 21 and V: 12. Lamellae of the toes: I: 10, II: 16, III: 22, IV: 28 and V: 15.

Color in life: The dorsal surface of the head has light brown color and the dorsum has yellowish light brown color, but there are several dark brown spots on the dorsal surface of the head, especially on the supraocular and occipital areas, which gives to the head a darker color compared to the dorsum. Temporal area, snout and cheeks are light brown color with few dark brown spots dispersed. The subocular scale is dark brown on the upper

half and whitish in the bottom half. There is an inconspicuous narrow occipital stripe (running from the occiput to the base of the tail) formed by small dark brown spots.

There are 14 series of whitish transversal stripes on the dorsolateral field (running from the shoulder to the base of the tail), with dark brown spots on the anterior border. There is a dark brown lateral wide stripe, running from the temporal area to the groin, with few whitish stripes into it. The limbs are light brown, with dispersed dark brown spots. The tail has a light brown dorsal coloration, with marked dark brown rings. Ventrally, the throat, the belly, the limbs and the tail are light gray, with more dark shades on the middle of the belly. Inconspicuous yellowish color on the sides of the belly.

Variation

In four males: SVL: 77.6–91.3 mm. Axilla-groin distance: 30.8–38.2 mm. Head length: 17.4–20.7 mm. Head width: 14.0–16.3 mm. Head height: 8.1–11.3 mm. Leg length: 47.6–53.8 mm. Arm length: 26.0–31.2 mm. Foot length: 23.4–27.5 mm. Tail length: 128–154 mm (three specimens, autotomized in another). Tail length/SVL = 1.6–1.8. In two females: SVL: 85.2–89.0 mm. Axilla-groin distance: 35.6–39.1 mm. Head length: 18.5–19.1 mm. Head width: 15.8–16.4 mm. Head height: 7.9–11.2 mm. Leg length: 46.0–47.4 mm. Arm length: 29.2–29.9 mm. Foot length: 25.1–25.4 mm. Tail length: 140–145 mm (no autotomized), with relation tail length/SVL = 1.6–1.7. The juvenile has: SVL: 62.0 mm. Axilla-groin distance: 26.8 mm. Head length: 14.4 mm. Head width: 11.9 mm. Head height: 6.6 mm. Leg length: 36.9 mm. Arm length: 22.7 mm. Foot length: 21.1 mm. Tail length: 109 mm (not autotomized). Tail length/SVL = 1.8.

The variation in the scalation of the adult specimens is as follows. Midbody scales: 82–90 (84.0 ± 3.0). Dorsal scales: 71–76 (73.8 ± 1.7). Ventral scales 119–127 (122.3 ± 3.1). Fourth finger lamellae: 21–24 (23.0 ± 1.5). Fourth toe lamellae: 28–31 (29.2 ± 1.2). Supralabial scales: 6–8 (7.3 ± 0.8), the fifth curved upward. Infralabial scales: 4–6 (5.0 ± 0.6). Interparietal scale subtriangular, pentagonal, hexagonal or heptagonal, bordered by 6–9 scales (7.0 ± 1.3). Interparietal and parietal scales have similar size. Nasal and rostral always separated by one scale. Precloacal pores in males: 3–4. Precloacal pores are absent in females.

Males and females have a similar color patterns compared with the holotype, with small variations on the shades. Some specimens have a fragmented dark brown vertebral line on the center (running from the occiput to the first third of the tail). One male has a sky-blue transversal stripes instead of whitish

stripes, which are placed all over the dorsal surface (trunk and tail), and also it is the only specimen with whitish dots dispersed on the head and limbs. Another male has light brown dorsal color with yellowish shade on the paravertebral fields. A female has light gray spots dispersed all over on the ventral surface. A specimen with autotomized tail has no dorsal pattern on the regenerated portion of the tail. Inconspicuous yellowish color on the cloaca, thighs and sides of the belly is present in both, some adult males ($n = 2$) and one adult female. Precloacal pores in the males are orange, but are discolored in alcohol. The juvenile has the same color described for the holotype, but has light gray spots dispersed all over on the ventral surface.

Distribution and natural history

Known only from the type locality in the O'Higgins Region, Chile: Alto Huemul (34°56' S, 70°38' W, Fig. 5). Specimens were found between 1790 and 1900 m asl. As in almost all species of the *L. elongatus* group (Morando et al., 2003; Avila et al., 2015; Troncoso-Palacios et al., 2018), *L. pikunche* is saxicolous and specimens were seen basking on medium to large rocks generated by the fragmentation of basaltic formations on the sides of the Claro River basin and its tributaries Los Nucos and Los Lagartos. On two occasions, we found a male near a female (few than five meters), with juveniles found approximately 20 meters away. The vegetation has been described as "lower-bush of the Chilean Mountain range" (Luebert & Pliscoff, 2006), the most abundant shrubs are *Chusquea oppositifolia*, *Ephedra andina*, *Discaria trinervis* and *Berberis empetrifolia*. The most abundant herbs are *Festuca* sp., *Hypericum perforatum*, *Viguiera revoluta* and *Acaena* sp. Some trees were found near the river: *Maytenus boaria* and *Escallonia revoluta*. *Liolaemus pikunche* is not an abundant lizard and few other individuals, apart from those collected, were seen. At the dates of capture (January and February, summer), females have no embryos but have several small oocytes. *Liolaemus pikunche* was found in syntopy with *L. chiliensis* (Lesson, 1830), *L. curicensis* Müller & Hellmich, 1938, *L. tenuis* (Duméril & Bibron, 1837) and the snake *Tachymenis chilensis* (Schlegel, 1837), which may represent a predator. The variable hawk, *Geranoaetus polyosoma* (Quoy & Gaimard, 1834), was also seen and likely preys on *L. pikunche*, since this hawk usually preys on lizards in Andean habitats (Martínez-Piña & González-Cifuentes, 2017).

Etymology

The epithet "pikunche", is a noun in apposition, from the Mapudungun language meaning "north people" ("pikun" = north; "che" = people). We named this species after the native Pikunche people of Central Chile (between Aconcagua and Biobío rivers) where we found this new species.

DISCUSSION

Although we have tentatively assigned *L. pikunche* to the *L. elongatus* group because it is found in the latitudinal range of this group and matches all the morphological and ecological features previously reported for these lizards (Abdala et al., 2010; Avila et al., 2015; Troncoso-Palacios et al., 2018), further DNA study is required to confirm this hypothesis. *Liolaemus pikunche* was previously confused with *L. cristiani*, which is a member of the *L. chillanensis* group (Troncoso-Palacios et al., 2018). As a consequence of our study, the distribution of *L. cristiani* is restricted to the Peine Mountain and Siete Tazas National Park of the Maule Region, Chile (Núñez et al., 1991; Castro-Pastene et al., 2015), and must not be listed for the O'Higgins Region as was suggested previously by Ramírez-Álvarez (2018). Additionally, it is possible that *L. pikunche* was referred to in two previous publications. Esquerré et al. (2014) mention two specimens (MNHCL 4081–82) of "*Liolaemus* sp." from Alto Huemul, type locality of *L. pikunche*, collected by H. Núñez, J.C. Torres-Mura and P. Henríquez in 2006. Later, Núñez and Gálvez (2015) assigned those same specimens to *L. ubaghsi*, a member of the *L. leopardinus* group. Although we did not examine MNHCL 4081–82 and no photographs of these specimens were published by either Esquerré et al. (2014) or Núñez and Gálvez (2015), it is likely that both records refer to *L. pikunche* because we did not find another large *Liolaemus* in Alto Huemul. If indeed *L. pikunche* was confused with *L. ubaghsi*, this was probably because some similarities of the color pattern, size and shape (see Diagnosis section).

Given that several lineages have been proposed as candidate species of the *L. elongatus* group through molecular phylogenetic studies (Morando et al., 2003; Medina et al., 2017; Troncoso-Palacios et al., 2018) whose taxonomic status remains undetermined and that several additional species of the group have been recently described (Troncoso-Palacios et al., 2018; Ruiz et al., 2019a; this study), it is probable that the described diversity of this group of lizards will continue to increase in the coming years. For example, as was noted by Troncoso-Palacios et al. (2019), it is needed a deeper study to clarify the taxonomic status of the population of lizards that occur in Altos de Lircay, Maule Region, which has been listed with several names: *L. monticola* Müller & Hellmich, 1932, *L. carlosgarini*, *L. sp. 1* and *L. sp. Lircay* (Pincheira-Donoso & Núñez, 2005; Escobar-Huerta et al., 2015a; Medina et al., 2017; Troncoso-Palacios et al., 2018, 2019). We hope that further studies help to clarify these issues.

Acknowledgements.— We thank P. Zavala (Pontificia Universidad de Católica de Chile) for allowing us to review and deposit

material into the collection under his care. We thank the following colleagues and institutions for allowing us to review specimens: H. Núñez (Museo Nacional de Historia Natural), and J.N. Artigas (Museo de Zoología de la Universidad de Concepción). To I. Salgado and F. Fadel for their help in the field. L. Abello for plants identification. C.S. Abdala and A. Laspiur for sending literature. We thank to the two reviewers that helped us to improve this manuscript, especially for take their time to correct our manuscript under the current pandemic situation. J. Troncoso-Palacios thanks M. Penna (Programa de Fisiología y Biofísica, Universidad de Chile) for his support. We thank the Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) its support with the field campaigns.

CITED LITERATURE

- Abdala, C.S. & A.S. Quinteros. 2014. Los últimos 30 años de estudios de la familia de lagartijas más diversa de Argentina. Actualización taxonómica y sistemática de Liolaemidae. Cuadernos de Herpetología 28:55-82.
- Abdala, C.S., A.S. Quinteros, G.J. Scrocchi & J.C. Stazzonelli. 2010. Three new species of the *Liolaemus elongatus* group (Iguania: Liolaemidae) from Argentina. Cuadernos de Herpetología 24:93-109.
- Avila, L.J., A. González, J. Troncoso-Palacios, K.I. Sánchez, C.H.F. Pérez & M. Morando. 2020. Naming the diversity: Taxonomy of current species of Patagonian lizards. Pp. 123-188. In M. Morando & L.J. Avila (Eds.). Lizards of Patagonia. Diversity, Systematics, Biogeography and Biology of the Reptiles at the End of the World. Springer, Switzerland.
- Avila, L.J., C.D. Medina, C.H.F. Pérez, J.W. Sites & M. Morando. 2015. Molecular phylogenetic relationships of the lizard clade *Liolaemus elongatus* (Iguania: Liolaemini) with the description of a new species from an isolated volcanic peak in northern Patagonia. Zootaxa 3947:67-84.
- Avila, L.J., M. Morando, D.R. Pérez & J.W. Sites. 2010. A new species of the *Liolaemus elongatus* clade (Reptilia: Iguania: Liolaemini) from Cordillera del Viento, northwestern Patagonia, Neuquén, Argentina. Zootaxa 2667:28-42.
- Avila, L.J., C.H.F. Pérez, C.D. Medina, J.W. Sites & M. Morando. 2012. A new species of lizard of the *Liolaemus elongatus* clade (Reptilia: Iguania: Liolaemini) from Curi Leuvu River Valley, northern Patagonia, Neuquén, Argentina. Zootaxa 3325:37-52.
- Castro-Pastene, C., H. Carrasco & J. Troncoso-Palacios. 2015. Lagartijas y serpientes del Parque Nacional Radal Siete Tazas. Boletín Chileno de Herpetología 2:12-16.
- Escobar-Huerta, G., G.A. Ormazábal, R.I. Carvajal & J.C. Ortiz. 2015a. Ampliación del área de distribución de *Liolaemus carlosgarini* (Esquerré, Núñez and Scolaro, 2013) en la Reserva Nacional Altos de Lircay (Chile). Cuadernos de Herpetología 29:155-156.
- Escobar-Huerta, G., J. Santibáñez & J.C. Ortiz. 2015b. *Liolaemus lonquimayensis* (Squamata: Liolaemidae), a new lizard species for Chile without precloacal pores. Gayana 79: 94-101.
- Espinoza, R.E., J.J. Wiens & C.R. Tracy. 2004. Recurrent evolution of herbivory in small, cold-climate lizards: Breaking the ecophysiological rules or reptilian herbivory. Proceedings of the National Academy of Sciences 101:16819-16824.
- Esquerré, D., H. Núñez & J.A. Scolaro. 2013. *Liolaemus carlosgarini* and *Liolaemus riobamas* (Squamata: Liolaemidae), two new species of lizards lacking precloacal pores, from Andean areas of central Chile. Zootaxa 3619:428-452.
- Esquerré, D., D. Ramírez-Álvarez, C.J. Pavón-Vázquez, J. Troncoso-Palacios, C.F. Garín, J.S. Keogh & A.D. Leaché. 2019. Speciation across mountains: phylogenomics, species delimitation and taxonomy of the *Liolaemus leopardinus* clade (Squamata, Liolaemidae). Molecular Phylogenetics and Evolution 106:524.
- Esquerré, D., J. Troncoso-Palacios, C.F. Garín & H. Núñez. 2014. The missing leopard lizard: *Liolaemus ubaghsi* sp. nov., a new species of the *leopardinus* clade (Reptilia: Squamata: Liolaemidae) from the Andes of the O'Higgins Region in Chile. Zootaxa 3815:507-525.
- Etheridge, R. 1995. Redescription of *Ctenoblepharys adspersa* Tschudi, 1845, and the taxonomy of Liolaeminae (Reptilia: Squamata: Tropiduridae). American Museum Novitates 3142:1-34.
- Fitzinger, L.J.F.J. 1843. Systema Reptilium. Fasciculus Primus. Wien. Braumüller et Seidel.
- Frost, D.R. & D.M. Hillis. 1990. Species in concept and practice: herpetological applications. Herpetologica 46:87-104.
- Josse, J. & F. Husson. 2012. Handling missing values in exploratory multivariate data analysis methods. Journal de la Société Française de Statistique 153:79-99.

- Laurent, R.F. 1985. Segunda contribución al conocimiento de la estructura taxonómica del género *Liolaemus* Wiegmann (Iguanidae). Cuadernos de Herpetología 1:1-37.
- Lê, S., J. Josse & F. Husson. 2008. FactoMineR: An R Package for multivariate analysis. Journal of Statistical Software 25:1-18.
- Luebert, F. & P. Plisioff. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Editorial Universitaria. Santiago, Chile.
- Martínez-Piña, D. & G. González-Cifuentes. 2017. Las aves de Chile. Guía de campo y breve historia natural. Ediciones del Naturalista, Santiago, Chile.
- Medina, C.D., L.J. Avila, J.W. Sites & M. Morando. 2017. Phylogeographic history of Patagonian lizards of the *Liolaemus elongatus* complex (Iguania: Liolaemini) based on mitochondrial and nuclear DNA sequences. Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research 55:238-249.
- Medina, C.D., L.J. Avila, J.W. Sites, J. Santos & M. Morando. 2018. Alternative methods of phylogenetic inference for the Patagonian lizard group *Liolaemus elongatus-kriegi* (Iguania: Liolaemini) based on mitochondrial and nuclear markers. Molecular Phylogenetics and Evolution 120:158-169.
- Morando, M., L.J. Avila & J.W. Sites. 2003. Sampling strategies for delimiting species: genes, individuals, and populations in the *Liolaemus elongatus-kriegi* complex (Squamata: Liolaemidae) in Andean-Patagonian South America. Systematic Biology 52:159-185.
- Núñez, H. & O. Gálvez. 2015. Catálogo de la colección herpetológica del Museo Nacional de Historia Natural y nomenclátor basado en la colección. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural de Chile 64:1-203.
- Núñez, H., J. Navarro & J. Loyola. 1991. *Liolaemus maldonadae* y *Liolaemus cristiani*, dos especies nuevas de lagartijas para Chile (Reptilia, Squamata). Boletín del Museo Nacional de Historia Natural de Chile 42:79-88.
- Núñez, H., D. Esquerré, C. Garín & D. Pincheira-Donoso. 2018. Diversidad de especies. Reptiles. Pp. 140-153. In A. Figueroa, J. Rovira, S. Flores, C. Tala, R. Avilés, J.L. Orellana, J. Ferreyra, P. Díaz & A. Armendaris. (Eds.). Biodiversidad de Chile, Patrimonios y Desafíos. Volume I, 3th Edition. Ministerio del Medio Ambiente, Santiago.
- Pincheira-Donoso, D. & H. Núñez. 2005. Las especies chilenas del género *Liolaemus* Wiegmann, 1834 (Iguania: Tropiduridae: Liolaeminae). Taxonomía, sistemática y evolución. Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural de Chile 59:1-486.
- R Development Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing [Online]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Available from: <http://www.r-project.org>. Retrieved 12 Marsh 2020.
- Ramírez-Álvarez, D. 2018. Fauna Nativa de la Región de O'Higgins, Chile, Vertebrados Terrestres. Rancagua.
- Ramírez-Álvarez, D., P. Silva & I. Salgado. 2017. Nuevos registros, áreas de extensión y ocupación para los lagartos altoandinos endémicos de la Región de O'Higgins, Chile: *Liolaemus curis*, *Liolaemus ubaghsi* y *Phymaturus damasense*. Biodiversity and Natural History 3:39-44.
- Ruiz, S., M. Quipildor, A.L.B. Arroyo, P. Chafrat & C.S. Abdala. 2019a. A new species of the *Liolaemus elongatus* group (Iguania: Liolaemidae) from Neuquén Province, Argentina, with comments on its genitalia morphology. Cuadernos de Herpetología 33:17-27.
- Ruiz, S., M. Ruiz-Monachesi & C.S. Abdala. 2019b. Revalidación de *Liolaemus choique* (Abdala, Quinteros, Scrocchi y Stazzonelli, 2010) Iguania: Liolaemidae. Cuadernos de Herpetología 33:33-38.
- Schulte, J.A., J.R. Macey, R.E. Espinoza & A. Larson. 2000. Phylogenetic relationships in the iguanid lizard genus *Liolaemus*: multiple origins of viviparous reproduction and evidence for recurring Andean vicariance and dispersal. Biological Journal of Linnean Society 69:75-120.
- Troncoso-Palacios, J., H.A. Díaz, D. Esquerré & F.A. Urra. 2015. Two new species of the *Liolaemus elongatus-kriegi* complex (Iguania, Liolaemidae) from Andean highlands of southern Chile. ZooKeys 500:83-109.
- Troncoso-Palacios, J., H.A. Díaz, G.I. Puas, E. Riveros-Riffo & A.A. Elorza. 2016. Two new *Liolaemus* lizards from the Andean highlands of Southern Chile (Squamata, Iguania, Liolaemidae). ZooKeys 632:121-146.
- Troncoso-Palacios, J., D. Esquerré, F.A. Urra, H.A. Díaz, C. Castro-Pastene & M.S. Ruiz. 2018. The true identity of the new world iguanid lizard *Liolaemus chillanensis* Müller and Hellmich 1932

(Iguania: Liolaemidae) and description of a new species in the *Liolaemus elongatus* group. Zoological Studies 57:22.

Troncoso-Palacios, J., Y. Marambio-Alfaro, D. Ramírez-Álvarez & J. Valdés. 2019. Phylogenetic position of two species of the *Liolaemus elongatus-kriegi* Complex and a new northern limit for *L. buergeri* (Squamata: Liolaemidae). Phyllomedusa 18:115-121.

Zar, J.H. 2010. Biostatistical Analysis. 5th Edition, Prentice-Hall/Pearson, Upper Saddle River.

APPENDIX I

Specimens examined. Museum codes are as follow: LCUC (Laboratorio de Citogenética, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile), MNHNCL (Museo Nacional de Historia Natural, Chile), MRC (Museo Regional de Concepción), MZUC (Museo de Zoología of Universidad de Concepción) and SSUC (Colección de Flora y Fauna Patricio Sánchez Reyes, Pontificia Universidad Católica de Chile).

Liolaemus antonietae ($n = 12$). MZUC 28249, 28251, 28254, 28569, 38086 and 38090. Termas de Chillán, Biobío Region, Chile. SSUC Re 695–99. Termas de Chillán, Biobío Region, Chile. J. Troncoso-Palacios, H. Díaz and F.A. Urrea colls. January 9, 2014. SSUC Re 700. Laguna del Huemul, Shangrila, Biobío Region, Chile. F.A. Urrea coll. December, 2014.

Liolaemus antumalguen ($n = 3$). SSUC Re 763–65. Eight Km NW from Tromen Volcano, Neuquén Province, Argentina. J. Troncoso-Palacios and C. Castro-Pastene colls. December 9, 2017.

Liolaemus buergeri ($n = 15$). LCUC 2311. El Planchón, Maule Region, Chile. M. Lamborot and M.E. Manzur colls. January 7, 1996. SSUC Re 171–180. Maule Lagoon. F. Ferri coll. February 20, 2011. SSUC Re 434–37. El Planchón, road to Teno Lagoon. J. Troncoso-Palacios, L. Negrete and R. Barros colls. January, 2012. SSUC Re 776–77. Los Humos, O'Higgins Region, Chile. J. Troncoso-Palacios and D. Ramírez-Álvarez colls. March 10, 2018.

Liolaemus carlosgarini ($n = 10$). SSUC Re 181–189, 349. Road to Maule Lagoon, Maule Region, Chile. F. Ferri coll. February 20, 2011.

Liolaemus cristiani ($n = 2$). MNHNCL 4174. El Peine Mountain, Maule Region. H. Núñez and A. Labra colls. February 24, 1990. SSUC Re 537. El Peine Mountain, Maule Region, Chile. J. Troncoso-Palacios coll. October, 2011.

Liolaemus curis ($n = 4$). SSUC Re 166–68. Termas del Flaco, O'Higgins Region, Chile. F. Ferri coll. January 2, 2011. SSUC Re 495. Termas del Flaco, O'Higgins Region, Chile. J. Troncoso-Palacios coll. January 14, 2011.

Liolaemus elongatus ($n = 6$). SSUC Re 545–46, 618–21. Eight km east of the summit of the Llaima volcano, Araucanía Region, Chile. J. Troncoso-Palacios and D. Esquerré Colls. December 9, 2012.

Liolaemus jannequeoae ($n = 7$). SSUC Re 649–51. Laguna Verde, approximately 13.5 km NW of the summit of the Tolhuaca volcano, Araucanía Region, Chile. J. Troncoso-Palacios, F. Urrea and H. Díaz colls. January 5, 2014. SSUC Re 712–14. Laguna Verde, approximately 13.5 km NW of the summit of the Tolhuaca volcano, Araucanía Region, Chile. J. Troncoso-Palacios and E. Riveros-Riffo colls. January 15, 2016. SSUC Re 715. Laguna Verde, approximately 13.5 km NW of the summit of the Tolhuaca volcano, Araucanía Region, Chile. E. Riveros-Riffo coll. February 18, 2015.

Liolaemus normae ($n = 6$). SSUC Re 738–41, 743. Los Cristales Lagoon, Rengo, O'Higgins Region, Chile. D. Ramírez-Álvarez and J. Troncoso-Palacios colls. January 21, 2016. SSUC Re 742. Los Cristales Lagoon, Rengo, O'Higgins Region, Chile. D. Ramírez-Álvarez coll. March 28, 2015.

Liolaemus pikunche sp. nov. ($n = 7$). SSUC Re 780. Alto Huemul, O'Higgins Region, Chile. D. Ramírez-Álvarez coll. February 22, 2015. SSUC Re 781–786. Alto Huemul, O'Higgins Region, Chile. D. Ramírez-Álvarez and J. Troncoso-Palacios colls. January 29, 2020.

Liolaemus riodamas ($n = 2$). SSUC Re 493–94. Teno Lagoon, Maule Region, Chile. J. Troncoso-Palacios, L. Negrete and R. Barros colls. January, 2012.

Liolaemus scorialis ($n = 11$). MRC 675, 677, 680, 682. La Mula Lagoon, Ralco National Reserve. Unknown coll. December 1, 2001. SSUC Re SSUC Re 612–17, 680. 7 km NW of the summit of the Antuco volcano, near the Laja Lagoon, Biobío Region, Chile. J. Troncoso-Palacios, F. Urrea and H. Díaz colls. January 8, 2014.

Liolaemus ubaghsi ($n = 4$). MNHNCL 1601. Sewell, O'Higgins Region, Chile. M. Elgueta coll. December, 1982. SSUC Re 491–92. El Teniente, Tranque Barahona, O'Higgins Region, Chile. R. Thomson and G. Ugalde colls. April 15, 2008. SSUC Re 735. Road of Río Tinto Miner, O'Higgins Region, Chile. D. Ramírez-Álvarez coll. November, 2016.



NUEVOS REGISTROS DE DEPRDACIÓN POR *BOA CONSTRICTOR* (SERPENTES: BOIDAE) EN COLOMBIA

NEW RECORDS OF PREDATION BY *BOA CONSTRICTOR* (SERPENTES: BOIDAE) IN COLOMBIA

JUAN MANUEL ACOSTA-ORTIZ^{1,*}, JUAN SEBASTIÁN BOBADILLA-MOLINA^{1,2}, JESÚS ALEJANDRO GONZÁLES-ROJAS^{1,2} & SANTIAGO MARTÍNEZ-VÉLEZ¹

¹Departamento de Biología y Química. Programa de Biología. Universidad de los Llanos. Villavicencio. Meta. Colombia.

²Semillero de Investigación BioHerp. Universidad de los Llanos. Villavicencio. Meta. Colombia.

Correspondence: juan.acostaherp@gmail.com

Received: 2020-11-29. Accepted: 2021-03-26.

Abstract.— Two cases of predation by *Boa constrictor* in Meta department (Colombia) were reported. The first record is of *Psarocolius decumanus* as new food item, while the second is a predation record on *Ameiva* sp.

Keywords.— Diet, red-tailed boa, crested oropendola, whiptail lizard.

Resumen.— Se reportan dos casos de depredación por *Boa constrictor* en el departamento del Meta (Colombia). El primer registro de *Psarocolius decumanus* como nuevo ítem alimenticio y un evento de depredación de *Ameiva* sp.

Palabras clave.— Dieta, boa de cola roja, oropéndola crestada, lagartija cola de látigo.

Boa constrictor Linnaeus, 1758 es una serpiente que se encuentra ampliamente distribuida en Sudamérica, además de presentar poblaciones introducidas en Centroamérica y el sureste de Estados Unidos (Snow et al., 2007; Reynolds & Henderson, 2018; Uetz et al., 2020). Su dieta ha sido documentada en poblaciones nativas e introducidas, donde se han reportado presas endotérmicas y ectotérmicas, como reptiles, aves y mamíferos. (Beebe, 1946; Martins & Oliveira, 1998; Sironi et al., 2000; Quick et al., 2005; Pizzato et al., 2009).

En Colombia dos especies del género *Boa* han sido reportadas, *Boa imperator* cuya distribución comprende la zona occidente y *Boa constrictor*, que es registrada en el resto del país (Card et al., 2016). En el oriente del país, *B. constrictor* ha sido registrada en localidades donde predominan formaciones vegetales como bosques, morichales, matorrales y pastizales, lo que puede generar una oferta alimenticia amplia para la especie (Rangel-Ch & Minorta-Cely, 2014; Trujillo-P et al., 2014). En esta nota se reportan dos eventos de depredación por *B. constrictor* para el oriente del país, en el departamento del Meta, en los municipios de Mapiripán y Villavicencio.

El 29 de septiembre del 2020 a las 9:20 horas, en la finca Zaragoza (2.886944° N, 72.167222° W; elev. 181 m s.n.m.) ubicada en el municipio de Mapiripán, fue observado una *Boa constrictor* ingiriendo un individuo de *Psarocolius decumanus* (Icteridae)

(Fig. 1). Se observó que la serpiente constreñía el cuerpo del ave, mientras la tragaba desde la cabeza. Al detectar la presencia de los observadores, la serpiente empezó a regurgitar la presa, por lo que la observación directa fue interrumpida. A pesar de esto, la presa no fue regurgitada completamente. Pasados aproximadamente 30 minutos, la serpiente ya había ingerido el ave en su totalidad. Este evento de depredación se convierte en el primer caso documentado de esta especie de ave en la dieta de *B. constrictor*.

El segundo reporte se registró en el campus de la Universidad de los Llanos (4.074417° N, 73.584944° W; elev. 398 m s.n.m.), en el municipio de Villavicencio. Este campus presenta formaciones vegetales boscosas, áreas de cultivos, estanques piscícolas, canales de agua artificiales y edificaciones. En la zona de edificaciones, un individuo de *Ameiva* sp. (Teiidae) fue cazado por un individuo de *Boa constrictor* de aproximadamente 60 cm, a las 10:00 horas del 27 de junio del 2019 (Fig. 2). La boa se encontraba bajo una llanta de vehículo, que era usada como maceta para una planta ornamental, cuando el individuo de *Ameiva* sp. se desplazó frente a la serpiente, esta lo capturó con una mordida en la zona del cuello y seguidamente lo atrapó con su cuerpo, realizando constricción por aproximadamente 20 minutos. Posteriormente, la serpiente ubicó la cabeza del lagarto y lo comenzó a ingerir. Durante la ingesta, la serpiente presentaba leves dificultades al engullir las extremidades del lagarto. Una



Figure 1. Predation of *Psarocolius decumanus* by *Boa constrictor* in Mapiripán (Meta), Colombia. Photo: Santiago Martínez.

Figura 1. Depredación de *Psarocolius decumanus* por *Boa constrictor* en Mapiripán (Meta), Colombia. Foto: Santiago Martínez.

vez ingerida completamente la presa, la boa se refugió bajo la llanta donde en un principio se encontraba, pero al ser una zona de transcurrir constante de personas, fue reubicada en el área boscosa del campus, donde la serpiente se refugió bajo un tronco. Durante el traslado de un sitio al otro, la serpiente no presentó señales de estrés, ni regurgitó la presa.

Se ha registrado que las boas buscan sitios que frecuentan sus presas para poderlas emboscar eficazmente (Montgomery & Rand, 1978; Sironi et al., 2000; Rocha-Santos et al., 2014). Por lo que, la observación de la serpiente bajo la maceta, sugiere que el depredador ya venía acechando el lagarto, o podría estar apareciendo que apareciera cualquier presa. Adicionalmente, el género *Ameiva* ya ha sido mencionado en la dieta de *B. constrictor* en Brasil (Cunha & Nascimento, 1978; Pizzato et al., 2009; Bernarde y Abe, 2010; Silva et al., 2016), Guyana y Venezuela (Beede, 1946) y en una población introducida en la isla de Aruba (Quick et al., 2005), donde parece ser que los lagartos son un componente importante en la dieta de la especie.

CITED LITERATURE

Beebe, W. 1946. Field notes on the snakes of Kartabo, British Guiana, and Caripito, Venezuela. *Zoologica* 31:11-2.

Bernarde, P.S. & A.S. Abe. 2010. Hábitos alimentares de serpentes em Espigão do Oeste, Rondônia, Brasil. *Biota Neotropica* 10:167-173.

Card, D.C., D.R. Schield, R.H. Adams, A.B. Corbin, B.W. Perry, A. L. Andrew, G.J.M. Pasquesi, E.N. Smith, T. Jezkova, S.M. Boback, W. Booth & T.A. Castoe. 2016. Phylogeographic and population genetic analyses reveal multiple species of *Boa* and independent origins of insular dwarfism. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 102:104-116.

Cunha, O. R. & F.P. Nascimento. 1978. As cobras da região leste do Pará. *Publicações Avulsas Museu Paraense Emilio Goeldi* 31:1-218.

Martins, M. & M.E. Oliveira. 1998. Natural history of snakes in forests of the Manaus Region, Central Amazonia, Brazil. *Herpetological Natural History* 6:78-150.

Montgomery, G.G. & A.S. Rand. 1978. Movements, body temperature and hunting strategy of a *Boa constrictor*. *Copeia* 3:532-533.

Pizzatto, L., O.A.V. Marques & K. Facure. 2009. Food habits of Brazilian boid snakes: overview and new data, with special reference to *Corallus hortulanus*. *Amphibia-Reptilia* 30:533-544.



Figure 2. Predation of *Ameiva* sp. by *Boa constrictor* in Villavicencio (Meta), Colombia. Photo: Jesús Alejandro González.

Figura 2. Depredación de *Ameiva* sp. por *Boa constrictor* en Villavicencio (Meta), Colombia. Foto: Jesús Alejandro González.

- Quick, J. S., H.K. Reinert, E.R. de Cuba & R.A. Odum. 2005. Recent occurrence and dietary habits of *Boa constrictor* on Aruba, Dutch West Indies. *Journal of Herpetology* 39: 304-307.
- Rangel-Ch, J.O. & V. Minorta-Cely. 2014. Los tipos de vegetación de la Orinoquia Colombiana. Pp. 533-612. En: J.O. Rangel-Ch. (Ed.). Colombia Diversidad Biótica XIV. La región de la Orinoquia de Colombia. Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Ciencias Naturales, Bogotá, Colombia.
- Reynolds, R. G. & R.W. Henderson. 2018. Boas of the World (Superfamily Boidae): A Checklist With Systematic, Taxonomic, and Conservation Assessments. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology* 162:1-58.
- Rocha-Santos, G., E. Barbier, & M.O. Bordignon. 2014. Sweet trap: *Boa constrictor* (Serpentes: Boidae) preying on passerines on *Cecropia pachystachya* (Urticales: Cecropiaceae) in fruiting period. *Biota Neotropica* 14:e20140003.
- Silva, C. F., E.P. Alcantara, C.S.L. Matias, C.R. Oliveira & R.W. Ávila. 2016. *Ameiva ameiva* (Giant Ameiva). Predation. *Herpetological Review* 47:292.
- Sironi, M., M. Chiaraviglio, R. Cervantes, M. Bertona, & M. Rio. (2000) Dietary habits of *Boa constrictor* occidentalis in the Cordoba Province, Argentina. *Amphibia-Reptilia* 21:226-232.
- Snow, R. W., K.L. Krysko, K.M. Enge, L. Oberhofer, A. Warren-Bradley & L. Wilkins. 2007. Introduced populations of *Boa constrictor* (Boidae) and *Python molurus bivittatus* (Pythonidae) in southern Florida. Pp. 416-438. En: R.W. Henderson. & R. Powell (Eds.). *Biology of the boas and pythons*. Eagle Mountain Publishing, Eagle Mountain, USA.
- Trujillo-P, A., J.E. Carvajal-C & J.O. Rangel-Ch. 2014. Reptiles de la Orinoquia Colombiana. Pp. 635-664. En: J.O. Rangel-Ch. (Ed.). Colombia Diversidad Biótica XIV. La región de la Orinoquia de Colombia. Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Ciencias Naturales, Bogotá, Colombia.
- Uetz P, Freed P, Hošek J. (2020). The Reptile Database. <http://www.reptile-database.org>, [Consultado en Noviembre 2020]



FIRST RECORD OF *GONATODES ALBOGULARIS* DUMÉRIL & BIBRON, 1836 (SQUAMATA: SPHAERODACTYLIDAE) FOR THE DEPARTMENT OF ATLÁNTIDA, HONDURAS, WITH COMMENTS ON THE INTERACTIONS WITH OTHER LIZARDS

PRIMER REGISTRO DE *GONATODES ALBOGULARIS* DUMÉRIL & BIBRON, 1836 (SQUAMATA: SPHAERODACTYLIDAE) PARA EL DEPARTAMENTO DE ATLÁNTIDA, HONDURAS, CON COMENTARIOS SOBRE INTERACCIONES CON OTRAS LAGARTIJAS

CRISTOPHER A. ANTÚÑEZ-FONSECA^{1,2*}, DENIS PADILLA², JOCELYN A. CASTRO³, LUIS ZUNIGA⁴ & JOSUÉ RAMOS³

¹Departamento de Ambiente y Desarrollo, Centro Zamorano de Biodiversidad, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Valle de Yeguaré, Francisco Morazán, Honduras.

²Departamento de Biología, Universidad Nacional Autónoma de Honduras en el Valle de Sula, Sector Pedregal, San Pedro Sula, Cortés, Honduras.

³Escuela de Biología, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Boulevard Suyapa, Tegucigalpa MDC, Francisco Morazán, Honduras.

⁴Centro Nacional de Conservación/Zoológico Rosy Walther, Parque Naciones Unidas, El Picacho, Tegucigalpa MDC, Francisco Morazán, Honduras.

Correspondence: cristopher.antunez@unah.edu.hn

Received: 2020-06-08. Accepted: 2021-01-13.

Resumen.— Registramos la primera población de *Gonatodes albobularis* para el Departamento de Atlántida, siendo el registro más al noroeste en Honduras y comentando sobre su posible origen. Además, en la misma localidad encontramos a *Hemidactylus frenatus* y *Norops sagrei*, especies no nativas para Honduras. Observamos ciertos comportamientos de individuos de estas tres especies y los discutimos con información previa de sus posibles interacciones, incentivando futuras investigaciones sobre relaciones entre estas tres especies.

Palabras clave.— Centroamérica, competencia interespecífica, comportamiento, distribución geográfica, lagartijas.

Abstract.— We recorded the first population of *Gonatodes albobularis* for the Departamento de Atlántida, being the most northwestern record in Honduras and we comment on its possible origin. In addition, in the same locality, we found *Hemidactylus frenatus* and *Norops sagrei*, species not native to Honduras. We observe certain behaviors of individuals of these three species and discuss them with respect to previous information on their possible interactions, with the intent to encourage future research on the interactions of these three species.

Keywords.— Behavior, Central America, geographical distribution, interspecific competition, lizards.

Gonatodes albobularis (Duméril & Bibron, 1836) is a small diurnal gecko, widely distributed from southeastern Chiapas in Mexico to western Venezuela and from sea level to 1900 m a.s.l. (Agudelo, 2011; Martínez-Cotrino et al., 2014). *Gonatodes albobularis* prefers dry microhabitats and is often found in humid spaces and urban areas, where it feeds mainly on small arthropods (Gamble et al., 2008). The principal predators of this small lizard are larger lizards, some snakes, birds, mammals (Domínguez-López et al., 2016), and spiders (Filipiak & Lewis, 2012). Here, we report a new departmental record for *G. albobularis* in the Departamento de Atlántida, Honduras, and comment on some observed interactions between this species and two introduced lizards (*Hemidactylus frenatus* and *Norops sagrei*) in the same locality.

On June 7, 2019, at 13:54 h, we found an adult male *G. albobularis* (Fig. 1) active within a slit-like cavity on the trunk of a “Weeping fig” (*Ficus benjamina*; Moraceae) at 1.5 m height, at a restaurant adjacent to the road to La Ceiba (CA-13) in the Comunidad de El Pino, Municipio de El Porvenir, Departamento de Atlántida, Honduras (15.71247° N, 86.90533° W, WGS84 datum; elev. 39 m a.s.l.; Fig. 2). The closest town to our record site is Trujillo, Departamento de Colón, which is located approximately 105 airline km WSW (McCrane, 2018) in the West-central Caribbean Lowlands (Wilson & Townsend, 2006). The specimen was deposited in the herpetological collection of the Museo de Historia Natural “Biodiversidad y Ciencia” at the Universidad Nacional Autónoma de Honduras en el Valle de Sula, San Pedro



Figura 1. (A) *Gonatodes albogularis* UVS-V 1242 fotografiado luego de su captura; (B) Fotografía *in situ* de *G. albogularis* UVS-V 1242. Fotografías por CAAF.

Figure 1. (A) *Gonatodes albogularis* UVS-V 1242 photographed after capture; (B) *In situ* photo of *G. albogularis* UVS-V 1242. Photos by CAAF.

Sula, Departamento de Cortés, Honduras (UVS-V 1242, field tag EPA 01). The specimen measured a total length of 84.6 mm, snout-vent length of 36.1 mm, and a tail length of 48.5 mm. Based on the two visits made, we suggest that there is an established population of *G. albogularis*, due to the presence of three adult males and two juvenile females. Our observations were made at the westernmost locality on the Atlantic versant of Honduras, and constitute the first vouchered record for the department of Atlántida.

In the same locality that we found *G. albogularis*, we also identified two species of invasive lizard; *Hemidactylus frenatus* (Fig. 3A) and *Norops sagrei* (Fig. 3B). We observed that the three species were active during the day, although *H. frenatus* only showed a few movements in its inhabited tree. As Marcellini (1976) mentioned, *H. frenatus* is rarely active during the day. Furthermore, *H. frenatus* and *G. albogularis* appear to use the tree cavities as a refuge, promoting interactions between them. We observed that *G. albogularis* avoided interactions with *H. frenatus* on the surface of the tree and when they did occur, *G. albogularis*

demonstrated escape behavior, protecting itself by entering the closest refuge, without returning to its initial cavity. We observed that *N. sagrei* does not share space with *H. frenatus* and *G. albogularis*. We hypothesize that *N. sagrei* spatially excludes the geckos with its pugnacious temperament (Evans, 1938). If our hypothesis is affirmative, this behavior forces interspecific competition for space between *G. albogularis* and *H. frenatus*.

The natural range of *G. albogularis* on the Atlantic versant is poorly known, but we hypothesize that in these localities this lizard has been anthropogenically introduced because its sites of occurrence have been associated primarily with urban areas and do not represent a typical distribution pattern as is observed on the Pacific versant, in which the localities are closer (see Fig. 2; McCranie, 2018). This view is supported by the introduction of this species in other localities such as Belize city in Belize, Florida in The United States, Corn Island in Nicaragua, Aruba, Curaçao, Grand Cayman, and Hispaniola (McCranie, 2018). The population we report here appears to have been anthropogenically introduced; one of the local inhabitants

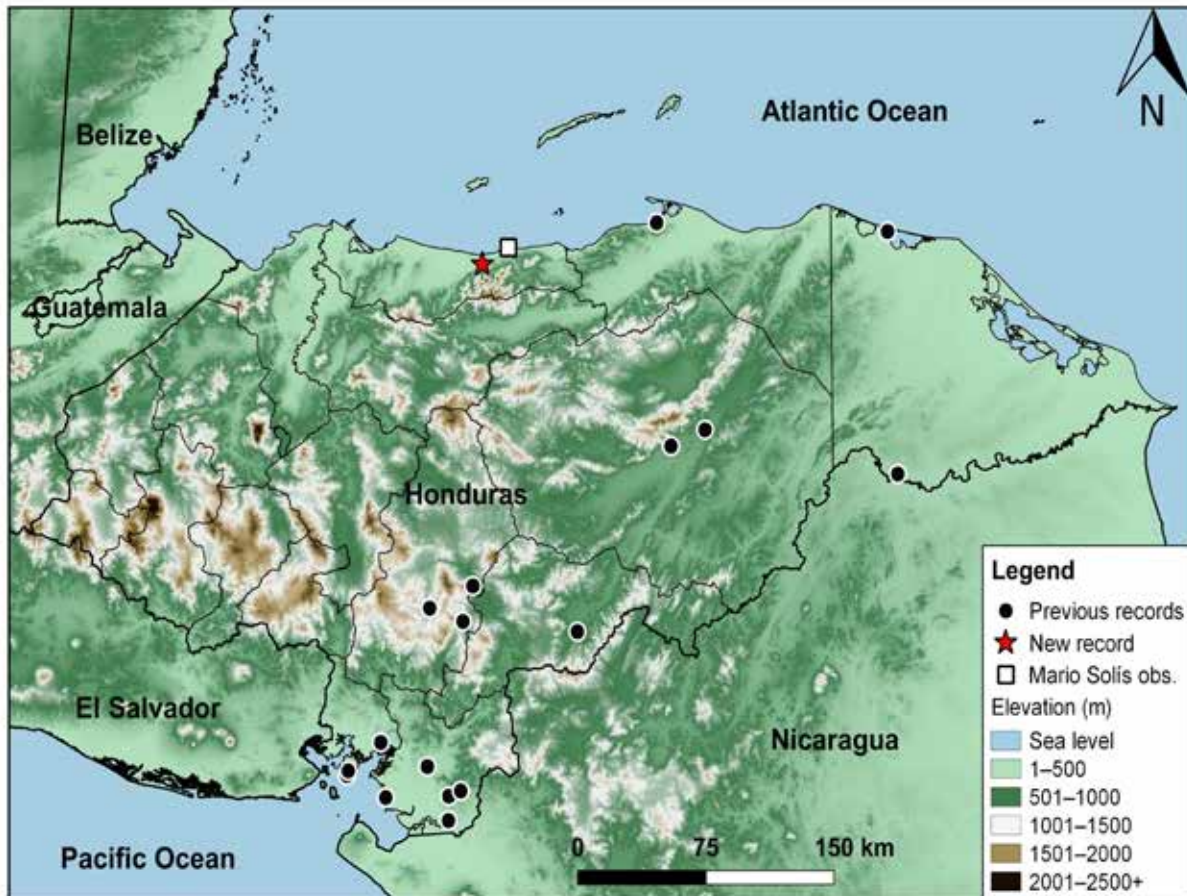


Figura 2. Mapa de la distribución geográfica de *G. albogularis* en Honduras. Los registros previos fueron basados en Wilson y McCranie 1998, Townsend et al. 2007 y McCranie 2018.

Figure 2. Map of the geographical distribution of *G. albogularis* in Honduras. The previous records were based on Wilson and McCranie 1998, Townsend et al. 2007 and McCranie 2018.

told us that several specimens of *G. albogularis* were previously brought to the restaurant “Carnitas del Pino” from the Ciudad de La Ceiba in Atlántida. Also, in 2018 individuals were found near the “Muelle de Cabotage” at La Ceiba, which locality has not been reported previously (Mario Solís, *pers. comm.*). The report of this locality for *G. albogularis* fills part of the information gap on the distribution of the species and if it is native to this region increases the possibility of interconnection between populations from the northeastern coast of Nicaragua; northeastern, north-central, and northwestern Honduras (this last region not based on specific records, see Fig. 2), and southeastern Guatemala (Köhler, 2008; McCranie, 2018).

The two non-native species in Honduras have the potential to displace native species (e.g., *Phyllodactylus palmeus*—Brown et al., 2017, citing McCranie & Hedges, 2013), because of their following characteristics: *H. frenatus* is responsible for population

extinction/range contraction of native lizards, behavioral change, decreased abundance, changes in spatial ecology, reorganization of trophic networks, and reduction of prey availability (Kraus, 2015), and *N. sagrei* causes declines in abundance of native lizards, changes in spatial ecology, the evolution of defenses because they adapt easily to disturbed habitat, and exhibit characteristics that allow them to be successful invaders (Kraus, 2015). Furthermore, there could be an overlap between the diet of *G. albogularis* and that of the two introduced lizards, due to the coincidence of arthropod consumption (Carr Jr., 1939; Tyler, 1961; Fitch, 1973; Savage, 2002; Jadin et al., 2009; Norval et al., 2010; Agudelo, 2011; Losos, 2011; Alemán & Sunyer, 2015; Brown et al., 2017; McCranie, 2018), which also might force changes in the diet of *G. albogularis*, as demonstrated by Pringle et al. (2019) using *N. sagrei* as a model in the presence of exotic species. *Gonatodes albogularis* can be attacked, due to its smaller size (maximum snout-vent length of 42 mm) in relation to *H. frenatus* (maximum



Figura 3. (A) Un individuo de *Hemidactylus frenatus*; (B) Un espécimen observado de *Norops sagrei* en los árboles adyacentes habitados por las otras dos lagartijas. Fotografías por CAAF.
Figure 3. (A) An individual of *Hemidactylus frenatus*; (B) An individual of *Norops sagrei* in trees adjacent to those inhabited by the other two lizards. Photos by CAAF.

snout-vent length of 60 mm for Honduran specimens) and *N. sagrei* (maximum snout-vent length of 70 mm for Honduran specimens) (Cole et al., 2005; McCranie & Köhler, 2015; McCranie, 2018). *Hemidactylus frenatus* is also a possible predator of *G. albogularis* since it attacks, predates, and consumes the eggs of other lizards, causing interspecific predation (Cole et al., 2005; Díaz Pérez et al., 2012; Gardner & Jasper, 2012), as in the case of *G. albogularis*, where attacks by *H. frenatus* have been evidenced (Alemán & Sunyer, 2015) and in the case of *N. sagrei*, which is known for its cannibalistic behavior and for predating other lizards (Campbell & Gerber, 1996; Gerber, 1999; Lee, 2000; Nicholson et al., 2000; Norval, 2007; Norval et al., 2010). Batista et al. (2019) mentioned the capacity that this anole might have in displacing *G. albogularis* (Williams, 1969; Schoener et al., 2017). We discuss these behaviors as might be very similar to those mentioned by Pianka (1973) and Fisher et al. (2019) that lead to competition between invasive and native species.

Our work contributes to a better definition of the distribution of *G. albogularis* and opens the possibility for future studies on the interactions that might exist with invasive lizards in Honduras, because this event may be occurring in several places where these introduced species are in contact with native populations of *G. albogularis*. In addition, we recommend that a greater sampling effort is necessary on the Atlantic slope to confirm the presence of *G. albogularis* where there are information gaps in the distribution of this species, to determine if the populations of species in Honduras connect the populations from Guatemala and Nicaragua (Köhler, 2008). It is necessary to confirm whether populations on the Atlantic slope are introduced or native, in the case being introduced investigate the reasons and take measures to reduce the invasion of exotic species, besides making a greater effort to understand the impact that introduced species have on native species and ecosystems.

Acknowledgments.— We thank Lorely Molinares for joining us on fieldwork expeditions, and “Tito” of the “Carnitas del Pino” dining room for allowing us to extract the specimens inside his property. We also thank Mario Solís for sharing the information about his observation at the Muelle de Cabotage. We especially thank Erich Hofmann, Larry Wilson, Thomas Brown, Juan Díaz, and Abel Batista for considerably improving the writing of this document and for their valuable comments. Biological research and the collection of specimens was performed under a research permit issued by Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF), Tegucigalpa, Honduras; Resolution DE-MP-067-2018 and Dictamen DVS-008-2018, and in accordance with approved animal care and use protocols (ASIH, 2004).

CITED LITERATURE

- Agudelo, G. 2011. Efecto de la temperatura sobre el metabolismo de *Gonatodes albogularis* (Sauria: Gekkonidae). *Momentos de Ciencia* 8:27-32.
- Alemán, B.M. & J. Sunyer. 2015. Nature notes. *Hemidactylus frenatus* Schlegel, 1836 In A. M. C. Duméril & Bibron, 1836. Predation attempt. *Mesoamerican Herpetology* 2:518-519.
- ASIH. 2004. Guidelines for use of live amphibians and reptiles in field and laboratory research, 2nd edition. Herpetological Animal Care and Use Committee (HACC). USA.
- Batista, A., M. Ponce, O. Garcés, E. Lassiter & M. Miranda. 2019. Silent pirates: *Anolis sagrei* Duméril & Bibron, 1837 (Squamata, Dactyloidae) taking over Panama City, Panama. *Check List* 15:455-459.
- Brown, T.W., D.F. Mayron & S.M. Clayson. 2017. Natural History Notes. *Hemidactylus frenatus* (Common Asian House Gecko): Diet. *Herpetological Review* 48:645-646.
- Campbell, T.S. & G.P. Gerber. 1996. Natural History Notes. “*Anolis sagrei*. Saurophagy,” *Herpetological Review* 27:200.
- Carr Jr., A.F. 1939. A gekkonid lizard new to the fauna of the United States. *Copeia* 1939:232.
- Cole, N.C., C.G. Jones & S. Harris. 2005. The need for enemy-free space: the impact of an invasive gecko on island endemics. *Biological Conservation* 125:467-474.
- Díaz Pérez, J.A., J.A. Dávila Suárez, D.M. Álvarez García & A.C. Sampedro Marín. 2012. Dieta de *Hemidactylus frenatus* (Sauria: Gekkonidae) en un área de la región Caribe Colombiana. *Acta Zoológica Mexicana* 28:613-616.
- Domínguez-López, M.E., F.J. Diego-Rasilla & A.M. Ortega-León. 2016. Effects of sex and microhabitat structure on escape behavior in the diurnal gecko *Gonatodes albogularis*. *Animal Biology* 66:31-47.
- Evans, L.T. 1938. Cuban field studies on territoriality of the lizard *Anolis sagrei*. *Journal of Comparative Psychology* 25:97-125.
- Filipiak, D. & T. Lewis. 2012. Natural History Notes. *Gonatodes albogularis* (Yellow-headed Dwarf Gecko) Predation. *Herpetological Review* 43:486.
- Fisher, S.R., L.A. Del Pinto & R.N. Fisher. 2019. Establishment of brown anoles (*Anolis sagrei*) across a southern California county and potential interactions with native lizard species. *PeerJ* 8:e8937.
- Fitch, H.S. 1973. Population structure and survivorship in some Costa Rican lizards. *Occasional Papers of the Museum of Natural History, The University of Kansas* 18:1-41.
- Gamble, T., A.M. Simons, G.R. Colli & L.J. Vitt. 2008. Tertiary climate change and the diversification of the Amazonian gecko genus *Gonatodes* (Sphaerodactylidae, Squamata). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 46:269-277.
- Gardner, C. & L. Jasper. 2012. *Paroedura picta* in southern Madagascar: diet and predation by the introduced *Hemidactylus frenatus*. *Herpetology Notes* 5:457-458.
- Gerber, G.P. 1999. A review of intraguild predation and cannibalism in *Anolis*. *Anolis Newslett* 5:28-39.
- Jadin, R.C., M.A. Altamirano, M.H. Yáñez-Muñoz & E.N. Smith. 2009. First record of the common house gecko (*Hemidactylus frenatus*) in Ecuador. *Applied Herpetology* 6:193-195.
- Köhler, G. 2008. *Reptiles of Central America*, 2nd Edition. Herpeton, Verlag Elke Köhler, Offenbach, Germany.
- Kraus, F. 2015. Impacts from Invasive Reptiles and Amphibians. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 46:75-97.

- Lee, J.C. 2000. A Field Guide to the Amphibians and Reptiles of the Maya World: the Lowlands of Mexico, Northern Guatemala, and Belize. Cornell University Press of New York, New York, USA.
- Losos, J.B. 2011. Lizards in an evolutionary tree: ecology and adaptive radiation of anoles. University of California Press., California, USA.
- Marcellini, D.L. 1976. Some aspects of the thermal ecology of the Gecko *Hemidactylus frenatus*. *Herpetologica* 32:341-345.
- Martínez-Cotrina, J., M.L. Bohórquez-Alonso & M. Molina-Borja. 2014. Morphological and behavioral correlates of contest success in male yellow-headed geckos, *Gonatodes albogularis*: Sequential assessment or self-assessment? *Behaviour* 151:1535-1554.
- McCranie, J.R. 2018. The lizards, Crocodiles and Turtles of Honduras. Systematics, Distribution, and Conservation. Bulletin of the Museum of Comparative Zoology Press. Cambridge, Massachusetts. USA.
- McCranie, J.R. & S.B. Hedges. 2013. A new species of *Phyllodactylus* (Reptilia, Squamata, Gekkonoidea, Phyllodactylidae) from Isla de Guanaja in the Honduran Bay Islands. *Zootaxa* 3694: 51-58.
- McCranie, J.R. & G. Köhler. 2015. The anoles (Reptilia: Squamata: Dactyloidae: Anolis: *Norops*) of Honduras. Systematics, distribution, and conservation. Bulletin of the Museum of Comparative Zoology Press. Cambridge, Massachusetts. USA.
- Nicholson, K.E., A.V. Paterson & P.M. Richards. 2000. Natural History Notes. "*Anolis sagrei* cannibalism." *Herpetological Review* 31:173-174.
- Norval, G. 2007. A report on male *Anolis sagrei* saurophagy in Chiayi County, Taiwan. *Herpetological Bulletin* 102: 34-37.
- Norval, G., W.F. Hsiao, S.C. Huang & C.K. Chen. 2010. The diet of an introduced lizard species, the brown anole (*Anolis sagrei*), in Chiayi County, Taiwan. *Russian Journal of Herpetology* 17:131-138.
- Pianka, E.R. 1973. The structure of lizard communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4:53-74.
- Pringle, R.M., T.R. Kartzinell, T.M. Palmer, T.J. Thurman, K. Fox-Dobbs, C.C.Y. Xu, M.C. Hutchinson, T.C. Coverdale, J.H. Daskin, D.A. Evangelista, K.M. Gotanda, N.A. Man in 't Veld, J.E. Wegener, J.J. Kolbe, T.W. Schoener, D.A. Spiller, J.B. Losos & R.D.H. Barrett. 2019. Predator-induced collapse of niche structure and species coexistence. *Nature* 570:58-64.
- Savage, J.M. 2002. The Amphibians and Reptiles of Costa Rica. A Herpetofauna between Two Continents, between Two Seas. The University of Chicago Press. Chicago, Illinois, USA.
- Schoener T.W., J.J. Kolbe, M. Leal, J.B. Losos & D.A. Spiller. 2017. A multigenerational field experiment on eco-evolutionary dynamics of the influential lizard *Anolis sagrei*: a mid-term report. *Copeia* 105:543-549.
- Townsend, J.H., L.D. Wilson & J. Restrepo. 2007. Informe preliminar. Investigaciones sobre la herpetofauna en el Parque Nacional Montaña de Yoro y la Reserva Biológica Cerro Uyuca, Honduras. The University of Florida, Gainesville: Unpublished Report. USA.
- Tyler, M.J. 1961. On the diet and feedings habits of *Hemidactylus frenatus* (Duméril & Bibron) (Reptilia: Gekkonidae) at Rangoon Burma. *Transactions of the Royal Society of South Australia* 84:45-49.
- Williams, E.E. 1969. The ecology of colonization as seen in the zoogeography of anoline lizards on small islands. *The Quarterly Review of Biology* 44:345-389.
- Wilson, L.D. & J.R. McCranie. 1998. The biogeography of the herpetofauna of the subhumid forests of Middle America (Isthmus of Tehuantepec to northwestern Costa Rica). *Royal Ontario Museum, Life Sciences Contributions* 163:1-50.
- Wilson, L.D. & J.H. Townsend. 2006. The herpetofauna of the rainforests of Honduras. *Caribbean Journal of Science* 42:88-113.



BATRACHOCHYTRIUM DENDROBATIDIS OCCURRENCE IN DEAD AMPHIBIANS OF CENTRAL MEXICO: A REPORT OF *AMBYSTOMA ALTAMIRANI* AND *LITHOBATES MONTEZUMAE*

PRESENCIA DE *BATRACHOCHYTRIUM DENDROBATIDIS* EN ANFIBIOS MUERTOS DEL CENTRO DE MÉXICO: UN INFORME DE *AMBYSTOMA ALTAMIRANI* Y *LITHOBATES MONTEZUMAE*

M. DELIA BASANTA^{1,2}, OMAR BETANCOURT-LEÓN³, OSCAR L. CHÁVEZ⁴, ARMANDO PÉREZ-TORRES³, ERIA A. REBOLLAR⁵, EMANUEL MARTÍNEZ-UGALDE⁵, VÍCTOR D. ÁVILA-AKERBERG⁶, TANYA M. GONZÁLEZ MARTÍNEZ^{6,7,8}, MONTSERRAT VÁZQUEZ TREJO⁸ AND GABRIELA PARRA-OLEA^{1*}

¹Departamento de Zoología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, AP 70-153, Ciudad Universitaria, Ciudad de México 04510, México.

²Posgrado en Ciencias Biológicas, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México.

³Departamento de Biología Celular y Tisular, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Ciudad de México 04510, México.

⁴Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Tlanepantla, Estado de México 54090, México.

⁵Centro de Ciencias Genómicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Cuernavaca, Morelos 62210, México.

⁶Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México, México.

⁷Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México, México.

⁸Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Ciudad de México 04510, México.

Correspondence: gparra@ib.unam.mx

Received: 2020-11-06. Accepted: 2021-02-03.

Resumen.— La quitridiomycosis, causada por los hongos *Batrachochytrium dendrobatidis* (*Bd*) y *B. salamandrivorans* (*Bsal*), es una enfermedad infecciosa relacionada con la muerte masiva de anfibios en todo el mundo. En este estudio, se analizaron cuatro individuos muertos y moribundos de *Ambystoma altamirani* y *Lithobates montezumae* para detectar la presencia de *Bd* y *Bsal*. Mediante el uso de PCR en tiempo real (qPCR) e histopatología, se detectó la presencia de *Bd* y la ausencia de *Bsal* en todos los individuos analizados. Estos resultados indican que la quitridiomycosis puede representar una amenaza para estas especies, y sugieren la urgencia de realizar futuros estudios que evalúen la infección por *Bd* en las poblaciones de *A. altamirani* y *L. montezumae*.

Palabras clave.— Quitridiomycosis, anfibios, declives, enfermedades infecciosas.

Abstract.— Chytridiomycosis, caused by the fungus *Batrachochytrium dendrobatidis* (*Bd*) and *B. salamandrivorans* (*Bsal*), is an infectious disease of amphibians linked to mass amphibian die-offs worldwide. In this study, we sampled four dead and dying individuals of *Ambystoma altamirani* and *Lithobates montezumae* to detect the presence of *Bd* and *Bsal*. By real-time PCR (qPCR) and histopathology methods, we found the presence of *Bd* and the absence of *Bsal* in all individuals sampled. Our study indicates that chytridiomycosis may act as a threat for these species and highlight that future surveys are urgently needed to evaluate the *Bd* infection on populations of *A. altamirani* and *L. montezumae*.

Keywords.— Chytridiomycosis, amphibians, declines, infectious disease.

Chytridiomycosis is cataloged as the worst infectious disease in vertebrates due to the great extent of affected species and the mass amphibian die-offs caused worldwide over the last century (Gascon et al., 2007). The disease is caused by two fungal pathogens, *Batrachochytrium dendrobatidis* (*Bd*) and *B.*

salamandrivorans (*Bsal*). Chytridiomycosis causes hyperkeratosis and hyperplasia, which can cause death and even catastrophic declines in susceptible species' populations (Voyles et al., 2009; Martel et al., 2013). In Mexico, *Bd* has been found in 83 amphibian species (Basanta et al., 2019; Bolom-Huet et al.,

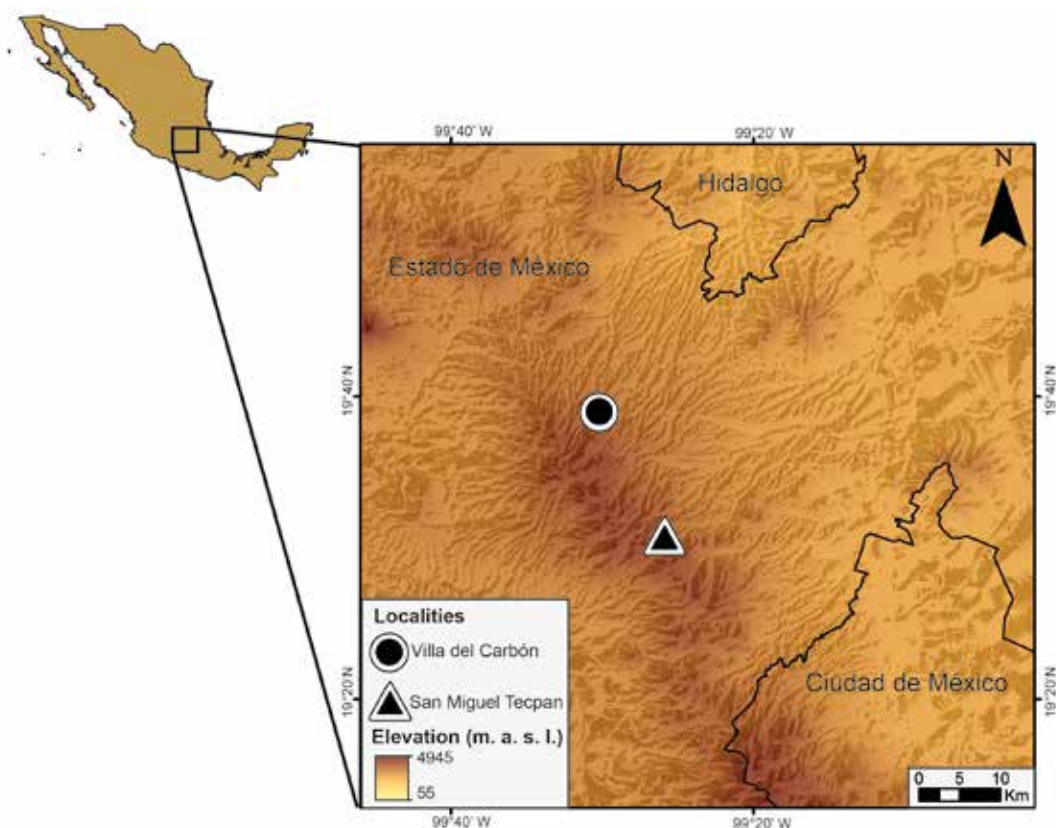


Figura 1. Mapa de las localidades Villa del Carbón y San Miguel Tecpan donde fueron encontrados los individuos moribundos o muertos de *A. altamirani* y *L. montezumae* infectados por *Bd*.
Figure 1. Map of the localities Villa del Carbón and San Miguel Tecpan where individuals of *A. altamirani* and *L. montezumae* were found moribund or dead, and infected by *Bd*.

2019; Hernández-Martínez et al., 2019), while the *Bsal* has not been detected yet in the country (Olivares-Miranda et al., 2020; Waddle et al., 2020).

Between January-July 2019 (winter and summer seasons) we found two dead and one dying individuals of *Ambystoma altamirani*, and one dead individual of *Lithobates montezumae* in the municipalities of Villa del Carbón, and Jilotzingo (at San Miguel Tecpan locality), Estado de México, all located in the northern part of Sierra de las Cruces in Central Mexico (Fig. 1). All specimens were found without obvious external causes of death or damage (e.g., predation or injury), and the dying individual showed chytridiomycosis signs such as lack of reflexes, stiffness, and extreme skin shedding (Fig. 2). The specimens of *A. altamirani* (N = 3) and *L. montezumae* (N = 1) were swabbed with a synthetic cotton swab following the protocol by Hyatt et al. (2007). All the individuals were fixed and stored in neutral 10% formalin. In the laboratory, DNA extraction from swab samples was performed using Prepman or Qiagen Blood and Tissue Kit

DNA extraction (Table 1). Then, samples were assayed using real-time TaqMan PCR assays according to Boyle et al. (2004) and Martel et al. (2013) to detect *Bd* and *Bsal* presence, respectively. Each sample was run in duplicate with a negative control (5 µL sterile water) and four standards of DNA Gblocks (1, 100, 1000, and 10000 genome equivalents, GE) for separate assays of *Bd* and *Bsal*.

Multiple skin samples from fixed individuals were obtained for histological examination according to Berger et al. (1999). Briefly, skin samples were dehydrated in ethanol of increasing gradation, from 40% to 100%, clearing with xylene, and embedded in paraffin using a Tissue Embedding Center-Tissue-Tek®. Microtomy with disposable blades was carried out in a microtome Leica RM2125RT to obtain 4-6 µm thick sections which were stained with hematoxylin and eosin (Berger et al., 1999) or Schiff periodic acid histochemistry (PAS) and analyzed with an Olympus BX50 microscope equipped with a Lumenera digital camera and Infinity Analyze 6.3.0 software. The search

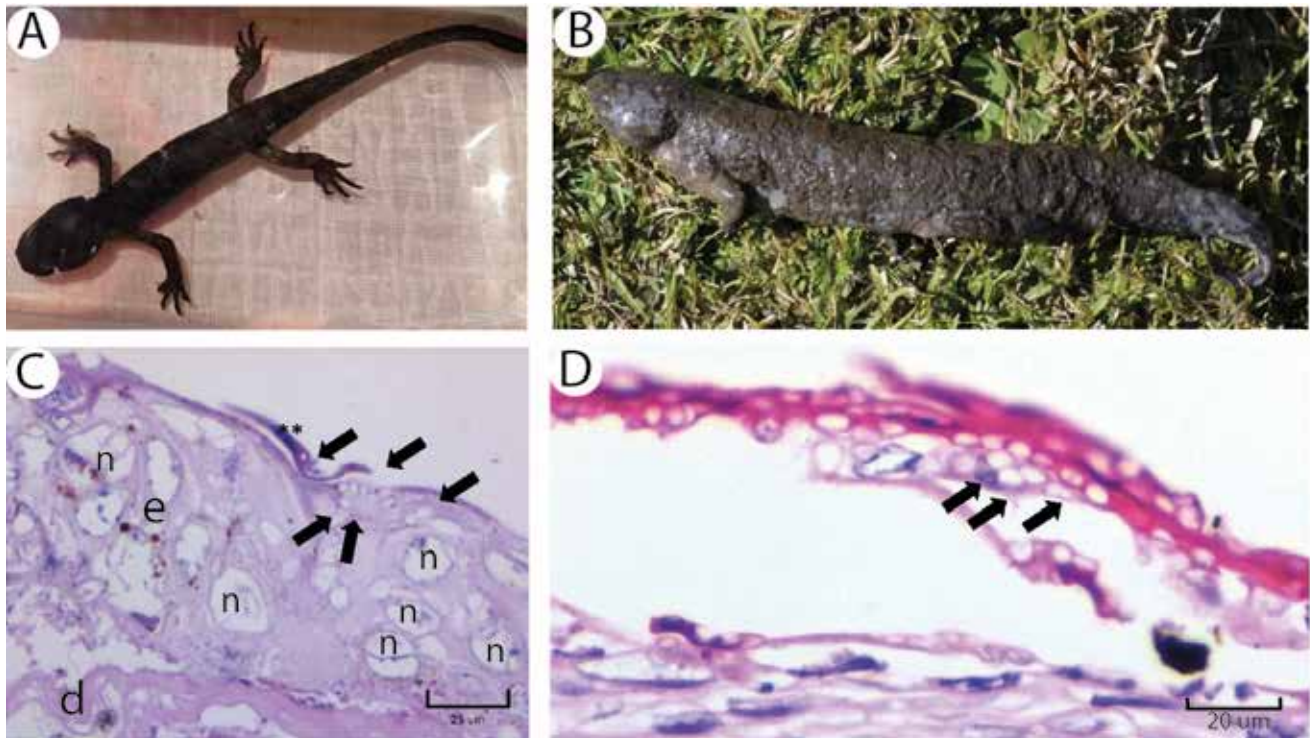


Figura 2. Individuos de *Ambystoma altamirani* infectados por *Bd*. A) individuo moribundo con desprendimiento de piel extremo, B) individuo muerto, C) piel con zoosporangios de *Bd*, D) fragmento de exfoliación epidérmica con zoosporangio incrustado. Dermis (d), epidermis (e), núcleo de una célula epitelial (n), zoosporangio (flechas), exfoliación epidérmica (**). Fotos de Eria A. Rebollar (A), Oscar L. Chávez (B), y microfotografías de Omar Betancourt y Armando Pérez-Torres (C-D).

Figure 2. Individuals of *Ambystoma altamirani* infected by *Bd*. A) dying individual with extreme skin shedding, B) dead individual, C) skin with *Bd* zoosporangia, D) fragment of epidermal exfoliation with an embedded zoosporangium. Dermis (d), epidermis (e), nucleus of an epithelial cell (n), zoosporangia (arrows), epidermal exfoliation (**). Photographs by Eria A. Rebollar (A), Oscar L. Chávez (B), and photomicrographs by Omar Betancourt and Armando Pérez-Torres (C-D).

for *Bd* zoosporangia was carried out at a total magnification of 400X. All specimens were deposited in the Colección Nacional de Anfibios y Reptiles, Instituto de Biología, UNAM (IBH).

The analyses of qPCR showed *Bd* presence and *Bsal* absence in all swab samples of *A. altamirani* and *L. montezumae* (Table 1). Dead individuals showed lower *Bd* infection loads than the dying individual (Table 1). Histopathology of skin showed evidence of fungal infection in all *A. altamirani* individuals. Spherical and ovoid zoosporangia, empty or containing zoospores, were identified in the superficial and partially detached keratinized cell layers of the epidermis (Fig. 2) with irregular thickening of the epidermis due to hyperplasia. The infected areas included zoosporangia ranging from 5 µm to 10 µm in diameter, mild to moderate hyperkeratosis, and areas of focal erosion adjacent to the infection. These observations agree with *Bd* infection as described by Berger et al. (1999). Skin histopathology of *L. montezumae* skin showed diffuse epidermal detachment related

to postmortem changes, so the search for fungal infection was not feasible.

Our finding constitutes the first record of *Bd* in dead or dying amphibians of Central Mexico. The presence of dead and moribund specimens on different occasions and seasons of the year of *A. altamirani* suggests that these species could be susceptible to *Bd* infection. The low *Bd* infection load found in dead individuals may have been due to DNA degradation as a cause of the deteriorating state of the specimen, while the high infection load found in the two dying individual suggests that *Bd* may be one of its causes of death. *Ambystoma altamirani* and *L. montezumae* are threatened and endemic species of Mexico. The axolotl *A. altamirani* has a restricted distribution in Central Mexico, considered “Endangered” by the IUCN (IUCN, 2020a) and identified as “Threatened” by the Mexican law (NOM-059; SEMARNAT 2015). Meanwhile, the frog *L. montezumae* has a wide distribution in Central Mexico and it is considered a species of “Least Concern” by the IUCN (IUCN, 2020b) and subject to

Tabla 1. Individuos analizados para la detección de *Bd* y *Bsal* y depositados en la Colección Nacional de Anfibios y Reptiles, Instituto de Biología, UNAM (IBH).

Table 1. Individuals sampled for *Bd* and *Bsal* detection and deposited in the Colección Nacional de Anfibios y Reptiles, Instituto de Biología, UNAM (IBH).

Species	Individual status	Collection date	Locality	Extraction method	Histological examination	Bd load GE	Bsal load GE	Voucher number
<i>Ambystoma altamirani</i>	Dead	January 2019	Villa del Carbón	Not evaluated	Presence of zoosporangia	Not evaluated	Not evaluated	IBH32583
<i>Ambystoma altamirani</i>	Dead	April 2019	Villa del Carbón	Prepman	Presence of zoosporangia	1.4	0	IBH32584
<i>Ambystoma altamirani</i>	Moribund	July 2019	San Miguel Tecpan	Qiagen	Presence of zoosporangia	337,927	0	IBH32585
<i>Lithobates montezumae</i>	Dead	January 2019	Villa del Carbón	Prepman	Not evaluated	329.4	0	IBH32582

“Special Protection” by Mexican law (NOM-059; SEMARNAT, 2015). The main threats to both species are habitat loss, pollution of the streams where these species are distributed, and the presence of invasive fish species (Lemos-Espinal et al., 1999). Our study indicates that chytridiomycosis is an additional threat for these native species from Central Mexico. Previous studies of *Bd* detection on wild *Ambystoma* and *Lithobates* species in Mexico have found medium to high *Bd* prevalence, but without any dead individuals or those with signs of the disease chytridiomycosis (Frías-Alvarez et al., 2008; García-Feria et al., 2017; Peralta-García et al., 2018; Basanta et al., 2019).

Based on our results, future surveys are urgently needed to evaluate the prevalence and infection intensity in populations of *A. altamirani* and *L. montezumae* across their respective distributions, so that proper conservation strategies can be implemented for these species.

Acknowledgments.- MDB thanks the Posgrado en Ciencias Biológicas program, Universidad Nacional Autónoma de México, and CONACyT for a scholarship grant (CVU/Becario: 509293/288791). We thank M. García-Castillo for constructive comments regarding the manuscript, Luis Zárate for the field assistance, and Omar Hernández-Ordóñez for the help provided.

This research was supported by grants from the Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT-UNAM) IN203617 to GPO and IA201419 to EAR. Collection permits were provided by the Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) SGPA/DGVS/003513/18, SGPA/DGVS/1496/19.

CITED LITERATURE

- Basanta, M.D., R.A. Calzada-Arciniega, G. Jiménez-Velázquez, S.F. Arias-Balderas, A.A. Ibarra-Reyes, G. Medina-Rangel, I. Suazo-Ortuño, L.M. Ochoa-Ochoa & G. Parra-Olea. 2019. Detection of *Batrachochytrium dendrobatidis* in threatened endemic mole salamanders (*Ambystoma*) in Mexico. *Herpetological Review* 50:493-495
- Berger, L., R. Speare & A. Kent. 1999. Diagnosis of chytridiomycosis in amphibians by histologic examination. *Zoos Print Journal* 15:184-190.
- Bolom-Huet, R., E. Pineda, F. Díaz-Fleischer, A.L. Muñoz-Alonso & J. Galindo-González. 2019. Known and estimated distribution in Mexico of *Batrachochytrium dendrobatidis*, a pathogenic fungus of amphibians. *Biotropica* 51:731-746.
- Boyle, D.G., D.B. Boyle, V. Olsen, J.A.T. Morgan & A.D. Hyatt. 2004. Rapid quantitative detection of chytridiomycosis (*Batrachochytrium dendrobatidis*) in amphibian samples using real-time Taqman PCR assay. *Diseases of Aquatic Organisms* 60:141-148.
- Frías-Alvarez, P., V.T. Vredenburg, M. Familiar-López, J.E. Longcore, E. González-Bernal, G. Santos-Barrera, L. Zambrano & G. Parra-Olea. 2008. Chytridiomycosis survey in wild and captive Mexican amphibians. *EcoHealth* 5:18-26.
- García-Feria, L.M., D.M. Brousset Hernández-Jauregui, D.V. Bravo & R.A. Cervantes Olivares. 2017. El comercio de anfibios

- y la presencia de *Batrachochytrium dendrobatidis* en vida libre: ¿dispersión en círculo vicioso?. *Neotropical Biology and Conservation* 12:30-36.
- Gascon, C., J.P. Collins, R.D. Moore, D.R. Church, J.E. McKay & J.R. Mendelson III. 2007. Amphibian conservation action plan. Gland (Switzerland): IUCN/SSC Amphibian Specialist Group.
- Hernández-Martínez, L.Á., U. Romero-Méndez, J.L. González-Barrios & A. Amézquita-Torres. 2019. Nuevos registros y prevalencia de *Batrachochytrium dendrobatidis* en anuros de la cuenca Nazas-Aguanaval en la región norte-centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 90:1-9.
- Hyatt, A.D., A.H.D. Boyle, V. Olsen, D.B. Boyle, L. Berger, D. Obendorf, A. Dalton, K. Kriger, M. Hero, H. Hines, R. Phillott, R. Campbell, G. Marantelli, F. Gleason & A. Colling. 2007. Diagnostic assays and sampling protocols for the detection of *Batrachochytrium dendrobatidis*. *Diseases of Aquatic Organisms* 73:175-192.
- IUCN SSC Amphibian Specialist Group. 2020a. *Ambystoma altamirani*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T59049A53973139. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T59049A53973139.en>. Accessed January 2021.
- IUCN SSC Amphibian Specialist Group. 2020b. *Lithobates montezumae*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T58671A53971117. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-2.RLTS.T58671A53971117.en>. Accessed November 2020.
- Lemos-Espinal, J.A., G.R. Smith, R.E. Ballinger & A. Ramirez-Bautista. 1999. Status of protected endemic salamanders (*Ambystoma*: Ambystomatidae: Caudata) in the Transvolcanic Belt of México. *Bulletin-British Herpetological Society* 68:1-4.
- Martel, A., A. Spitzen-van der Sluijs, M. Blooi, W. Bert, R. Ducatelle, M.C. Fisher, A. Woeltjes, W. Bosman, K. Chiers, F. Bossuyt & F. Pasmans. 2013. *Batrachochytrium salamandrivorans* sp. nov. causes lethal chytridiomycosis in amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110:15325-15329.
- Olivares-Miranda, M., V.T. Vredenburg, J.C. García-Sánchez, A.Q. Byrne, E.B. Rosenblum & S.M. Rovito. 2020. Fungal infection, decline and persistence in the only obligate troglodytic Neotropical salamander. *PeerJ* 8:e9763.
- Peralta-García, A., A.J. Adams, C.J. Briggs, P. Galina-Tessaro, J.H. Valdez-Villavicencio, B.D. Hollingsworth, H.B. Shaffer & R.N. Fisher. 2018. Occurrence of *Batrachochytrium dendrobatidis* in anurans of the Mediterranean region of Baja California, México. *Diseases of Aquatic Organisms* 127:193-200.
- SEMARNAT. 2015. Proyecto de modificación del Anexo Normativo III, Lista de Especies en Riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010: Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Electronic Database: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5420810&fecha=21/12/2015 Accessed October 2020.
- Shaffer, H.B., G. Parra-Olea, D. Wake & O. Flores-Villela. 2008. *Ambystoma altamirani*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e.T59049A11875320. Electronic database: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T59049A11875320.en>. Accessed October 2020.
- Voyles, J., S. Young, L. Berger, C. Campbell, W.F. Voyles, A. Dinudom, D. Cook, R. Webb, R. A. Alford, L.F. Skerratt & R. Speare. 2009. Pathogenesis of chytridiomycosis, a cause of catastrophic amphibian declines. *Science* 326:582-585.
- Waddle, J.H., D.A. Grear, B.A. Mosher, E.H.C. Grant, M.J. Adams, A.R. Backlin, W.J. Barichivich, A.B. Brand, G.M. Bucciarelli, D.L. Calhoun, T. Chestnut, J.M. Davenport, A.E. Dietrich, R.N. Fisher, B.M. Glorioso, B.J. Halstead, M.P. Hayes, R.K. Honeycutt, B.R. Hossak, P.M. Kleeman, J.A. Lemos-Espinal, J.M. Lorch, B. McCreary, E. Muths, C.A. Pearl, K.L. Richgels, C.W. Robinson, M.F. Roth, J.C. Rowe, W. Sadinski, B.H. Sigafus, I. Stasiak, S. Sweet, S.C. Walls, G.J. Watkins-Colwell, C.L. White, L.A. Williams & M.E. Winzeler. 2020. *Batrachochytrium salamandrivorans* (Bsal) not detected in an intensive survey of wild North American amphibians. *Scientific reports* 10:1-7.



OBSERVACIONES SOBRE EL CUIDADO PARENTAL DE *RHEOBATES PALMATUS* (ANURA: AROMOBATIDAE) EN VILLAVICENCIO, COLOMBIA

OBSERVATIONS ON PARENTAL CARE OF *RHEOBATES PALMATUS* (ANURA: AROMOBATIDAE) IN VILLAVICENCIO, COLOMBIA

BOBADILLA-MOLINA JUAN SEBASTIÁN^{1,2,*}, ACOSTA-ORTIZ JUAN MANUEL^{1,2} & MONTOYA-CRUZ ALEXANDRA^{1,2,3}

¹Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías, Programa de Biología, Universidad de los Llanos.

²Semillero de Investigación BioHerp, Universidad de los Llanos.

³Grupo de investigación de recursos hidrobiológicos y pesqueros GIREHPES.

Correspondence: : juanbobadilla.herp@gmail.com

Received: 2020-12-08. Accepted: 2021-03-29.

Abstract.— Parental care is a behavior that involves the care of the progeny by one or both parents, as a strategy to increase their probability of survival. An individual of *Rheobates palmatus* was recorded performing parental care, as well as defensive behavior in the presence of a possible threat. In addition, the range of tadpoles that males can carry on the back is widened.

Keywords.— Behavior, defense, larvae, survivorship.

Resumen.— El cuidado parental es un comportamiento que implica el cuidado de la progenie por parte de uno o ambos progenitores, como una estrategia para aumentar su probabilidad de supervivencia. Se registra un individuo de *Rheobates palmatus* realizando cuidado parental, así como el comportamiento defensivo ante la presencia de una posible amenaza. Además, se amplía el intervalo de larvas que los machos pueden transportar en el dorso.

Palabras clave.— Comportamiento, defensa, larvas, supervivencia.

Los anfibios son un grupo de vertebrados con una amplia diversidad de modos de reproducción y formas únicas de cuidado parental (Crump, 1996). El cuidado parental puede definirse como cualquier inversión en la descendencia después de la fertilización, que implica un costo energético para los padres, pero aumenta la supervivencia de las crías (Smith & Fretwell, 1974; McDiarmid, 1978). Las formas más comunes de cuidado parental incluyen la asistencia de huevos y larvas, en sitios fijos como madrigueras o nidos, o sitios móviles, donde son transportados por uno o ambos padres (McDiarmid, 1978; Wells, 2007; Santos & Amorim, 2006).

En la familia Aromobatidae se ha registrado la asistencia de huevos en nidos por machos, y el transporte de las larvas por machos, hembras o ambos, que puede incluir entre 1-37 renacuajos (Wells, 2007; Summers & Tumulty, 2014). *Rheobates palmatus* (Werner, 1899) es un aromobátido que presenta una amplia distribución en los Andes colombianos entre los 300 a 2400 m s.n.m. (Cortés-Suarez, 2014). Puede encontrarse en diferentes tipos de hábitats como bosques lluviosos y de niebla, así como en áreas con perturbación antrópica como pastos y



Figure 1. Lateral view of *Rheobates palmatus* male with the larvae on the dorsum. Foto: Alexandra Montoya-Cruz.

Figura 1. Vista lateral de *Rheobates palmatus* macho con las larvas en el dorso. Foto: Alexandra Montoya-Cruz.

cultivos (Lüddecke, 2003; Cortés-Suarez, 2014). Esta especie emplea estructuras como madrigueras formadas por plantas,



Figure 2. Dorsal view of *Rheobates palmatus* male with the larvae on the dorsum. Photo: Alexandra Montoya-Cruz.

Figura 2. Vista dorsal de *Rheobates palmatus* macho con las larvas en el dorso. Foto: Alexandra Montoya-Cruz.

suelo, roca e incluso tuberías de agua para refugio y desove (Lüddecke, 2003).

El dos de diciembre de 2020 a las 20:32 horas (GMT-5), en la Reserva Forestal Vanguardia (4.1825167° N, 73.625994° W; 608 m s.n.m.) en el municipio de Villavicencio, Meta, Colombia, fueron encontrados cinco individuos de *Rheobates palmatus* en el borde rocoso de una quebrada. Entre los individuos, se observó un macho con 20 larvas en el dorso (Fig. 1), que ante la proximidad de los observadores se sumergió rápidamente y se desplazó al otro borde de la quebrada, donde se escondió entre las rocas. Al acercarse al individuo para realizar el registro fotográfico, este



Figure 3. Microhabitat of *Rheobates palmatus* in the Vanguardia Forest Reserve, Villavicencio (Meta-Colombia). Photo: Alexandra Montoya-Cruz.

Figura 3. Microhábitat de *Rheobates palmatus* en la Reserva Forestal Vanguardia, Villavicencio (Meta-Colombia). Foto: Alexandra Montoya-Cruz.

arremetió agresivamente contra el observador dando empujones con el cuerpo. Este tipo de comportamiento se ha registrado entre machos durante las vocalizaciones de cortejo, los cuales al dar saltos se agreden mediante empujones (Lüddecke, 1976), sin embargo, esta es la primera vez que se reporta como cuidado parental.

Así mismo, se ha reportado que el cuidado parental exhibido por el macho de esta especie, comienza luego de la oviposición, donde cuida los huevos mientras la hembra defiende el territorio (Lüddecke, 1976, 1999). Además, luego de la eclosión, el macho transporta entre 25 a 30 larvas en el dorso (Lüddecke, 1976, 1999), por lo que el presente registro, amplía el intervalo de larvas transportadas por el macho.

CITED LITERATURE

- Cortés-Suárez, J.E. 2014. Microhabitat use of *Rheobates palmatus* (Werner 1899) (Anura: Aromobatidae) in a Riverside ecosystem of Villa de Leyva, Colombia. *Herpetotropicos* 10:5-7.
- Crump, M.L. 1996. Parental care among the Amphibia. *Advances in the study of Behavior* 25:109-144.
- Lüddecke, H. 1976. Einige Ergebnisse aus Feldbeobachtungen an *Phylllobates palmatus* (Amphibia, Ranidae) in Kolumbien. *Mitteilungen aus dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas Punta de Betín* 8:157-63.
- Lüddecke, H. 1999. Behavioral aspects of the reproductive biology of the Andean frog *Colostethus palmatus* (Amphibia: Dendrobatidae). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 23 (Suplemento especial):303-16.
- Lüddecke, H. 2003. Space use, cave choice, and spatial learning in the dendrobatid frog *Colostethus palmatus*. *Amphibia-Reptilia* 24:37-46.
- McDiarmid, R.W. 1978. Evolution of parental care in frogs. Pp. 127-147. En: G.M. Burghardt & M. Beckoff (Eds.), *The development of behavior: Comparative and evolutionary aspects*. Garland, New York, USA.
- Santos, E.M. & F.O. Amorim. 2006. Cuidado parental em *Leptodactylus natalensis* (Amphibia, Anura, Leptodactylidae). *Iheringia, Série Zoologia* 96:491-494
- Smith, C.C. & S.D. Fretwell. 1974. The optimal balance between size and number of offspring. *The American Naturalist* 108:499-506.

- Summers, K. & J. Tumulty. 2014. Parental care, sexual selection and mating systems in neotropical poison frogs. Pp. 289-320. En: R.H. Macedo, & G. Machado (Eds.), Sexual Selection. Perspectives and models from the Neotropics. Academic Press, Elsevier, Oxford, United Kingdom.
- Wells, K.D. 2007. The ecology and behavior of amphibians. University of Chicago Press, Chicago, USA.



PREDATION ON A BRAZILIAN PYGMY GECKO, *CHATOGEKKO AMAZONICUS* (SQUAMATA, SPHAERODACTYLIDAE), BY A WOLF-SPIDER, *LYCOSA* SP. (ARANEAE, LYCOSIDAE)

PREDACÃO DE UM GECONÍDEO PIGMEU BRASILEIRO, *CHATOGEKKO AMAZONICUS* (SQUAMATA, SPHAERODACTYLIDAE), POR UMA ARANHA-LOBO, *LYCOSA* SP. (ARANEAE, LYCOSIDAE)

VINÍCIUS A. M. B. DE FIGUEIREDO^{1,*}, KURAZO M. OKADA AGUIAR², RODRIGO TAVARES-PINHEIRO¹, ABDIEL P. FREITAS¹ & CARLOS EDUARDO COSTA-CAMPOS¹

¹Laboratório de Herpetologia, Departamento de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal do Amapá, Campus Marco zero do Equador, 68903-419, Macapá, Amapá, Brazil.

²Amapá BIRDING.

Correspondence: : viniciusantonio31@gmail.com

Received: 2020-12-06. Accepted: 2020-12-06.

Resumo.— Descrevemos um evento de predação de *Chatogekko amazonicus* (Sphaerodactylidae) pela aranha-lobo *Lycosa* sp. (Lycosidae), observado em uma floresta amazônica no estado de Rondônia, norte do Brasil.

Palavras chave.— Predação, lagartixa, aranha-lobo, Brasil.

Abstract.— We describe a predation event on *Chatogekko amazonicus* (Sphaerodactylidae) by the wolf-spider *Lycosa* sp. (Lycosidae), observed in an Amazonian rainforest in the state of Rondônia, northern Brazil.

Keywords.— Predation, gecko, wolf-spider, Brazil.

The predation of vertebrates by spiders is widely documented, both on the webs or directly on the ground (Oliveira et al., 2017; Reyes-Olivares et al., 2020), and the most commonly group reported in the literature is anurans, followed by lizards (Nyffeler & Altig, 2020; Valdez, 2020). The wolf-spiders of the genus *Lycosa* are semi-fossorial, opportunistic predators that dig or use empty holes to hide and wait for prey (Zyuzin, 1990). Reports of these spider preying on lizards have previously been reported (Cabrera-Guzmán & Reynoso, 2007; Bocchiglieri & Mendonça, 2010; Maffei et al., 2010; Koski et al., 2013; Bressan et al., 2017; Galdeano et al., 2017).

The Brazilian pygmy gecko, *Chatogekko amazonicus* (Andersson, 1918), is a very small lizard species (males 22 mm, females 24 mm SVL) belonging to the family Sphaerodactylidae, which comprises the smallest lizards in Brazil (Gonçalves et al., 2012). The species is distributed in northern Brazil (Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondonia, Roraima), southern Venezuela, Guyana, French Guiana and Surinam, and can be found in the leaf litter of rainforests (Ribeiro Júnior, 2015). Here we report on

an observation of an individual of *C. amazonicus* being preyed upon by a wolf-spider, *Lycosa* sp.

The predation event was observed at the municipality of Cacoal (11°25'27"S; 61°33'46"W), state of Rondônia, northern Brazil, on 17 March 2020 at 9h18min. We found an adult *Lycosa* sp. feeding on an adult *C. amazonicus* in leaf litter, holding the lizard's back with its chelicerae (Fig. 1). The observation lasted about 3 minutes and the lizard remained immobile. Neither the lizard nor the spider was collected.

To our knowledge, this is the first record of predation in *Chatogekko amazonicus* by a wolf-spider, *Lycosa* sp. Predation events such as this may reflect the generalist and opportunistic feeding habits of *Lycosa* spp., as suggested by other studies. Regarding predation of sphaerodactylid lizards by spiders, there are records only of spiders of the family Ctenidae feeding on *C. amazonicus* at the Amazon Forest (Hernández-Ruz et al., 2014) and on *Coleodactylus meridionalis* at the Atlantic Forest (Almeida et al., 2015; Oliveira et al., 2017). The present record contributes to our understanding of the natural history of lizards and spiders.



Figura 1. *Chatogekko amazonicus* adulto sendo atacado por uma aranha, *Lycosa* sp., Em uma floresta no município de Cacoal, estado de Rondônia, norte do Brasil. Foto: Kurazo M. Okada Aguiar

Figure 1. An adult *Chatogekko amazonicus* being preyed upon by a spider, *Lycosa* sp., in a forest in the municipality of Cacoal, state of Rondônia, northern Brazil. Photo: Kurazo M. Okada Aguiar.

CITED LITERATURE

- Abegg, A.D., C.M. Rosa & L.M. Borges. 2014. Predation of *Dendropsophus minutus* (Anura: Hylidae) by *Aglaotenus oblongus* (Araneae: Lycosidae). *Herpetology Notes* 7:605-606.
- Almeida, S.C., Y.F. Messas & P.J.P. Cicchi. 2010. Predation on newly metamorphosed toad *Rhinella ornata* (Anura: Bufonidae) by the spider, *Lycosa erythronatha* (Araneae: Lycosidae). *Herpetology Notes* 3:173-174.
- Almeida, R.P.S., I.R. Rosário & E.J.R. Dias. 2015. *Coleodactylus meridionalis*. Predation. *Herpetological Review* 46:432-433.
- Assis, R.A., R.E. Borges, M.B. Souza, J.F. Barros & L.R.S. Santos. 2018. Registro de predação de *Pseudopaludicola saltica* (Anura: Leptodactylidae) por aranha-lobo (Araneae: Lycosidae). *Oecologia Australis* 22:291-295.
- Aucone, B. & W. Card. 2002. *Scinax cruentomma* (NCN). Predation. *Herpetological Review* 33:48.
- Bocchiglieri, A. & A.F. Mendonça. 2010. *Tropidurus oreadicus* (Neotropical Ground Lizard). *Herpetological Review* 41:231.
- Bressan, R.F., N.R. Matias, L.F. Lang, L. Verrastro & R.C. Francisco. 2017. *Cercosaura schreibersii* (Schreibers' Many-fingered Teiid). Predation. *Herpetological Review* 48:187-188.
- Cabrera-Guzmán, E. & V.H. Reynoso. 2007. *Lepidophyma tuxtlae* (Tuxtla Tropical Night Lizard). Predation. *Herpetological Review* 38:458.
- Galdeano, A.P., R. Gómez-Alés, J.C. Acosta & G. Blanco. 2017. *Aurivela longicauda* (Long-tailed Whiptail). Predation. *Herpetological Review* 48:844-845.
- Gonçalves, U., S. Torquato, G. Skuk & G.A. Sena. 2012. A new species of *Coleodactylus* Parker, 1926 (Squamata: Sphaerodactylidae) from the Atlantic Forest of northeast Brazil. *Zootaxa* 3204:20-30.
- Hernández-Ruz, E.J., J.C. Carvalho, E.A. & Oliveira. 2014. *Chatogekko amazonicus*. Predation. *Herpetological Review* 45:126.

- Koski, D.A., A.P.V. Koski, L. Merçon & Y.F. Messas. 2013. *Hemidactylus mabouia* (Tropical House Gecko). Predation. Herpetological Review 44:509.
- Maffei, F., F.K. Ubaid & J. Jim. 2010. Predation of herps by spiders (Araneae) in the Brazilian Cerrado. Herpetology Notes 3:167-170.
- McCormick, S. & G.A. Polis. 1982. Invertebrates that preys on vertebrates. Biological Review of Cambridge Philosophical Society 57:29-58.
- Nyffeler, M. & R. Altig. 2020. Spiders as frog-eaters: A global perspective. The Journal of Arachnology 48:26-42.
- Oliveira, C.N., G.G. Brabosa, I.H.M. Pinto Campos, M.C. Guarnieri & S.C. Ribeiro. 2017. Predation on *Coleodactylus meridionalis* (Squamata: Sphaerodactylidae) by *Ctenus rectipes* (Araneae: Ctenidae) in the Atlantic Forest, northeastern, Brazil Herpetology Notes 10:221-223.
- Owen, R.D. & S.A. Johnson. 1997. *Pseudacris ocularis* (Little Grass Frog). Predation. Herpetological Review 28:200.
- Raven, R.J. 1990. Spider predators of reptiles and amphibia. Memoirs of the Queensland Museum 29: 448.
- Reyes-Olivares, C., A. Guajardo-Santibáñez, B. Segura, N. Zañartu, M. Penna & A. Labra. 2020. Lizard predation by spiders: A review from the Neotropical and Andean regions. Ecology and Evolution 10:10953-10964.
- Ribeiro Junior, M.A. 2015. Catalogue of distribution of lizards (Reptilia: Squamata) from the Brazilian Amazonia. II. Gekkonidae, Phyllodactylidae, Sphaerodactylidae. Zootaxa 3981:1-55.
- Valdez, J.W. 2020. Arthropods as vertebrate predators: A review of global patterns. Global Ecology and Biogeography 29:1-13.
- Zyuzin, A.A. 1990. Studies on burrowing spiders of the family Lycosidae (Araneae). I. Preliminary data on structural and functional features. Acta Zoologica Fennica 190:419-422.



PRIMER REGISTRO DE LA SERPIENTE *THAMNOPHIS EQUES* (REUSS, 1834) EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA BARRANCA DE METZTITLÁN, HIDALGO, MÉXICO

FIRST RECORD OF THE SERPENT *THAMNOPHIS EQUES* (REUSS, 1834) IN THE BIOSPHERE RESERVE BARRANCA DE METZTITLÁN, HIDALGO, MEXICO

LEONARDO FERNÁNDEZ-BADILLO^{1, 2*}, NALLELY MORALES-CAPELLÁN², JOSÉ MIGUEL YÁÑEZ-LECHUGA³ & GUILLERMO SÁNCHEZ-MARTÍNEZ^{2, 4}

¹Centro de Investigaciones Biológicas (CIB), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad del conocimiento, km 4.5 carretera Pachuca-Tulancingo, Col. Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, 42181, México.

²Predio Intensivo de Manejo de Vida Silvestre X-Plora Reptilia, carretera México-Tampico s/n, Pilas y granadas, Metztitlán, Hidalgo, 43350, México.

³Parador turístico Peña del Aire, Cerro del Tezontle, Huasca de Ocampo, Hidalgo, 43516, México.

⁴Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre Santana, carretera México-Tampico s/n, Pilas y granadas, Metztitlán, Hidalgo, 43350, México.

Correspondence: : fernandezbadillo80@gmail.com

Received: 2020-07-31. Accepted: 2021-02-01.

Abstract.— Until now only three species of the genus *Thamnophis* have been recorded in the Barranca de Metztitlan Biosphere Reserve, Hidalgo, but thanks to the monitoring work carried out by the Communitarian Squad of Snake Rescue and Conservation of this natural protected area, *T. eques* was register for the first time.

Keywords.— First record, conservation, snakes, monitoring.

Resumen.— Hasta la fecha se habían registrado únicamente tres especies del género *Thamnophis* en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, pero gracias al trabajo de monitoreo que realiza la Brigada Comunitaria de Rescate y Conservación de las Serpientes de esta área natural protegida, fue posible registrar por primera vez la presencia de *T. eques*.

Palabras clave.— Primer registro, conservación, serpientes, monitoreo.

El buen funcionamiento de un área natural protegida (ANP), se debe en parte, al conocimiento que se tenga sobre su diversidad biológica (Ortiz-Pulido et al., 2010), por lo que es muy importante que los inventarios dentro de las ANP estén lo más completos y actualizados posible para así desarrollar acciones de conservación que involucren a todas las especies (Dirzo y Raven, 1994). Particularmente, la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (RBBM), ubicada en el estado de Hidalgo, es el ANP más grande de la entidad (CONANP, 2003) y el trabajo más actualizado acerca de su herpetofauna enlista un total de 69 especies, de la cuales 33 son serpientes, y tres de ellas pertenecen al género *Thamnophis*, *T. cyrtopsis*, *T. proximus* y *T. pulchrilatus* (Valdez-Rentería et al., 2018). A partir de trabajo de monitoreo y conservación que realiza la Brigada de Rescate y Conservación de Serpientes de la Barranca de Metztitlán, conformada en septiembre de 2019, José Miguel Lechuga fotografió un ejemplar adulto de la serpiente *Thamnophis eques*, el día 28 de abril de 2020, en la localidad Peña del aire, municipio de Huasca de Ocampo

(20.273955° N, 98.511426° O, 2055m s.n.m., elevación; Fig. 1), la serpiente fue encontrada en una zona de matorral xerófilo, a las orillas de una pequeña represa en la que se observaron otros 20 individuos de la especie. La fotografía del ejemplar se depositó en la colección herpetológica del Museo de Zoología de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad (MZFZ-IMG 279). Con la información anterior, la riqueza herpetofaunística registrada para la RBBM por Valdez-Rentería et al. (2018) incrementa en una especie, quedando un total de 70 especies, de la cuales 34 corresponden a serpientes.

El registro más cercano se ubica a 9.1 km al suroeste de la localidad aquí registrada (Fig. 1), en la localidad de San Miguel Regla, municipio de Huasca de Ocampo (Lemos-Espinal y Dixon, 2016). El ejemplar fotografiado fue identificado por NMC y LFB, y coincide con las características descritas para la especie (ver Rossman et al., 1996). La identificación fue corroborada por Peter Heimes.

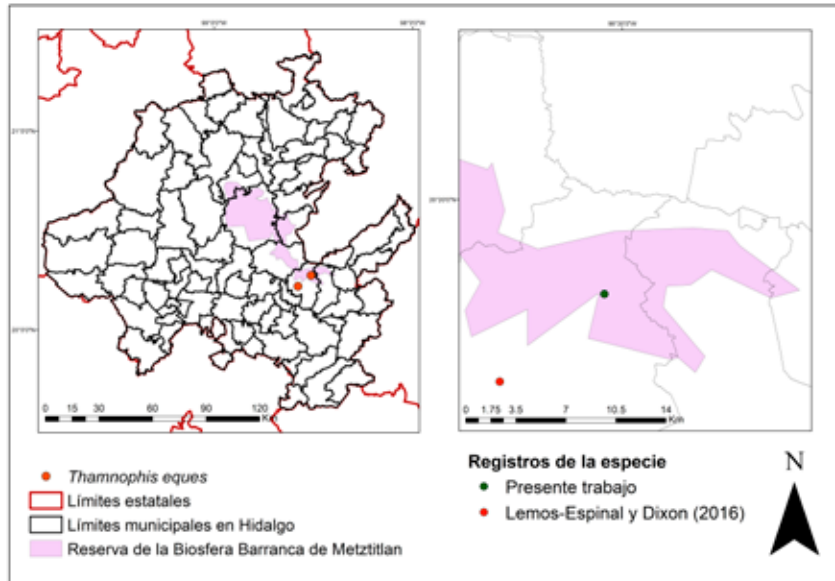


Figure 1. Map that shows the record site of *Thamnophis eques* in the Barranca de Metztlitlán Biosphere Reserve, and the closest known record.

Figura 1. Mapa que muestra el sitio de registro de *Thamnophis eques* en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlitlán, Hidalgo y el registro más cercano conocido.

Agradecimientos.— Al proyecto PROCODES 2019 para la impartición del curso de capacitación para conformar la Brigada de Rescate y Conservación de las Serpientes de la Barranca de Metztlitlán (Acta 3902), al personal de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlitlán y a todos los miembros de la brigada. A la SEMARNAT por la autorización brindada para la recolecta y manejo de los ejemplares, oficio no. SGPA/DGVS/8802/19. A CONACyT por la beca otorgada a LFB (número de becario 371195).

Lemos-Espinal, J.A. & J.R. Dixon. 2016. Anfibios y reptiles de Hidalgo, México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. CDMX, México.

Ortiz-Pulido, R., J. Bravo-Cadena, V. Martínez-García, D. Reyes, M.E. Mendiola-González, M. Sánchez & M. Sánchez. 2010. Avifauna de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlitlán, Hidalgo, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 81:373-391.

Rossman, D.A., N.B. Ford & R.A. Seigel. 1996. The garter snakes. Evolution and Ecology. University of Oklahoma Press. Norman and London, USA.

LITERATURA CITADA

Dirzo, R. & P.H. Raven. 1994. Un inventario biológico para México. Botánica 55:29-34

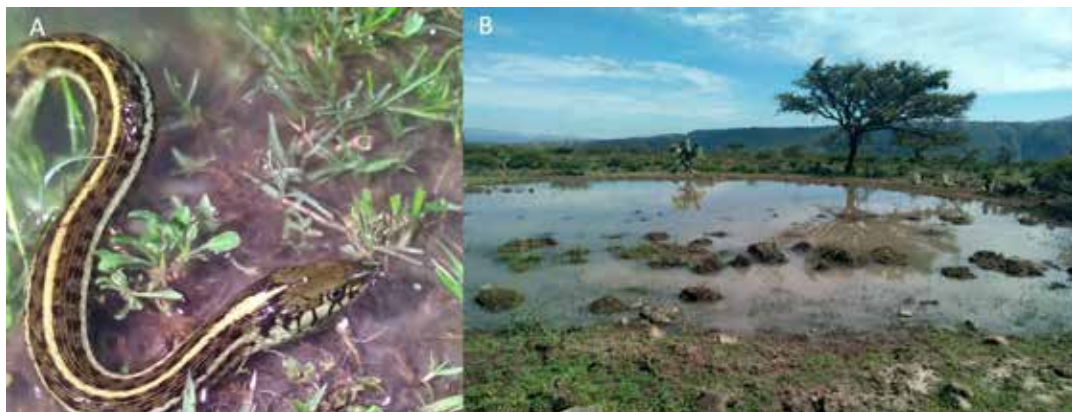


Figure 2. Photograph of the specimen of *Thamnophis eques* and habitat in the county of Huasca de Ocampo, within the Barranca de Metztlitlán Biosphere Reserve, Hidalgo. A) Specimen (MZFG-IMG 279), B) Habitat. Photographs: José Miguel Lechuga.

Figura 2. Fotografía del ejemplar de *Thamnophis eques* y su hábitat en el municipio de Huasca de Ocampo, dentro de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlitlán, Hidalgo. A) Ejemplar (MZFG-IMG 279), B) Hábitat. Fotografías: José Miguel Lechuga.



CONFIRMACIÓN DE LA PRESENCIA DE LA LAGARTIJA *COLEONYX ELEGANS* (SQUAMATA: EUBLEPHARIDAE) EN HIDALGO, MÉXICO

PRESENCE CONFIRMATION OF *COLEONYX ELEGANS* (SQUAMATA: EUBLEPHARIDAE) IN HIDALGO, MÉXICO

LEONARDO FERNÁNDEZ-BADILLO^{1,2*}, RAÚL VALENCIA-HERVERTH³, URI OMAR GARCÍA-VÁZQUEZ⁴, CLAUDIO MENDOZA-PAZ³, GERARDO HERNÁNDEZ ORTA^{3,5}, JORGE VALENCIA-HERVERTH^{2,6} & CRISTIAN SAID BERRIOZABAL-ISLAS⁷

¹Centro de Investigaciones Biológicas (CIB), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad del conocimiento, km 4.5 carretera Pachuca-Tulancingo, Col. Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, 42181, México.

²Predio Intensivo de Manejo de Vida Silvestre X-Plora Reptilia, carretera México-Tampico s/n, Pilas y granadas, Metztlán, Hidalgo, 43350, México.

³Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Huejutla, km 5.5 carretera Huejutla-Chalahuiyapa, s/n, Huejutla de Reyes, Hidalgo, 43000, México.

⁴Laboratorio de Sistemática Molecular, Unidad Multidisciplinaria de Investigación Experimental, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, Batalla 5 de Mayo, s/n, Col. Ejército de Oriente, Ciudad de México, 09230, México.

⁵Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de Hidalgo, calle Principal, núm. 4, Col. Todos por Hidalgo, Huejutla de Reyes, Hidalgo, México.

⁶Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Huejutla, Extensión Molango, Av. Corregidora, s/n, Barrio Santa Cruz Primera Sección, Molango de Escamilla, Hidalgo, 43100, México.

⁷Programa Educativo de Ingeniería en Biotecnología. Universidad Politécnica de Quintana Roo. Av. Arco Bicentenario, M 11, Lote 1119-33, Sm 255, Cancún, Quintana Roo, 77500, México.

Correspondence: : fernandezbadillo80@gmail.com

Received: 2020-08-26. Accepted: 2021-01-15.

Abstract.— The presence of the lizard *Coleonyx elegans* was mentioned for Hidalgo in a recent study on the herpetofauna of this state. However, that work does not present any information to confirm its presence in the state. Here we present the first records with a precise locality for the state, that were deposited in the herpetological collection of the Facultad de Estudios Superiores Zaragoza of the Universidad Nacional Autónoma de México. The specimens were found in anthropized environments in the north eastern zone of the state, within the biogeographic province of the Gulf Coastal Plain, in the municipalities of Jaltocán and Huejutla de Reyes.

Keywords.— Anthropized environments, distribution, Huasteca hidalguense, first records.

Resumen.— La presencia de la lagartija *Coleonyx elegans* fue mencionada para Hidalgo en un trabajo reciente sobre la herpetofauna del estado. Sin embargo, dicho trabajo no presenta ninguna información que permita ratificar su presencia en el estado. En este trabajo presentamos los primeros registros con localidad precisa para el estado, los cuales fueron depositados en la colección herpetológica de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los ejemplares se encontraron en ambientes antropizados de la zona noreste del estado, dentro de la Provincia biogeográfica de la Llanura Costera del Golfo, en los municipios de Jaltocán y Huejutla de Reyes.

Palabras clave.— Ambientes antropizados, distribución, Huasteca hidalguense, primeros registros.

La lagartija *Coleonyx elegans* (Gray, 1845) se cataloga como una especie amenazada en México de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2019), y está ampliamente distribuida desde México hasta el norte de El Salvador (Canseco-Márquez & Gutiérrez-Mayén, 2010). En México habita en las vertientes del Atlántico y Pacífico, en los estados de Campeche, Colima,

Chiapas, Estado de México, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Tabasco, Veracruz y Yucatán (Monroy-Vilchis et al., 2014; Chávez-Lugo et al., 2015). Recientemente, Ramírez-Bautista et al. (2020) mencionaron su presencia para Hidalgo, sin aportar ninguna localidad de registro en el estado o algún ejemplar de

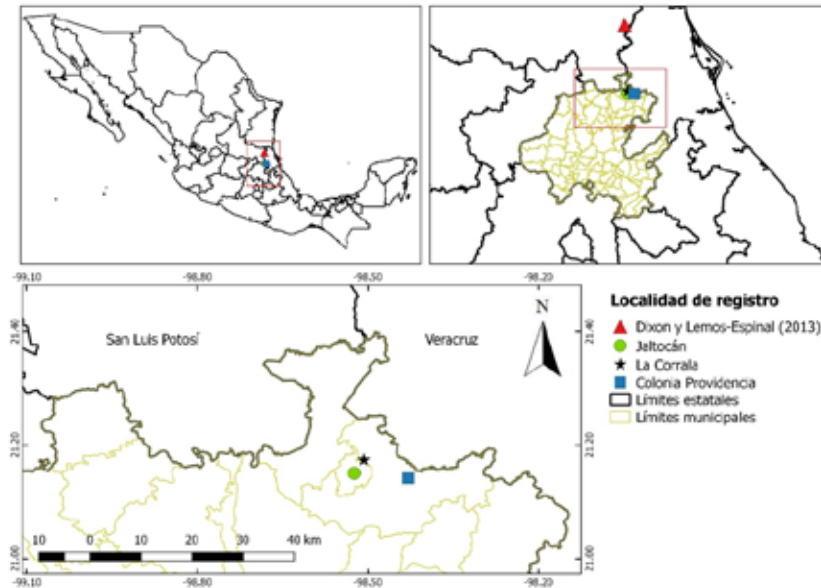


Figure 1. Known localities of *Coleonyx elegans* in the state of Hidalgo. / **Figural.** Localidades conocidas de *Coleonyx elegans* en el estado de Hidalgo.

referencia depositado en alguna colección científica que permita la confirmación de su distribución en la entidad. Si bien, el registro de *C. elegans* más cercano a Hidalgo se encuentra en San Luis Potosí, a 22 km al este de Tamuín (Dixon & Lemos-Espinal, 2013), y 77 km al norte del límite territorial entre San Luis Potosí e Hidalgo, a la fecha no existen registros precisos de su distribución dentro del estado. En el presente trabajo se aporta información adicional de *C. elegans* para Hidalgo, a partir de registros procedentes de la región Huasteca, los cuales representan las primeras localidades reportadas para esta especie.

A partir de trabajo de campo en el norte de Hidalgo, se recolectaron tres ejemplares de *C. elegans* que fueron depositados en la colección herpetológica de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la Universidad Nacional Autónoma de México (MZFZ). Un primer ejemplar (MZFZ 4366) se recolectó el 6 de junio de 2017 en la localidad de Jaltocán, municipio de Jaltocán (21.150694° N; 98.523667° W; WGS84; Figs. 1 y 2A) a 156 msnm. El ejemplar fue encontrado muerto con heridas externas, cerca de un pozo de agua, en las orillas de un campo de fútbol. Dos ejemplares adicionales fueron recolectados en el municipio de Huejutla de Reyes. El primero (MZFZ 4367) se recolectó el 12 de abril de 2017 a las 19:24 h, dentro de una casa particular ubicada en la localidad de Colonia Providencia (21.141761° N; 98.429024° W; WGS84; Figs. 1 y 2B), y un segundo ejemplar (MZFZ 4368) fue recolectado el 9 de octubre de 2019 en la localidad La Corrala (21.174054° N; 98.507298° W; WGS84; Figs. 1

y 2C), junto a una casa, escondido bajo tabiques de block. Ambos ejemplares se encontraron a una altitud de 160 m s.n.m. Todos los ejemplares se observaron en ambientes antropizados, cercanos a asentamientos humanos rodeados de zonas de cultivo, potreros y parches de vegetación nativa, la cual en la zona se compone de bosque tropical perennifolio y subperennifolio (Puig, 1991).

Los ejemplares encontrados coinciden con las características descritas para la especie (Gray, 1845; Canseco-Márquez & Gutiérrez-Mayén, 2010; Dixon & Lemos-Espinal, 2013), como la presencia de una marca blanca o crema en forma de “U”, cuya parte abierta apunta hacia el hocico. El cuerpo presenta cuatro bandas transversales de forma irregular, de color amarillo pálido o pardo claro, intercaladas con bandas blancas y en ocasiones bordeadas de negro; la cola también presenta el patrón bandeado. La especie presenta escamas granulares con numerosos tubérculos quillados esparcidos por el cuerpo, los dedos terminan en una uña cubierta por una vaina y posee párpados y ojos grandes con la pupila verticalmente elíptica.

Con estos registros se amplía la distribución de la especie entre 91.55 km y 95.84 km al sur de la localidad más cercana en Tamuín, San Luis Potosí (Dixon & Lemos-Espinal, 2013). Es relevante destacar que tanto los registros aquí presentados como los reportados por Dixon y Lemos-Espinal (2013) y Chávez-Lugo et al. (2015), no coinciden con el área de distribución potencial estimada por Monroy-Vilchis et al. (2014). Por lo tanto, los modelos de distribución potencial deben considerarse como

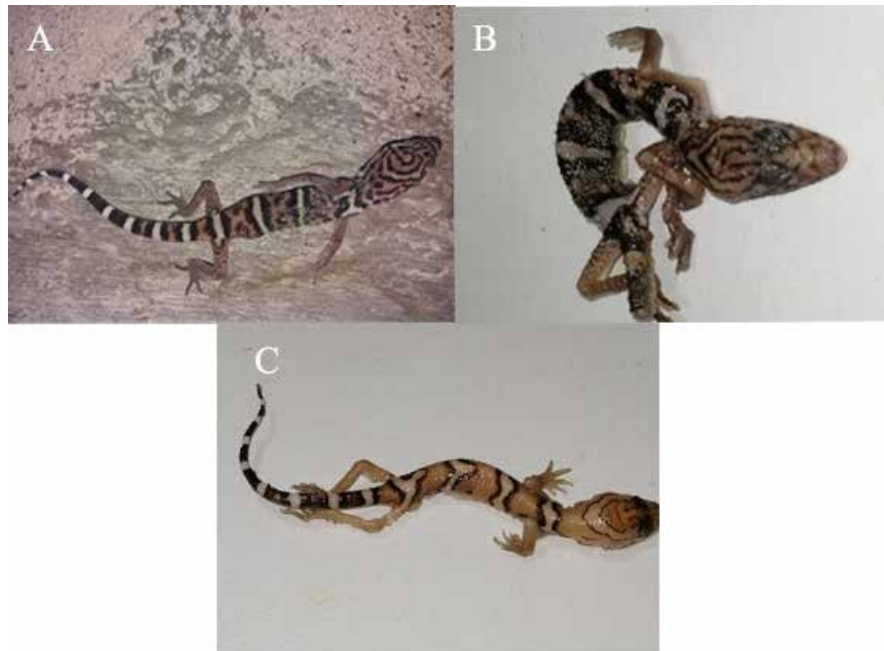


Figure 2. *Coleonyx elegans* specimens observed in the state of Hidalgo A) ejemplar MZFZ 4366 del municipio de Jaltocán, B) ejemplar MZFZ 4367 del municipio de Huejutla de Reyes, C) ejemplar MZFZ 4368 del municipio de Huejutla de Reyes.

Figura 2. Ejemplares de *Coleonyx elegans* observados en el estado de Hidalgo: A) ejemplar MZFZ 4366 del municipio de Jaltocán, B) ejemplar MZFZ 4367 del municipio de Huejutla de Reyes, C) ejemplar MZFZ 4368 del municipio de Huejutla de Reyes.

una hipótesis, más que como una representación precisa de la realidad, debido a que estos modelos relacionan la distribución geográfica conocida de las especies (datos de presencia o ausencia) con variables climáticas (actuales o futuras), por medio de algún algoritmo o modelo estadístico que caracteriza las condiciones ambientales donde las especies pueden potencialmente vivir (Kadmon et al., 2003, Peterson et al., 2006). Sin embargo, estos modelos no toman en cuenta las interacciones biológicas o la capacidad de dispersión que podrían presentar las especies al modelar (Guisan & Zimmermann, 2000). Además, pueden presentar errores en la obtención de los datos y la calibración del modelo, lo que ocasiona una subestimación o sobrestimación de la distribución potencial de la especie. Aunado a ello, es importante considerar que la distribución de las especies es un fenómeno dinámico espacial y temporal (Maciel-Mata et al., 2015).

Con los datos aportados en esta nota se llena un vacío de información entre las poblaciones ubicadas al sur de San Luis Potosí y norte de Veracruz, confirmando la presencia de *C. elegans* en Hidalgo. Es importante continuar realizando inventarios herpetofaunísticos en el noreste del estado para conocer

mejor la herpetofauna de la entidad, ya que otras especies con distribución en la Planicie Costera del Golfo podrían distribuirse en la entidad, como es el caso de *Marisora lineola*, *Ophisaurus incomptus*, *Phrynonax poecilonotus* y *Tantilla shawii*.

Agradecimientos.— Los autores agradecen a Sóstenes Eduardo Rodríguez Sánchez por donar el ejemplar de Jaltocán y a Josefina Hernández Grande por donar el ejemplar de La Corrala. A la Dirección General de Apoyo al Personal Académico, Universidad Nacional Autónoma de México (PAPIIT IN-216619) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT A1-S-37838) por el apoyo logístico. Todos los ejemplares fueron colectados con respaldo del permiso de recolecta (SEMARNAT FAUT 0243) otorgado a Uri O. García-Vázquez. El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de doctorado otorgada al primer autor, con número de becario 371195.

LITERATURA CITADA

Canseco-Márquez, L. & M.G. Gutiérrez-Mayén. 2010. Anfibios y reptiles del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Fundación para

- la Reserva de la Biosfera Cuicatlán A. C., Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- Chávez-Lugo, E.G., J.M. Pech-Canché, L. Canseco-Márquez & L. Lucas-Cobos. 2015. Registro de *Coleonyx elegans* en el norte de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86:1103-1106.
- DOF. Diario Oficial de la Federación. 2019. Modificación del Anexo Normativo III. Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, publicada el 30 de diciembre de 2010, México.
- Dixon, J.R. & J.A. Lemos-Espinal. 2013. *Amphibians and reptiles of San Luis Potosi*. Eagle Mountain Publishing.
- Guisan, A. & N. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147-186.
- Gray, J.E. 1845. Description of a new genus of night lizards from Belize. *Annals and Magazine of Natural History* 16:162-163.
- Kadmon, R., O. Farber & A. Danin. 2003. A systematic analysis of factors affecting the performance of climatic envelope models. *Ecological Applications* 13:853-867.
- Maciel-Mata, C.A., N. Manríquez-Morán, P. Octavio-Aguilar & G. Sánchez-Rojas. 2015. El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria* 25:3-19.
- Monroy-Vilchis, O., H. Domínguez-Vega & F. Urbina. 2014. Primer registro de *Coleonyx elegans nemoralis* (Lacertilia: Eublepharidae) para el Estado de México, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:318-321.
- Peterson, A.T., V. Sánchez-Cordero, E. Martínez-Meyer & A.G. Navarro-Sigüenza. 2006. Tracking population extirpations via melding ecological niche modeling with landcover information. *Ecological Modelling* 195:229-236.
- Puig, H. 1991. *Vegetación de la Huasteca (México): estudio fitogeográfico y ecológico*. Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération – ORSTOM, Instituto de Ecología, A.C., Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos – CEMCA. México, D.F.
- Ramírez-Bautista, A., U. Hernández-Salinas, R. Cruz-Elizalde, C. Berriozabal-Islas, I. Moreno-Lara, D.L. DeSantis, J.D. Johnson, E. García-Padilla, V. Mata-Silva & L.D. Wilson. 2020. The herpetofauna of Hidalgo, Mexico: composition, distribution and conservation status. *Amphibian and Reptile Conservation* 14:63-118.



CARACTERIZACIÓN DEL MICROHÁBITAT DE *CHELONIA MYDAS* (CHELONIDAE) EN LA COSTA CENTRAL DE VERACRUZ, MÉXICO

MICROHABITAT CHARACTERIZATION OF *CHELONIA MYDAS* (CHELONIDAE) OFF THE CENTRAL COAST OF VERACRUZ, MEXICO

FERNÁNDEZ-GARCÍA PERLA DAYANA¹, EMILIO ALFONSO SUÁREZ-DOMÍNGUEZ^{1*}, IBIZA MARTÍNEZ-SERRANO & PASCUAL LINARES-MÁRQUEZ¹

¹Facultad de Biología-Xalapa, Universidad Veracruzana. Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, Zona universitaria, C.P. 91090 Xalapa, Veracruz, México.

Correspondence: emisuarez@uv.mx

Received: 2021-01-26. Accepted: 2021-04-28.

Abstract.— The microhabitat of *Chelonia mydas* at Cabezo reef is composed by seven bottom types of coral reef. Oceanographic parameters consisting of shallow water less than 2.4 m deep, water temperature fluctuating between 24.8 and 30.3 °C, dissolved oxygen concentrations ranging from 3.6 to 7.7 mg/L and salinity ranging from 25.4 to 38.1 ppt were recorded. Temperature was the parameter that showed significant variation associated with the coral reef bottom. Greater turtle abundance was observed in the rainy season.

Keywords.— Priority habitat, Sistema Arrecifal Veracruzano National Park, Green turtle.

Resumen.— El microhábitat de *Chelonia mydas* en el arrecife Cabezo está compuesto por siete tipos de fondo arrecifal. Los parámetros oceanográficos registrados consisten en aguas someras menores a 2.4 m de profundidad, temperatura del agua de 24.8 a 30.3 °C, concentraciones de oxígeno disuelto de 3.6 a 7.7 mg/L y salinidad de 25.4 a 38.1 ppt. La temperatura es el parámetro con variación significativa en relación al fondo arrecifal. La mayor abundancia de tortugas se distinguió en temporada de lluvias.

Palabras clave.— Hábitat prioritario, Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, Tortuga verde.

El estudio del ambiente depende de la escala en la cual se midan sus variables, ya que cada organismo se desarrolla en distintos niveles espaciales y temporales; y, por lo tanto, la descripción del hábitat debe ser específica del taxon en cuestión (Delfin-Alfonso et al., 2011). La caracterización del hábitat y del microhábitat se consideran de gran relevancia para el estudio del comportamiento del individuo (Morris, 1987) y para la conservación de la fauna, refiriéndose principalmente a las condiciones que determinan la distribución y abundancia de las especies (Álvarez-Cárdenas et al., 2009).

Diversos investigadores alrededor del mundo se han enfocado al estudio del hábitat de las especies, entre ellas, las tortugas marinas. Haciendo referencia a los estudios sobre la tortuga verde (*Chelonia mydas*) en el océano Atlántico, existe un mayor número de registros en la zona norte, lindante al continente americano, específicamente en las costas de Florida, con estudios de movimiento y ecología alimentaria (Mendonça, 1983); rango y uso de hábitat (Makowski & Seminoff, 2006; Hart

& Fujisaki, 2010); área de distribución, descripción del uso y tipo de hábitat (Lamont et al., 2015); así como del uso de hábitat a escala fina (Wildermann et al., 2019).

En el área correspondiente al territorio mexicano, las investigaciones respecto al hábitat de la tortuga se citan en Tamaulipas sobre zonas de alimentación y refugio (Nava-Castillo et al., 2019); en la Península de Yucatán en sitios de alimentación, donde se desarrollan actividades pesqueras artesanales (Vázquez-Cuevas & Cuevas, 2019); en Baja California con datos sobre ámbito hogareño (Seminoff et al., 2002) y en Baja California Sur sobre ámbito hogareño y uso de hábitat (Soriano-Arista, 2012). La investigación conducente a las tortugas marinas es extensa; sin embargo, se enfoca a determinados temas, etapas de vida y zonas geográficas (Wildermann et al., 2018).

Pese a la amplitud en cuanto a número de estudios sobre quelónidos, la falta de información de etapas críticas del ciclo vital, como los hábitats costeros y oceánicos, dificulta la

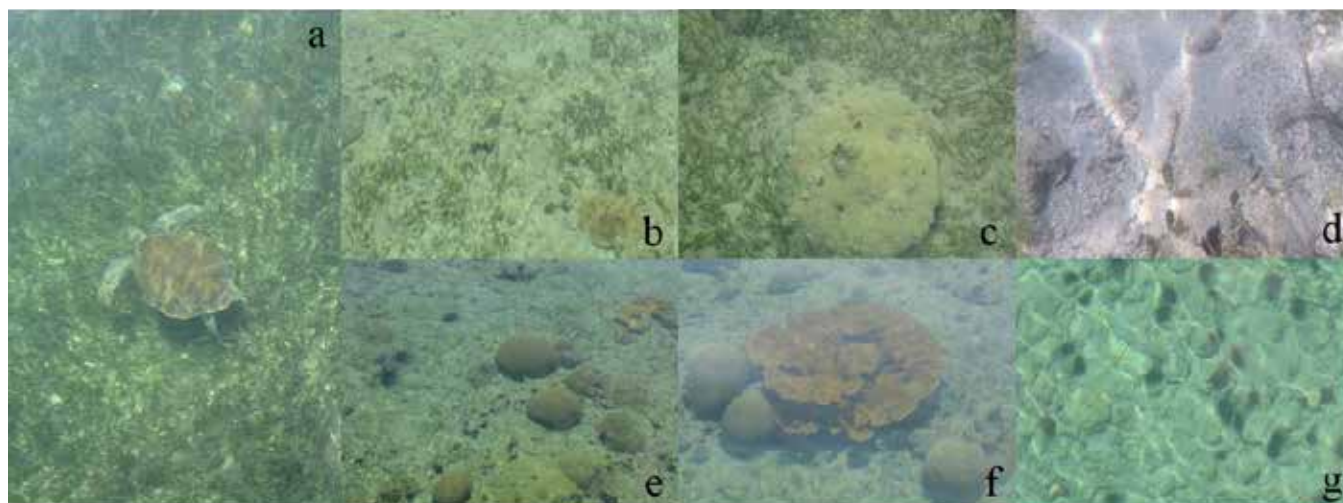


Figure 1. Bottom types found in the *Chelonia mydas* microhabitat. Seagrasses (a), seagrasses-sand (b), seagrasses-coral (c), sand (d), sand-coral (e), coral (f) and coral skeletons (g).

Figura 1. Tipos de fondo encontrados en el microhábitat de *Chelonia mydas*. Pastos marinos (a), pastos marinos-arena (b), pastos marinos-coral (c), arena (d), arena-coral (e), coral (f) y esqueletos coralinos (g).

protección de la especie (Rees et al., 2016), motivo por el cual es prioritario evaluar este tipo de hábitats, en especial a escala local (Eckert & Abreu-Grobois, 2001), debido a que la falta de estrategias en esta escala afectaría a las comunidades a una escala mayor (Álvarez-Varas et al., 2017).

Diversas causas inciden en la reducción de las poblaciones de tortugas marinas haciéndolas especies sumamente vulnerables, en sus hábitats marinos y terrestres, por afecciones naturales u ocasionadas por el hombre y de forma directa o indirecta (Medellín et al., 2009; Donlan et al., 2010; Lara-Uc & Mota-Rodríguez, 2015; Abreu, 2016), lo que a su vez repercute en el desarrollo de funciones vitales para el bienestar del océano (Wilson et al., 2010). Actualmente, *Chelonia mydas* se cataloga en “peligro de extinción” por la Lista Roja de Especies Amenazadas (IUCN, 2020).

El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) es un área natural protegida con carácter de parque marino (DOF, 2018); tiene una extensión de 65 516 ha y se localiza frente a la costa de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado del estado de Veracruz Llave, México (CONANP, 2011). Está conformado por 45 arrecifes coralinos, entre ellos el arrecife Cabezo (19.07583° N, 95.84861° W; WGS 84) (Liaño-Carrera et al., 2019). El registro de los datos se realizó en este sitio durante el periodo de marzo de 2018 a julio de 2019 en un horario de 08:00-14:00 h; mediante navegaciones en embarcaciones con motor fuera de borda (atendiendo las condiciones climáticas), a una

velocidad promedio de 12-15 km/h (Suárez-Domínguez et al., 2020).

Se registraron las coordenadas geográficas por medio de un GPS marca Garmin modelo map 76csx para cada individuo de *Chelonia mydas* observado. Para tener certeza sobre la especie, se recurrió a la observación de los caracteres morfológicos externos, tales como el tamaño de los ejemplares, número de escudos del caparazón, escamas de la cabeza y la coloración, particulares de cada estadio.

El tipo de fondo arrecifal se detectó mediante visualización directa desde la embarcación y se categorizó en: pastos marinos (PM), arena (A), coral (C) y esqueletos coralinos (EC). Para la clasificación también se consideraron los tipos que surgieron como resultado de la conjunción de las categorías establecidas originalmente; es decir, pastos marinos-arena (PM-A), pastos marinos-coral (PM-C) y arena-coral (A-C) (Fig. 1). Los parámetros oceanográficos se determinaron mediante un multiparámetro marca YSI modelo 85, para la temperatura (grados centígrados), el oxígeno disuelto (miligramos por litro) y la salinidad (partes por mil), y con un profundímetro marca Hondex modelo PS-7 para la profundidad (metros). El trabajo de campo se llevó a cabo bajo los permisos otorgados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Dirección General de Vida Silvestre (DGVS) (SGPA/DGVS/07034/16 y SGPA/DGVS/000999/18).

En el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano han sido reportadas tres temporadas climáticas principales, nortes, lluvias y secas (SEMARNAT & CONANP, 2017; Cerdán-Gómez, 2018; Ramos-Díaz, 2020); sin embargo, para este estudio se tomaron en cuenta dos temporadas climáticas: nortes, que comprende los meses de diciembre a mayo, y lluvias que incluye los meses de junio a noviembre. Lo anterior, considerando el traslape entre las épocas de nortes y secas por cambio en las condiciones meteorológicas, hecho que dificulta el establecimiento de lapsos específicos para cada temporada climática (Contreras-Espinoza, 2016; Secretaría de Protección Civil, 2017).

La temporada de nortes se caracteriza por la incidencia de frentes fríos, bajas drásticas de temperatura y fuerte oleaje (Carrillo et al., 2010), así como la disminución en radiación solar, precipitación y descarga fluvial (Perales-Valdivia et al., 2015). En la temporada de lluvias, por otra parte, es conocida la estratificación de la columna del agua resultado del aumento en la descarga de los ríos (Horta-Puga et al., 2017), la alta insolación, y la temperatura del aire, así como la disminución de frentes fríos (Perales-Valdivia et al., 2015).

Se calculó el esfuerzo de muestreo por año y temporada climática mediante las horas de navegación como unidad de esfuerzo (Ramos-Díaz, 2020). Se determinaron los tipos de fondo presentes en el arrecife, así como la abundancia de individuos por tipo de fondo. Los parámetros oceanográficos se analizaron tomando en cuenta estadígrafos de posición, dispersión y obteniendo la variación de los datos a través de los meses de muestreo.

Para determinar la normalidad de los datos se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk's Test; al obtener valores con una distribución no normal, se recurrió al estadístico no paramétrico Kruskal-Wallis (H) para comparar la abundancia de las tortugas por tipo

de fondo y los parámetros oceanográficos por tipo de fondo. La prueba post-hoc de Tukey se realizó al presentarse diferencias entre los ensayos, a fin de obtener los valores divergentes entre sí. Finalmente se evaluó la abundancia de las tortugas por temporada climática.

Se realizaron 13 navegaciones y se registraron 122 tortugas; no obstante, el análisis de la información se realizó con 47 ejemplares, de los cuales se obtuvieron las variables completas. El esfuerzo de muestreo para tales datos fue de 12 h 54 min. En la temporada de nortes fue de 4 h 30 min con 13 tortugas registradas y en la temporada de lluvias de 8 h 24 min, con la detección de 34 ejemplares.

De las 47 tortugas, en orden de importancia, 22 se encontraron en PM, 11 en C, siete en A, tres en PM-C, dos en PM-A, uno en A-C y uno en EC. La comparación de la abundancia por los distintos tipos de fondo no presentó diferencia significativa ($H=7.22$; $gl=4$; $p=0.12$; Tabla 1). Los tipos A-C y EC no se consideraron en el análisis, al contar con un solo registro.

El uso de las zonas con pasto marino se relaciona con actividades de forrajeo, particularmente en praderas de *Thalassia testudinum* especie importante en la dieta de *Chelonia mydas* (Talavera-Sáenz, 2016), con amplia distribución en el arrecife Cabezo (Arellano-Méndez et al., 2016). Especies de algas como *Hypnea* sp. y *Caulerpa* sp. también integran la dieta de la tortuga y ambas tienen distribución en el sitio (Robinson et al., 2012; Galicia-García et al., 2013). Por otra parte, los sitios arenosos se asocian con zonas de descanso (Lamont et al., 2015) y termorregulación (Bjorndal, 1980) y las coralinas con áreas de refugio de depredadores, así como de fenómenos climáticos (Makowski & Seminoff, 2006).

Table 1. Statistics of the bottom type and oceanographic parameters of *Chelonia mydas* recorded in Cabezo Reef.

Tabla 1. Estadígrafos del tipo de fondo y los parámetros oceanográficos de *Chelonia mydas* registradas en el arrecife Cabezo.

	Profundidad (m)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Salinidad (ppt)
Rango	0.7-2.4	24.8-30.3	3.6-7.7	25.4-38.1
Promedio$\pm$DE	1.6 $\pm$ 0.16	28.4 $\pm$ 2.66	5.7 $\pm$ 1.19	32.5 $\pm$ 2.82
Abundancia por tipo de fondo	Parámetros oceanográficos por tipo de fondo			
	Profundidad	Temperatura	Oxígeno disuelto	Salinidad
H= 7.22; gl= 4; p= 0.12	H= 3.57; gl= 4; p= 0.47	H= 16.30; gl= 4; p= 0.003	H= 4.92; gl= 4; p= 0.29	H= 8.58; gl= 4; p= 0.072
Pasto marino y coral Tukey= 0.002				

Las variaciones observadas entre tipos de fondo arrecifal surgen como resultado del modelo estructural del sitio, contorneado por las condiciones particulares de la zona (Ahmad & Neil, 1994 en Bello-Pineda & Liceaga-Correa, 1998), tal variabilidad induce la heterogeneidad espacial y temporal influyendo, de esta forma, en la organización de las comunidades (Aguirre-león et al., 2013). En el arrecife Cabezo se tiene registro de procesos de fragmentación, situación que favorece la creación de una diversidad de microambientes aprovechados por las especies residentes (Arellano-Méndez et al., 2016).

Un plan de manejo acertado conserva hábitats con la suficiente heterogeneidad, capaz de mantener la diversidad genética y la resiliencia del medio, mediante la reducción de perturbaciones locales y la protección de especies clave como las tortugas marinas al ser forrajeadoras (Padilla-Souza et al., 2009). El plan de manejo del PNSAV clasifica al arrecife Cabezo en la subzona de uso público-buceo autónomo que permite actividades de buceo y pesca (SEMARNAT & CONANP, 2017), las cuales presentan restricciones, pero repercuten sobre la estructura y la biota arrecifal, incluidas las tortugas marinas (MacDonald et al., 2013).

Asimismo, se encuentra en una zona documentada con riesgo en pérdida de servicios ambientales (Ortiz-Lozano et al., 2015), debido a prácticas como la actividad pesquera por captura de pulpo (Jiménez-Badillo, 2010) y el encallamiento de embarcaciones en el arrecife Cabezo, con cuatro registros hasta el 2010 (Hayasaka-Ramírez, 2011); sin embargo, no cuenta con un programa regular de monitoreo (Reyna-González et al., 2014). En consecuencia, diversos investigadores proponen acciones de manejo alternativas para zonas con medidas inadecuadas para la protección de las tortugas (McDaniel et al., 2000).

Por las razones mencionadas anteriormente, se plantea la necesidad de la complementación e implementación de medidas para la protección del sitio. Algunos autores consideran cierres estacionales o de área (McDaniel et al., 2000); no obstante, supondría un reto debido a la elevada actividad turística, portuaria y pesquera, por lo que se propone, en la medida de lo posible, la restricción de actividades no esenciales y un monitoreo más controlado.

Los ejemplares de *Chelonia mydas* se registraron en zonas de 0.7 a 2.4 m (promedio $\pm$ DE= 1.6 m $\pm$ 0.16) (Tabla 1), valores que corroboran la preferencia de la tortuga por sitios de baja profundidad (Mendonça, 1983; Hazel et al., 2009; Soriano-Arista, 2012; Lamont et al., 2015; Wildermann et al., 2019). La presencia de las tortugas en aguas someras se adjudica a la cantidad de

alimento disponible y a las temperaturas cálidas características (McDaniel et al., 2000). En aguas profundas, al contrario, se asocia a estrategias antidepredatorias y la búsqueda de temperaturas óptimas durante variaciones climáticas (Lamont et al., 2015).

Los datos de temperatura oscilaron de 24.8 a 30.3 °C (promedio $\pm$ DE= 28.4 $\pm$ 2.66) (Tabla 1). Las tortugas marinas suelen encontrarse activas a diversas temperaturas, con distintos umbrales a favor de la zona geográfica en la cual residan (Mendonça, 1983; Hazel et al., 2009; Lamont et al., 2015; Álvarez-Varas et al., 2017; Metz et al., 2020); no obstante, registros desmesurados, durante lapsos prolongados, alteran su comportamiento e incluso conllevan a la muerte (Bitón-Porsmoguer, 2009).

Las tortugas marinas mitigan el efecto de la temperatura mediante acciones alternativas tales como el adormecimiento temporal, disminución de las actividades (Contreras-Salazar, 2008), hábitos migratorios (González-Carman et al., 2012; Metz et al., 2020), cambio en la distribución dentro de la columna del agua (Lamont et al., 2015), entre otras. La sensibilidad de los organismos a dicho parámetro varía en razón de la edad (Sevilla, 1977) estado de salud o tamaño de los individuos (Márquez, 1996).

El análisis referente a la comparación de los parámetros oceanográficos y los tipos de fondo arrecifal no reveló diferencias significativas, a excepción del parámetro temperatura ($H = 16.3$; $gl = 4$; $p = 0.003$; Tabla 1), por lo que se infiere la variación de este indicador en relación con el fondo arrecifal. La prueba post-hoc de Tukey mostró diferencias entre los tipos pasto marino y coral ($p = 0.002$), presentando los valores más bajos de temperatura para sitios con pasto marino (24.8 a 29.9 °C) y los más altos con coral (28.7 a 30.3 °C).

Los pastos suelen distribuirse en extensas y densas praderas submarinas (Lara-Domínguez, 2005), condición que propicia la disminución en cantidad de luz solar que llega al fondo y en consecuencia crea zonas de sombra que resultan en un ligero descenso de la temperatura en el lugar, lo cual difiere de las zonas coralinas. Estas zonas concuerdan con la mayor abundancia de ejemplares, siendo sitios de alimentación y refugio respectivamente; sin embargo, este dato en relación con la temperatura no resulta determinante ya que la diferencia es de 5.5 °C y las tortugas suelen alterar su comportamiento a temperaturas desmedidas.

Chelonia mydas se encontró en sitios con concentraciones de 3.6 a 7.7 mg/L de oxígeno disuelto (promedio $\pm$ DE= 5.7 $\pm$

1.19) (Tabla 1). Los valores de esta constante no se consideran limitantes para las tortugas marinas puesto que presentan una respiración pulmonar; no obstante, influye en la distribución de los organismos de los que se alimenta, por lo que el descenso en la concentración de oxígeno disuelto resultaría en una disminución en la cantidad de alimento disponible (Gallaway et al., 1995 en McDaniel et al., 2000).

La salinidad se registró en intervalos de 25.4 a 38.1 ppt (promedio $\pm$ DE= 32.5 ± 2.82) (Tabla 1). Tal parámetro es de importancia en caracterizaciones biológicas debido a que, en asociación con la temperatura, incide en otros factores como el oxígeno y la densidad. Ciertos organismos limitan su distribución a rangos particulares de salinidad, empero, suelen presentar mecanismos para regular la concentración de la misma (Sevilla, 1977). Las tortugas marinas equilibran el contenido de sales por medio de la secreción a través de las glándulas de la sal situadas en las órbitas oculares (Bitón-Porsmoguer, 2009) y la formación de orina concentrada (Contreras-Salazar, 2008).

La mayor abundancia de *Chelonia mydas* se registró en temporada de lluvias (junio a noviembre), con el 72 % de los ejemplares. Dicha época, como se mencionó anteriormente, se caracteriza por la estratificación de la columna del agua, con una capa superficial somera de mayor productividad primaria (Monreal-Gómez et al., 2004), cálida y de mayor turbidez (Pérez-España & Vargas-Hernández, 2008; Pérez-España et al., 2012). Tales propiedades son de predilección por la especie debido a la estabilidad en la columna del agua y al aumento en cantidad de alimento (González-Carman et al., 2012; Chamlaty-Fayad, 2020). Debe considerarse de igual forma que el esfuerzo de muestreo, debido a las condiciones climáticas, fue mayor en la época lluviosa.

A pesar de no haberse realizado el análisis entre clases de talla, se detectó una mayor cantidad de juveniles en el arrecife Cabezo. Dicho resultado concuerda con registros previos del PNSAV (Delgado, 2016; Cerdán-Gómez, 2018), sitio en el que se reporta, además, un aparente buen estado de salud de *Chelonia mydas* (Ramos-Díaz, 2020). Por lo anterior, es admisible considerar al Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano y al arrecife Cabezo como una zona con condiciones favorables para el desarrollo de las tortugas marinas en etapa temprana. Referente al tema, es común la residencia permanente o temporal (Darré-Castell, 2005) de ejemplares inmaduros de *Chelonia mydas* en hábitats someros, abundantes en pasto y algas marinas (Abreu, 2016), a lo largo de su desarrollo a la madurez sexual, habitando zonas arrecifales costeras en las que encuentran alimento y refugio (Williams et al., 2017). En el PNSAV no existe registro

de recaptura de ejemplares (Ramos-Díaz, 2020), por lo que la residencia en el parque podría ser temporal.

La mortalidad en tortugas marinas inmaduras es elevada, por lo que el número de individuos que llega a la madurez sexual es reducido (WWF, 2000). Los factores que influyen en la tasa de mortalidad engloban: enfermedades (Harold & Eckert, 2005; Suárez-Domínguez et al., 2020) y capturas intencionales (Seminoff, 2004; Williams et al., 2017) e incidentales (Delgado, 2016), así como el bajo reclutamiento poblacional, lento crecimiento y maduración tardía (Lagueux, 2001; Medellín et al., 2009).

El conocimiento de las tortugas marinas en etapas pre-reproductivas es reducido (Wildermann et al., 2018), razón por la cual es relevante la delimitación de zonas de desarrollo y alimentación (Caraccio et al., 2005; Darré-Castell, 2005), a fin de contribuir en la eficiencia de los programas encargados de la protección de especies amenazadas (Hart & Fujisaki, 2010) y a que un mayor número de individuos alcance la etapa reproductiva.

Las características particulares del arrecife Cabezo lo convierten en el microhábitat idóneo para *Chelonia mydas* al presentar las condiciones y recursos necesarios para su desarrollo a la etapa reproductiva. Con la información de este estudio, se podrían sentar las bases para restringir actividades humanas y considerarlo hábitat prioritario para la conservación de la tortuga marina lo cual, a su vez, estaría conservando otras especies silvestres, al ser considerada una especie sombrilla.

Agradecimientos.— A la Administración Portuaria Integral de Veracruz (APIVER) y a la Universidad Veracruzana (UV) por el financiamiento a través del proyecto de colaboración entre ambas instituciones, titulado: “Programa de monitoreo biológico basado en especies indicadoras de integridad ecológica en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV)”, Folios API-GI-CS-62601-054-16 y API-GI-CS-62601-071-18. A la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Dirección General de Vida Silvestre (DGVs) por los permisos otorgados para el trabajo de campo (SGPA/DGVs/07034/16 y SGPA/DGVs/000999/18).

LITERATURA CITADA

Abreu, A. 2016. Generalidades de tortugas marinas. Pp. 19-34. En Soluciones Ambientales ITZENI (Ed.). Las tortugas marinas en México: Logros y perspectivas para su conservación. Ciudad de México.

- Aguirre-león, A., H.E. Pérez-Ponce & S. Díaz-Ruiz. 2013. Heterogeneidad ambiental y su relación con la diversidad y abundancia de la comunidad de peces en un sistema costero del golfo de México. *Revista de Biología Tropical* 62:145-163.
- Álvarez-Cárdenas, S., P. Gallina-Tessaro, S. Díaz-Castro, I. Guerrero-Cárdenas, A. Castellanos-Vera & E. Mesa-Zavala. 2009. Evaluación de elementos estructurales del hábitat del borrego cimarrón en la Sierra del Mechudo, Baja California Sur, México. *Tropical Conservation Science* 2:189-203.
- Álvarez-Varas, R., J. Contardo, M. Heidemeyer, L. Forero-Rozo, B. Brito, V. Cortés, M.J. Brain, S. Pereira & J.A. Vianna. 2017. Ecology, health and genetic characterization of the southernmost green turtle (*Chelonia mydas*) aggregation in the eastern Pacific: Implications for local conservation strategies. *Latin American Journal of Aquatic Research* 45:540-554.
- Arellano-Méndez, L.U., J. Bello-Pineda, J.A. Akè-Castillo, H. Pérez-España & L. Martínez-Cárdenas. 2016. Distribución espacial y estructura morfométrica de las praderas de *Thalassia testudinum* (Hydrocharitaceae) en dos arrecifes del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, México. *Revista de Biología Tropical* 64:427-448.
- Bello-Pineda, J. & M.A. Liceaga-Correa. 1998. Propuesta de un sistema de clasificación para los tipos de fondo del Parque Nacional Arrecife Alacranes compatible con una imagen Landsat TM. Pp. 191-205. En University of Miami. Proceedings of the 50th Gulf and Caribbean Fisheries Institute. Mérida, Yucatán, México.
- Bitón-Porsmoguer, S. 2009. Biología de las tortugas marinas e incidencia de la pesca de arrastre en su conservación en el Mediterráneo y golfo de Cádiz. Asociación Chelonia, España.
- Bjorndal, K.A. 1980. Nutrition and grazing behavior of the green turtle *Chelonia mydas*. *Marine Biology* 56:147-154.
- Caraccio, M.N., E. Naro-Maciel, M. Hernández & R. Pérez. 2005. Composición genética de la tortuga verde (*Chelonia mydas*) en el área de alimentación y desarrollo de Cerro Verde, Rocha, Uruguay. Pp. 39-41. En Núcleo de Educação e Monitoramento Ambiental, II Jornada de conservação e pesquisa de tartarugas marinhas no Atlântico sul ocidental. Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Carrillo, L., G. Horta-Puga, J.P. Carricart-Ganivet. 2010. Clima y oceanografía. Pp. 48-59. En E.A. Chávez (Ed.). Arrecifes coralinos del sur del golfo de México. Versión en español. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California Sur, México.
- Cerdán-Gómez, C.N. 2018. Densidad poblacional de tortuga verde (*Chelonia mydas* Linnaeus, 1758) en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, Veracruz, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.
- Chamlaty-Fayad, Y.E. 2020. Influencia de factores oceanográficos en la distribución y densidad de *Chelonia mydas* en el Sistema Arrecifal Veracruzano, México. Tesis de maestría. Facultad de Biología, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2011. Estudio previo justificativo para la modificación de la declaratoria del área natural protegida Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Dirección de Representatividad y Creación de Nuevas Áreas Naturales Protegidas, Dirección del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, Dirección Regional Planicie Costera y golfo de México. Veracruz, México.
- Contreras-Espinoza, L. 2016. Variación espacio-temporal de la estructura comunitaria del zooplankton y su relación con las variables hidrográficas en la desembocadura del río Jamapa, Veracruz, en dos temporadas climáticas (nortes y lluvias). Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana. Boca del Río, Veracruz.
- Contreras-Salazar, P.A. 2008. Las tortugas marinas y nuestro tiempo. *Acta Universitaria* 18:32-35.
- Darré-Castell, E. 2005. Hábitos alimentarios de juveniles de tortuga verde (*Chelonia mydas*) en Cerro Verde, Rocha. Informe de pasantía. Facultad de Ciencias, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.
- Delfín-Alfonso, C.A., S.A. Gallina-Tessaro & C.A. López-González. 2011. El hábitat: Definición, dimensiones y escalas de evaluación para la fauna silvestre. Pp. 317-350. En S. Gallina-Tessaro & C.A. López-González (Eds.). Manual de técnicas para el estudio de la fauna. Querétaro, México.
- Delgado, C. 2016. Tortuga verde. Pp. 135-158. En Soluciones Ambientales ITZENI (Ed.). Las tortugas marinas en México: Logros y perspectivas para su conservación. Ciudad de México.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2018. Acuerdo por el que se da a conocer el resumen del programa de manejo del Área Natural

- Protegida con categoría de Parque Nacional la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ciudad de México.
- Donlan, C.J., D.K. Wingfield, L.B. Crowder & C. Wilcox. 2010. Using Expert Opinion Surveys to Rank Threats to Endangered Species: A Case Study with Sea Turtles. *Conservation Biology* 24: 1586-1595.
- Eckert, K.L. & F.A. Abreu-Grobois. 2001. Declaración de Santo Domingo. Pp. III. En K.L. Eckert & F.A. Abreu-Grobois (Eds.). *Memorias de conservación de tortugas marinas en la región del gran Caribe: Un diálogo para el manejo regional efectivo*. Santo Domingo, República Dominicana.
- Galicia-García, C., N.M. Robinson & Y.B. Okolodkov. 2013. New records of red algae (Rhodophyta) for Cabezo reef, National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, gulf of México. *Acta Botanica Mexicana* 102:39-76
- González-Carman, V., V. Falabella, S. Maxwell, D. Albareda, C. Campagna & H. Mianzan. 2012. Revisiting the ontogenetic shift paradigm: The case of juvenile green turtles in the SW Atlantic. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 429:64-72.
- Harold, S. & K.L. Eckert. 2005. Tortugas marinas del Caribe en peligro: Un manual para educadores. Informe técnico de WIDECAST No. 3. Red para la Conservación de las Tortugas Marinas en el Gran Caribe (WIDECAST). Beaufort, North Carolina.
- Hart, K.M. & I. Fujisaki. 2010. Satellite tracking reveals habitat use by juvenile green sea turtles *Chelonia mydas* in the Everglades, Florida, USA. *Endangered Species Research* 11:221-232.
- Hayasaka-Ramírez, S. 2011. Indicadores de presión antropogénica asociados al encallamiento de embarcaciones en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, golfo de México. Tesis de maestría. Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana. Boca del Río, Veracruz.
- Hazel, J., I.R. Lawler & M. Hamann. 2009. Diving at the shallow end: Green turtle behaviour in near-shore foraging habitat. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 371: 84-92.
- Horta-Puga, G., J.L. Tello-Musi, A.D. Córdova-Morales, G.A. Gutiérrez-Carrillo, J.F. Gutiérrez-Martínez & A.A. Morales-Aranda. 2017. Sistema Arrecifal Veracruzano, condición actual y programa permanente de monitoreo: Segunda etapa. Informe final del proyecto GMO05. CONABIO, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Ciudad de México.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN). 2020. Red List of Threatened Species. IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2020-1. <https://www.iucnredlist.org> [Consultado en junio 2020]
- Jiménez-Badillo, L. 2010. Geographic information systems: Tools to manage the octopus fishery in the Veracruz Reef System National Park, México. *GIS/ Spatial Analyses in Fishery and Aquatic Sciences* 4:319-328.
- Lagueux, C.J. 2001. Estado de conservación y distribución de la tortuga verde, *Chelonia mydas*, en la región del gran Caribe. Pp. 34-37. En K.L. Eckert & F.A. Abreu-Grobois (Eds.). *Memorias de conservación de tortugas marinas en la región del gran Caribe: Un diálogo para el manejo regional efectivo*. Santo Domingo, República Dominicana.
- Lamont, M.M., I. Fujisaki, B.S. Stephens & C. Hackett. 2015. Home range and habitat use of juvenile green turtles (*Chelonia mydas*) in the northern gulf of Mexico. *Animal Biotelemetry* 3:1-12.
- Lara-Domínguez, A.L. 2005. Pastos marinos. Pp. 229-240. En P. Moreno-Casola, E. Peresbarbosa-Rojas & A.C. Travieso-Bello (Eds.). *Manejo costero integral: El enfoque municipal*. Instituto de Ecología, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Xalapa, Veracruz, México.
- Lara-Uc, M.M. & C. Mota-Rodríguez. 2015. Tortuga Verde, *Chelonia mydas* (Linnaeus 1778). *Bioma* 27:43-50.
- Liaño-Carrera, F., T. Camarena-Luhers, A. Gómez-Barrero, F.J. Martos-Fernández, J.I. Ramírez-Macias, D. Salas-Monreal. 2019. New coral reef structures in a tropical coral reef system. *Latin American Journal of Aquatic Research* 47:270-281.
- MacDonald, B.D., S.V. Madrak, R.L. Lewison, J.A. Seminoff & T. Eguchi. 2013. Fine scale diel movement of the east Pacific green turtle, *Chelonia mydas*, in a highly urbanized foraging environment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 443:56-64.
- Makowski, C. & J.A. Seminoff. 2006. Home range and habitat use of juvenile Atlantic green turtles (*Chelonia mydas* L.) on shallow reef habitats in Palm Beach, Florida, USA. *Marine Biology* 148:1167-1179.

- Márquez, R. 1996. Las tortugas marinas y nuestro tiempo. Fondo de Cultura Económica, Secretaría de Educación Pública, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Ciudad de México.
- McDaniel, C.J., L.B. Crowder & J.A. Priddy. 2000. Dinámica espacial de la abundancia de tortugas marinas e intensidad de camarones en el golfo de México de los Estados Unidos. *Ecology and Society* 4:1-16.
- Medellín, R.A., A. Abreu-Grobois, M. Del Coro-Arizmendi, E. Mellink, E. Ruelas, E. Santana & J. Urbán. 2009. Conservación de especies migratorias y poblaciones transfronterizas. Pp. 470-472. En Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Ciudad de México.
- Mendonça, M.T. 1983. Movements and feeding ecology of immature green turtles (*Chelonia mydas*) in a Florida Lagoon. *Copeia* 4:1013-1023.
- Metz, T.L., M. Gordon, M. Mokrech & G. Guillen. 2020. Movements of Juvenile Green Turtles (*Chelonia mydas*) in the Nearshore Waters of the Northwestern Gulf of Mexico. *Frontiers in Marine Science* 7: 1-17.
- Monreal-Gómez, M.A., D.A. Salas de León & A. Gracia-Gasca. 2004. Golfo de México circulación y productividad. *Ciencias* 76:24-33.
- Morris, D.W. 1987. Ecological scale and habitat use. *Ecology* 68: 362-369.
- Nava-Castillo, R., M. Betanzos Reyes, D. Lerma Quiroga, J.F. Colorado Dapa. 2019. Monitoreo de zonas de alimentación y refugio de tortugas marinas en la laguna madre. Pp. 267-271. En: E.A. Cuevas Flores, V. Guzmán Hernández, J.J. Guerra Santos & G.A. Rivas Hernández (Eds.). El uso del conocimiento de las tortugas marinas como herramienta para la restauración de sus poblaciones y hábitats asociados. UNACAR, Ciudad del Carmen, Campeche, México.
- Ortiz-Lozano, L., A. Granados-Barba, I. Espejel, J. Salas-Pérez & C. González-Gándara. 2015. La zona costera de Veracruz a Antón Lizardo: Un análisis sobre la vulnerabilidad de sus servicios ambientales. Pp. 151-178. En Aguilera (Ed.). Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. México.
- Padilla-Souza, C., H. Alafita-Vázquez & E. Andreu-Montalvo. 2009. Factores de riesgo para los arrecifes coralinos y sus mecanismos de respuesta ante los efectos del cambio climático global. Pp. 1-24. En E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, G.J. Villalobos-Zapata & L. Alpuche-Gual (Eds.). Cambio climático en México un enfoque costero-marino. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México.
- Perales-Valdivia, H., R. Sanay-González & M. Marín-Hernández. 2015. Variación temporal de la estructura termohalina en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Pp. 124-137. En Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Revista digital e-bios, Universidad Autónoma Metropolitana, Universidad Veracruzana, Acuario de Veracruz. México.
- Pérez-España, H. & J.M. Vargas Hernández. 2008. Caracterización ecológica y monitoreo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano: Primera etapa. Informe final del proyecto DM002. CONABIO, Universidad Veracruzana. Centro de Ecología y Pesquerías. Ciudad de México.
- Pérez-España, H., J. Santander-Monsalvo, J. Bello-Pineda, R.S. Gómez-Villada, J.A. Ake-Castillo, M.A. Lozano-Aburto, M.A. Román-Vives & M. Marín-Hernández. 2012. Caracterización ecológica del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Pp. 581-601. En A.J. Sánchez, X. Chiappa-Carrara & R. Brito-Pérez (Eds.) Recursos acuáticos costeros del sureste Volumen II. Mérida, México.
- Ramos-Díaz, A.H. 2020. Efecto del estado físico y la temporalidad climática sobre la bioquímica clínica de la tortuga verde (*Chelonia mydas*) en el arrecife Cabezo, Veracruz. Tesis de maestría. Facultad de Biología, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.
- Rees, A.F., J. Alfaro-Shigueto, P.C.R. Barata, K.A. Bjorndal, A.B. Bolten, J. Bourjea, A.C. Broderick, L.M. Campbell, L. Cardona, C. Carreras, P. Casale, S.A. Ceriani, P.H. Dutton, T. Eguchi, A. Formia, M.M.P.B. Fuentes, W.J. Fuller, M. Girondot, M.H. Godfrey, M. Hamann, K.M. Hart, G.C. Hays, S. Hochscheid, Y. Kaska, M.P. Jensen, J.C. Mangel, J.A. Mortimer, E. Naro-Maciel, C.K.Y. Ng, W.J. Nichols, A.D. Phillott, R.D. Reina, O. Revuelta, G. Schofield, J.A. Seminoff, K. Shanker, J. Tomás, J.P. Van de Merwe, K.S. Van Houtan, H.B. Vander Zanden, B.P. Wallace, K.R. Wedemeyer-Strombel, T.M. Work, B.J. Godley. 2016. ¿Are we working towards global research priorities for management and conservation of sea turtles? *Endangered Species Research* 31:337-382.
- Reyna-González, P.C., J. Bello-Pineda, L. Ortiz-Lozano, H. Pérez-España, P. Arceo & J. Brenner. 2014. Incorporating expert knowledge for development spatial modeling in assessing

- ecosystem services provided by coral reefs: A tool for decision-making. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 49: 279-292.
- Robinson, N.M., C. Galicia-García & Y.B. Okolodkov. 2012. New records of green (Chlorophyta) and brown algae (Phaeophyceae) for Cabezo reef, National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, gulf of México. *Acta Botánica Mexicana* 101:11-48.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) & Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2017. Programa de manejo Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Primera edición. México.
- Secretaría de Protección Civil. 2017. Calendario de temporadas y fenómenos meteorológicos para el estado de Veracruz. <http://www.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/5/2017/05/CALENDARIO-2107.pdf> [Consultado en septiembre 2019]
- Seminoff, J.A. 2004. Global Status Assessment: Green turtle (*Chelonia mydas*). Marine turtle specialist group, The World Conservation Union (IUCN), Species Survival Commission, Red List Programme. Texas, Estados Unidos.
- Seminoff, J.A., A. Resendiz & W.J. Nichols. 2002. Home range of green turtles *Chelonia mydas* at a coastal foraging area in the gulf of California, México. *Marine Ecology Progress Series* 242:253-265.
- Sevilla, M.L. 1977. Introducción a la ecología marina. Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México.
- Soriano-Arista, M.C.E. 2012. Ámbito hogareño y uso de hábitat de la tortuga prieta (*Chelonia mydas*) en la laguna San Ignacio, Baja California Sur, México. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México.
- Suárez-Domínguez, E.A., I. Martínez-Serrano, N. Righini, Y.E. Chamlaty-Fayad, E.A. Bello-Sánchez & A.H. Ramos-Díaz. 2020. Fibropapilomatosis en tortuga verde (*Chelonia mydas*) de vida libre en la costa central de Veracruz, México. *Ciencias Marinas* 46:133-143.
- Talavera-Sáenz, A.L. 2016. Hábitos alimenticios de la tortuga verde (*Chelonia mydas*) del litoral central de Quintana Roo, México: Uso del $\delta^{13}C$ y $\delta^{15}N$. Tesis de doctorado. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S.
- Vázquez-Cuevas, M. & E. Cuevas. 2019. Hábitats críticos de tortuga blanca (*Chelonia mydas*) y Carey (*Eretmochelys imbricata*) en la península de Yucatán y su coincidencia espacial con zonas de pesca artesanal. Pp. 57-62. En E.A. Cuevas Flores, V. Guzmán Hernández, J.J. Guerra Santos & G.A. Rivas Hernández (Eds.). El uso del conocimiento de las tortugas marinas como herramienta para la restauración de sus poblaciones y hábitats asociados. UNACAR, Ciudad del Carmen, Campeche, México.
- Wildermann, N.E., C. Gredzens, L. Avens, H.A. Barrios-Garrido, I. Bell, J. Blumenthal, A.B. Bolten, J. Braun-McNeill, P. Casale, M. Di Domenico, C. Domit, S.P. Epperly, M.H. Godfrey, B.J. Godley, V. González-Carman, M. Hamann, K.M. Hart, T. Ishihara, K.L. Mansfield, T.L. Metz, J.D. Miller, N.J. Pilcher, M.A. Read, C. Sasso, J.A. Seminoff, E.E. Seney, A. Southwood-Williard, J. Tomás, G.M. Vélez-Rubio, M. Ware, J.L. Williams, J. Wyneken & M.M.P.B. Fuentes. 2018. Informing research priorities for immature sea turtles through expert elicitation. *Endangered Species Research* 37:55-76.
- Wildermann, N.E., C.R. Sasso, L.W. Stokes, D. Snodgrass & M.M.P.B. Fuentes. 2019. Habitat use and behavior of multiple species of marine turtles at a foraging area in the northeastern gulf of México. *Frontiers in Marine Science* 6:1-13.
- Williams, J.L., S.J. Pierce, C.A. Rohner, M.M.P.B. Fuentes & M. Hamann. 2017. Spatial distribution and residency of green and loggerhead sea turtles using coastal reef habitats in southern Mozambique. *Frontiers in Marine Science* 3:1-16.
- Wilson, E.G., K.L. Miller, D. Allison & M. Magliocca. 2010. ¿Por qué los océanos sanos necesitan las tortugas marinas? <https://www.vistaalmar.es/especies-marinas/general/1192-ipor-que-los-oceanos-sanos-necesitan-las-tortugas-marinas.html> [Consultado en noviembre 2019]
- World Wildlife Fund (WWF). 2000. Tortugas marinas. https://www.wwfca.org/especies_yllugares/tortugas_marinas/ [Consultado en mayo 2020]



FIRST RECORD OF PREDATION OF *MICRURUS MIPARTITUS* (SERPENTES: ELAPIDAE) ON *OSCAECILIA POLYZONA* (GYMNOPHIONA: CAECILIIDAE) IN COLOMBIA

PRIMER REGISTRO DE DEPREDACIÓN DE *MICRURUS MIPARTITUS* (SERPENTES: ELAPIDAE) EN *OSCAECILIA POLYZONA* (GYMNOPHIONA: CAECILIIDAE) EN COLOMBIA

JUAN DAVID FERNÁNDEZ-ROLDÁN^{1,*}, GUIDO FABIAN MEDINA-RANGEL^{2,3} & YENY R. LÓPEZ-PERILLA²

¹Laboratorio de Anfibios, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

²Grupo de Morfología y Ecología Evolutiva, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

³Grupo Biodiversidad y Conservación, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Correspondence: : fernandezroldanjd@gmail.com

Received: 2021-01-07. Accepted: 2021-04-07.

Resumen.— Las cecilias y las serpientes de coral son animales evasivos que rara vez se encuentran durante el trabajo de campo de un herpetólogo. Es bien sabido que estas serpientes se alimentan de otros vertebrados vermiformes como las lagartijas amphisbaenidas, cecilias y otras serpientes que pueden o no, ser de su misma especie. Por el contrario, las cecilias presentan un mayor vacío de información sobre su dieta y demás aspectos de historia natural ya que sus hábitos fosoriales impiden acceder a esta información. Reportamos el primer registro de *Micrurus mipartitus* depredando a *Oscaecilia polyzona*, uno de los caeciliidos menos conocidos del país, esto en base a una fotografía tomada en Cimitarra, Santander, Colombia. Esta foto nos permite incluir a *O. polyzona* dentro de la dieta de *M. mipartitus*.

Palabras clave.— Cecilias, Comportamiento, Dieta, Elápidos, Historia Natural, Serpientes de Coral.

Abstract.— Caecilians and coral snakes are evasive animals that are rarely encountered by herpetologists during their fieldwork. Coral snakes are well known to prey on other vermiform vertebrates such as amphisbaenid lizards, caecilians and other snakes which may or may not be conspecific to them. On the contrary, the information void regarding caecilian diet composition is even greater because their fossorial habits keep their natural history a secret. We here provide the first register of *Micrurus mipartitus* feeding on *Oscaecilia polyzona*, one of the least known caeciliids in the country, based on a photograph taken in Cimitarra municipality, Santander department, Colombia. This photograph allows us to claim *O. polyzona* as a new prey item in the diet of *M. mipartitus*.

Keywords.— Behavior, Caecilians, Coral snakes, Diet, Elapids, Natural history.

Oscaecilia polyzona (Fischer, 1880) is among Colombia's least known caeciliids. This species inhabits the Magdalena Valley lowlands with records in Antioquia, Caldas, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Tolima, and Santander departments, ranging from 150-810 m.a.s.l. (Lynch, 2000). This species can be diagnosed from the other sympatric Gymnophiona of the Magdalena Valley chiefly because its eyes are concealed under bone (Taylor, 1968), and by its range of 192-217 primary grooves, 12-42 secondary grooves, length/width 43-69 times and its mainly pink/purple coloration in life (Lynch, 2000; Lynch & Acosta, 2004). Although Lynch and Acosta (2004) considered it to be abundant in La Dorada municipality, Caldas department,

the species has not been so regularly encountered elsewhere and the newest records are casual and isolated. This is most likely linked to the secretive fossorial life of most caecilians, which makes finding these animals a very challenging endeavor. Not surprisingly most natural history aspects (i.e., reproduction, diet, behavior and habitat preferences) remain largely unknown for most caecilian species.

Micrurus mipartitus (Duméril, Bibron & Duméril, 1854) is a widely distributed venomous snake found in Brazil (Rondônia), Colombia, Costa Rica (southeast), Ecuador, Panama and Venezuela (west) (Uetz et al., 2021). In Colombia, it inhabits



Figura 1. *Micrurus mipartitus* depredando a *Oscaecilia polyzona* en la localidad de Campo Opon, vereda La Verde, municipio de Cimitarra, departamento de Santander, Colombia. Nótese que la coral se comió a la cecilia desde la cabeza. Fotografía de Julio César Martínez Ortega.

Figure 1. *Micrurus mipartitus* preying on *Oscaecilia polyzona* in Campo Opon locality, vereda La Verde, Cimitarra municipality, Santander department, Colombia. Notice the coral snake ate the caecilian head-first. Photograph by Julio Cesar Martínez Ortega.

the Magdalena and Cauca Valley lowlands, but also the Pacific and Caribbean plains, and the Orinoquía region, ranging from 0-2700 m.a.s.l. (Rios-Soto et al., 2018). This species has a particular coloration pattern that consists of a main black body with 45-84 complete white or yellow bands and with a bright red-orange parietal ring on the head and 2-5 red/orange bands on the tail; Its body is very slender and its total length ranges from 500-1406 mm (Vera et al., 2019); Ventral scales 254-284 in males and 279-326 in females, and subcaudal scales (usually divided) 26-35 in males and 23-31 in females (Campbell & Lamar 2004; Rodríguez-Guerra, 2019). Individuals with yellow bands occur in western Colombia and those with white ones in eastern Colombia (Ayerbe et al., 1990; Rios-Soto et al., 2018). Captive individuals of *M. mipartitus* are known to prey on *Caecilia occidentalis*, *Pholidobolus vertebralis*, *Atractus* gr. *iridescens*, *A. lehmanni*, *Dendrophidion vivittatus*, *Erythrolamprus epinephelus* and *Sibon nebulatus* (Vera-Pérez et al., 2019), whilst *A. manizalesensis* (Rodríguez-García & Díaz-Ayala, 2015) and *Bachia bicolor* (Vera-Pérez et al., 2019) are known to be preyed upon *in situ*.

This coral snake is known to prey on caecilians, as do most other *Micrurus* (Greene, 1973; 1984; Roze, 1996: 57; Marques & Sazima, 1997), but the identity of their prey is usually not confirmed, which is unfortunate. The use of the term 'caecilian' generates ambiguity, given that *Caecilia guntheri* Dunn, 1942,

C. pulchraserrana Acosta-Galvis, Torres & Pulido-Santacruz, 2019, *C. subnigricans* Dunn, 1942, *C. thompsoni* Boulenger, 1902, *Microcaecilia nicefori* (Barbour, 1924), *M. pricei* (Dunn, 1944), *O. polyzona* and *Typhlonectes natans* (Fischer, 1880), are all found in the Magdalena Valley of Colombia. Moreover, not all species simply live underground, some are fully aquatic (e.g., *T. natans*), some live under leaf litter (e.g., *C. thompsoni*, *C. subnigricans* and *M. nicefori*) and some live within organic matter in soft, moist soils (*C. pulchraserrana* and *O. polyzona*).

In February 2020, amidst the dry season, Engineer Julio Cesar Martinez Ortega observed - unbeknownst to him - a coral snake feeding on a caecilian in Campo Opon (Fig. 1), vereda La Verde, Cimitarra municipality, Santander department, Colombia, (6.384361° N, 73.882753° W, 170 m a.s.l.; Fig. 2), during the evening hours (14:00-16:00 hrs). The engineer contacted us seeking an identification for the animals that he had photographed because he was (understandably) uncertain of what he had witnessed during his routine fieldwork (Fig. 1). The photograph clearly depicts a *M. mipartitus* coral snake feeding on a caecilian. The identity of the Amphibian would prove more challenging to establish, given that the total count of primary grooves was impossible to determine because the animal had already been eaten head-first and the first fifth of the total length was now inside the coral snake.



Figura 2. Mapa de Colombia mostrando la localidad del registro fotográfico (punto rojo) de *Micrurus mipartitus* alimentándose de *Osaecilia polyzona* en la localidad de Campo Opon, vereda La Verde, municipio de Cimitarra, departamento de Santander, Colombia.

Figure 2. Map of Colombia showing the locality of the photographic register (red dot) of *Micrurus mipartitus* feeding on *Osaecilia polyzona* in Campo Opon locality, vereda La Verde, Cimitarra municipality, Santander department, Colombia.

Aided by a HD television screen, we noted that the attacked caeciliid was *O. polyzona*, due to counts of secondary grooves ($n = 20$) and bright purple body coloration (as can be seen in Lynch & Acosta 2004: 588, Fig. 4 in there). This record constitutes the first predation case on *O. polyzona* by *M. mipartitus* and is one of the very few existing records on this genus of caecilians apart from that of Villacampa & Whitworth (2016) for *O. bassleri* and more recently that of Escalante & Amador (2020) for *O. osae*. Although there is still much left unknown about the biology and natural history of *O. polyzona*, registering the predators of the species enriches the current knowledge about its ecology, and allows us to affirm that both genera of the family Caeciliidae (i.e., *Caecilia* and *Osaecilia*) suffer attacks primarily from snakes with fossorial habits. These predator-prey dynamics can be facilitated

due to the fossorial lifestyle that brings both animals to the same environment.

Acknowledgements.— We thank Julio Cesar Martinez Ortega for sharing his excellent photograph and informing us of the event that he was able to observe during his fieldwork in Santander. Juan Carlos Sánchez-Nivicela and Sebastian Duarte Marín made very valuable comments and suggestions to the manuscript and we thank them for their input. Professors John D. Lynch at Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Juan Manuel Daza at Universidad de Antioquia, Medellín, Julio Mario Hoyos at Universidad Javeriana, Bogotá, Manuel Bernal at Universidad del Tolima, Ibagué, and Martha Patricia Ramirez at Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, allowed us to examine the available specimens of *M. mipartitus* and *O. polyzona* under their care.

CITED LITERATURE

- Ayerbe, S., M.A. Tidwell, & M. Tidwell. 1990. Observaciones sobre la biología y comportamiento de la serpiente coral “rabo de ají” (*Micrurus mipartitus*). Descripción de una subespecie nueva. *Novedades Colombianas*, Museo de Historia Natural, Universidad del Cauca, Popayán 2:30-41.
- Campbell, J.A. & W.W. Lamar. 2004. The venomous reptiles of the western hemisphere. Cornell University Press, Ithaca, NY. Comstock Publishing, Cornell University Press, Ithaca.
- Escalante, R.N. & H.S. Amador. 2020. The Osa Caecilian (*Osaecilia osae*): New localities, elevational record, and predation by a Common Black-Hawk (*Buteogallus anthracinus*). *Reptiles & Amphibians* 27:491-493.
- Greene, H.W. 1973. Defensive tail display by snakes and amphisbaenians. *Journal of Herpetology* 7:143-161.
- Greene, H.W. 1984. Feeding behavior and diet of the eastern coral snake, *Micrurus fulvius*. Special publication / University of Kansas, Museum of Natural History 10:147-162.
- Lynch, J.D. 2000. Una aproximación a las culebras ciegas de Colombia (Amphibia: Gymnophiona). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 23 (suplemento especial):317-337.
- Lynch, J.D. & A.R. Acosta. 2004. Discovery of *Osaecilia polyzona* (Amphibia: Gymnophiona: Caeciliidae) in the Middle Magdalena

- with notes on its abundance and habitat. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 28:585-589.
- Marqués, O.A.V. & I. Sazima. 1997. Diet and feeding behavior of the coral snake, *Micrurus corallinus*, from the Atlantic forest of Brazil. Herpetological Natural History 5:88-93.
- Rios-Soto, J.A., J. Arango-Lozano & F.A. Rivera Molina. 2018. *Micrurus mipartitus* (Duméril, Bibron y Duméril, 1854). Catálogo de Anfibios y Reptiles de Colombia 4:37-44.
- Rodríguez-García, C. & R.F. Díaz-Ayala. 2015. *Micrurus mipartitus* (Red-tailed coral Snake, coral rabo de ají). Diet/ophiophagy. Herpetological Review 46:275.
- Rodríguez-Guerra, A. 2019. *Micrurus mipartitus* En: Torres-Carvajal O, G. Pazmiño-Otamendi & D. Salazar-Valenzuela. 2019. Reptiles del Ecuador. Versión 2019.0. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://bioweb.bio/faunaweb/reptiliaweb/FichaEspecie/Micrurus%20mipartitus>, accessed in December 2020.
- Roze, J.A. 1996. Coral Snakes of the Americas: Biology, Identification, and Venoms. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida, U.S.A.
- Uetz, P., P. Freed & J. Hošek (eds.). 2021. The Reptile Database, <http://www.reptile-database.org>, accessed in February 2021.
- Vera-Pérez, L.E., J.A. Zuñiga-Baos & S. Ayerbe González. 2019. Nuevos registros de longitud y dieta de *Micrurus mipartitus* (Duméril, Bibron & Duméril, 1854) (Serpentes: Elapidae). Novedades Colombianas 4:49-56.
- Villacampa, J. & A. Whitworth. 2016. Predation of *Oscaecilia bassleri* (Gymnophiona: Caeciliidae) by *Anilius scytale* (Serpentes: Aniliidae) in southeast Peru. Cuadernos de herpetología 30:29-30.
- Taylor, E.H. 1968. The Caecilians of the World. A Taxonomic Review. University of Kansas Press.



OBSERVATION OF NOCTURNAL COPULATION UNDER ARTIFICIAL LIGHT IN THE BROWN ANOLE *ANOLIS SAGREI* (SQUAMATA: DACTYLOIDAE)OBSERVACIÓN DE COPULACIÓN NOCTURNA BAJO LUZ ARTIFICIAL EN EL ANOLIS CAFÉ *ANOLIS SAGREI* (SQUAMATA: DACTYLOIDAE)RAMÓN ISAAC ROJAS-GONZÁLEZ¹ *¹Dirección General Adjunta de Investigación Pesquera en el Atlántico, Instituto Nacional de Pesca y Acuacultura, Av. México 190 Col Del Carmen, Coyoacán, Ciudad de México, México.

Correspondent: isaacrojasg@gmail.com

Received: 2021-01-06. Accepted: 2021-04-26.

Resumen.— Se reporta la observación de cópula nocturna en *Anolis sagrei* bajo luz artificial; además de las conductas alimenticias, las conductas reproductivas también pueden ser afectadas por la luz artificial nocturna en esta especie invasora explotadora de ambientes urbanos.

Palabras clave.— Conducta sexual, lagartija diurna, lagartija invasora, nicho de luz nocturna.

Abstract.— Nocturnal copulation of *Anolis sagrei* under artificial light is reported; aside from feeding behaviors, reproductive behaviors can also be affected by artificial night light on this invasive urban exploiter species.

Keywords.— Diurnal lizard, invasive lizard, night-light niche, sexual behavior.

Nocturnal artificial light has different effects on herpetofauna associated to urban areas (Perry & Fisher, 2006; Perry et al., 2008; Maurer et al., 2019; Thawley & Kolbe, 2020). In lizards, the concept of "night-light niche" is used for the relatively new habitat created by the presence of artificial lights at night (Garber, 1978; Thawley & Kolbe, 2020). This term basically explains the advantages for diurnal animals of extending the foraging time and take advantage of potential prey attracted by artificial light (e.g. Zozaya et al., 2015). There is limited information on the effects of nocturnal artificial light on different aspects of lizard ecology such as reproduction, thermoregulation, growth and diverse ecological interactions (Thawley & Kolbe, 2020).

Anolis sagrei is a diurnal invasive lizard widely distributed in the Yucatán Peninsula, generally associated with areas that present human disturbance (Lee 1996; Álvarez-Romero et al. 2008). There are previous records of nocturnal foraging activity associated with artificial light for *Anolis sagrei* in Bahamas (Schwartz & Henderson, 1991), Florida, USA (Meshaka et al., 2004), Quintana Roo, México (Badillo-Saldaña et al., 2016), Guatemala (Brown & Arrivillaga, 2017), and Yucatan and Campeche, México (pers. obs.). An anecdotal observation of night copulation in *A. sagrei* at 0100 h in south Florida (Wilson and Porras, 1983) is the only

available record of nocturnal mating in these diurnal lizards under artificial light in field conditions.

Barely past sunset, at 1929 h on 25 May 2014, a couple of *Anolis sagrei* were observed copulating on a wall border (50 cm high) under artificial light (Fig. 1) at the Lerma Building of the Centro Regional de Investigación Pesquera (19° 49' 20.61" N, 90° 34' 33.32" O, 8 m s.n.m.) in Campeche, México. At night, in near zones without artificial lights, is commonly find sleeping or inactive anoles in tree branches.

Although this observation was opportunistic, similar to the reported by Wilson and Porras (1983) in South Florida, they did not mention whether the nocturnal mating event they observed occurred under artificial light. Thus, the observation presented here is the first confirmed record of nocturnal mating under artificial light in *A. sagrei*. It is remarkable because there are no other records of this nocturnal reproductive behavior in *Anolis* or in other diurnal lizards under artificial light. Artificial light conditions potentially increase the activity time; increasing feeding and reproductive times. This highlights the capacity of this lizard to exploit novel resources available in urban areas, and the potential role of artificial light in their success as an invasive



Figura 1. *Anolis sagrei* (Anolis café) copulando en la noche bajo luz artificial en la Ciudad de Campeche, México.

Figure 1. *Anolis sagrei* (Brown anoles) copulating at night under artificial light in Campeche City, Mexico.

species, which may be a result of acclimation or physiological adaptation (Kolbe et al., 2013; Thawley & Kolbe, 2020).

Despite the increasing knowledge regarding the nighttime activity of *A. sagrei* (Schwartz & Henderson, 1991; Meshaka et al., 2004; Badillo-Saldaña et al., 2016; Brown & Arrivillaga, 2017), most observations refer to feeding activity. The recording of nocturnal copulation under artificial light highlights the possible effects of this type of light in activity times, influencing sexual behavior and other aspects of the biology of *A. sagrei*. The negative and positive impacts of artificial light may play a crucial role in determining which species invade and exploit urban environments (Thawley & Kolbe, 2020). It is necessary to carry out systematic research both in the field and laboratory, to elucidate the possible effects of artificial light at night on this abundant and invasive urban exploiter species.

CITED LITERATURE

- Álvarez-Romero, J.G., R.A. Medellín, A. Oliveras de Ita, H. Gómez de Silva & O. Sánchez. 2008. *Animales Exóticos en México: Una Amenaza para la Biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Instituto de Ecología, UNAM, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. 518 pp.
- Badillo-Saldaña. L.M., C.I. Beteta-Hernández, A. Ramírez-Bautista, J.D. Lara-Tufiño & R. Pineda-López. 2016. First records of nocturnal activity in two diurnal anole species (Squamata: Dactyloidae) from Mexico. *Mesoamerican Herpetology* 3:715-718.
- Brown, T.W. & C. Arrivillaga. 2017. Nocturnal activity facilitated by artificial lighting in the diurnal *Norops sagrei* (Squamata: Dactyloidae) on Isla de Flores, Guatemala. *Mesoamerican Herpetology* 4: 637-639.
- Garber, S.D. 1978. Opportunistic feeding behavior of *Anolis cristatellus* (Iguanidae: Reptilia) in Puerto Rico. *Transactions of the Kansas Academy of Science* 81:79-80.
- Kolbe, J.J., J.C. Ehrenberger, H.A. Moniz & M. J. Angilletta Jr. 2013. Physiological variation among invasive populations of the brown anole (*Anolis sagrei*). *Physiological and Biochemical Zoology* 87:92-104.
- Lee, J.C. 1996. *The Amphibians and Reptiles of the Yucatán Peninsula*. Cornell University Press, Ithaca. New York. USA. 500 pp.
- Maurer, A.S., C.J. Thawley, A.L. Fireman, S.T. Giery & J.T. Stroud. 2019. Nocturnal activity of Antigua lizards under artificial light. *Herpetological Conservation and Biology* 14:105-110.

- Meshaka, W.E. Jr., B.P. Butterfield, & J.B. Hauge. 2004. The Exotic Amphibians and Reptiles of Florida. Krieger Publishing Company. Melbourne, Florida. USA. 155 pp.
- Perry, G., B.W. Buchanan, R.N. Fisher, M. Salmon & S. E. Wise. 2008. Effects of artificial night lighting on amphibians and reptiles in urban environments. Pp. 239-256 In J.C. Mitchell, R.E. Jung Brown & B. Bartholomew (Eds.). Urban Herpetology. Herpetological Conservation, Number 3, Society for the Study of Amphibians and reptiles, Salt Lake City, Utah, USA.
- Perry, G. & R.N. Fisher. 2006. Night lights and Reptiles: observed and potential effects. Pp. 169-191. In C. Rich & T. Longcore (Eds.). Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Island Press. Washington, D. C., USA.
- Schwartz, A. & R.W. Henderson. 1991. Amphibians and Reptiles of the West Indies: Descriptions, Distributions, and Natural History. University of Florida Press, Gainesville, Florida. USA. 714 pp.
- Thawley, C.J. & J.J. Kolbe. 2020. Artificial light at night increases growth and reproductive output in *Anolis* lizards. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 287 (1919), 20191682.
- Wilson, L.D. & L. Porras. 1983. The Ecological Impact of Man on the South Florida Herpetofauna. The University of Kansas Museum of Natural History and World Wildlife Found-US. University of Kansas, Lawrence, Kansas. USA.
- Zozaya, S.M., R.A. Alford & L. Schwarzkopf. 2015. Invasive house geckos are more willing to use artificial lights than are native geckos. *Austral Ecology* 40:982-987.



PREDATION OF *FELIS CATUS* (LINNAEUS, 1758) BY *BOA CONSTRICTOR AMARALI* (STULL, 1932)PREDAÇÃO DE *FELIS CATUS* (LINNAEUS, 1758) POR *BOA CONSTRICTOR AMARALI* (STULL, 1932)MARCOS TOKUDA^{1*} & ANDRÉ LUIZ MOTA DA COSTA¹¹Parque Zoológico Municipal Quinzinho de Barros, Sorocaba, São Paulo, Brazil.

Correspondence: marcostokuda@gmail.com

Received: 2020-12-09. Accepted: 2021-04-27.

Resumo.— A maioria dos mamíferos predados por *Boa constrictor* são primatas médios e pequenos, roedores, gambás e morcegos. Em geral, mamíferos predadores não fazem parte da dieta de *B. constrictor*. Nessa nota, relatamos a predação de *Felis catus* por *Boa constrictor amarali*. Relatos de eventos anedóticos como este são importantes para enfatizar o hábito alimentar oportunista e generalista de *B. constrictor* e sua capacidade de viver em áreas antropogenizadas.

Palavras chave.— Alimentação, jiboia-do-cerrado, boidae, gato doméstico, plasticidade comportamental.

Abstract.— The most predated mammals by *Boa constrictor* are median and small primates, rodents, opossums and bats. In general, predatory mammals are not part of the diet of *B. constrictor*. Here we report the predation of *Felis catus* by *Boa constrictor amarali*. Reports of anecdotal events like this are important to emphasize the opportunistic and generalist feeding habit of *B. constrictor* and their ability to live in an anthropogenic landscape.

Keywords.— Feeding, Amaral's Boa, boidae, domestic cat, behavioral plasticity.

Several studies showed that *Boa constrictor* is a generalist predator, feeding on mammals, birds and lizards (Martins & Oliveira, 1998; Quick et al., 2005). The most predated mammals by *B. constrictor* are median and small primates, rodents, opossums, and bats (Bakkergard & Timm, 2001; Pizzatto et al., 2009; Quintino and Bicca-Marques, 2013). In general, predatory mammals are not part of the diet of *B. constrictor*, and to our knowledge there are only two reports in literature of felids being preyed by *B. constrictor*, a *Puma yagouaroundi* (Monroy-Vilchis et al., 2011) and a *Felis catus* (Martinelli et al., 2011).

Here we report a new record of predation of *Felis catus* by *Boa constrictor amarali*. On 18 February 2019, an adult female of *B. constrictor amarali* (snout-vent length = 181 cm; tail length = 18 cm; 7.9 kg) was found in an area by a landfill in the municipality of Iperó (-23.427574, -47.549954), São Paulo State, Brazil. The landfill is surrounded by pasture and small forest fragments, and nearby there is a road (0.5 km) and a neighborhood (approximately 1.5 km).



Figura 1. Fêmea adulta de *B. constrictor amarali* e gato doméstico adulto que foi regurgitado. Foto: Ivo da Silva.

Figure 1. Adult female *B. constrictor amarali* and adult domestic cat that was regurgitated. Photo: Ivo da Silva.

The specimen was captured by the Fire Department, and few minutes later the snake regurgitated an adult domestic cat (*Felis catus*; Fig. 1). The snake was brought to the Parque Zoológico Municipal Quinzinho de Barros (PZMQB), in the municipality of Sorocaba, São Paulo State. The PZMQB, known as Sorocaba Zoo, was founded in 1968 and is a government agency. After veterinary clinical examination, *B. constrictor amarali* was released in a forest reserve.

Anthropogenic environments can provide novel opportunities to predators to feed upon preys that would not normally be in their natural diet (Fleming & Bateman, 2018). Reports of anecdotal events like this are important to emphasize the opportunistic and generalist feeding habit of *B. constrictor*, as well as their ability to live in anthropogenic landscapes. In addition, domestic cats have been documented preying upon a wide range of animal species, reducing or even extirpating native populations (Burbidge & Manly, 2002). Thus, protecting the predators of feral populations of *Felis catus* may be beneficial to ecosystem.

Acknowledgements.- We would like to thank the Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Sorocaba for the support.

CITED LITERATURE

- Bakkegard, K.A. & R.M.Timm. 2001. *Boa constrictor* (*Boa constrictor*): Diet. Herpetological Review 32:261-262.
- Burbidge, A.A. & B.F. Manly. 2002. Mammal extinctions on Australian islands: causes and conservation implications. Journal of biogeography 29:465-473.
- Fleming, P.A., & P.W. Bateman. 2018. Novel predation opportunities in anthropogenic landscapes. Animal Behaviour 138:145-155.
- Martinelli, M.M., T.A.Volpi & A.V. Matos. 2011. *Boa constrictor* (*Boa constrictor*). DIET. Herpetological Review 42:97.
- Martins, M. & M.E. Oliveira. 1998. Natural history of snakes in forests of the Manaus region, Central Amazonia, Brazil. Herpetological Natural History 6:78-150.
- Monroy-Vilchis, O., Ó. Sánchez & V. Urios. 2011. Consumo de un jaguarundi adulto *Puma yagouaroundi* (Felidae) por la serpiente *Boa constrictor* (Boidae) en el centro de México. Revista mexicana de biodiversidade 82: 319-321.
- Pizzatto, L., O. Marques & K. Facure. 2009. Food habits of Brazilian boid snakes: overview and new data, with special reference to *Corallus hortulanus*. Amphibia-Reptilia 30:533-544.
- Quick, J.S., H.K. Reinert, R. Eric & R.A. Odum. 2005. Recent occurrence and dietary habits of *Boa constrictor* on Aruba, Dutch West Indies. Journal of Herpetology 39:304-307.
- Quintino, E.P. & J.C. Bicca-Marques. 2013. Predation of *Alouatta puruensis* by *Boa constrictor*. Primates 54:325-330.



BOTHROPS JARARACA (SERPENTES: VIPERIDAE): MATING OBSERVED IN NATURE

BOTHROPS JARARACA (SERPENTES: VIPERIDAE): ACASALAMENTO OBSERVADO NA NATUREZA

SILVIA REGINA TRAVAGLIA CARDOSO^{1*}, BIANCA DOS S. MALAGOLINI² & RAFAEL FERRAZ²

¹Museu Biológico, Instituto Butantan, Avenida Vital Brazil 1500, CEP 05503-900, São Paulo, São Paulo, Brazil.

²Dimensão A – Consultoria e Projetos Ambientais, Rua bom Jesus de Pirapora, 1001, CEP 13207-605, Jundiaí, São Paulo, Brazil.

Correspondence: silvia.cardoso@butantan.gov.br

Received: 2020-10-13. Accepted: 2021-02-06.

Resumo.— Relatamos um acasalamento de *Bothrops jararaca* observado na natureza, na Serra do Japi, São Paulo, Brasil.

Palavras chave.— Acasalamento, comportamento reprodutivo, reprodução, Viperidae.

Abstract.— We report a event mating of *Bothrops jararaca* observed in the wild, in the Serra do Japi, São Paulo, Brazil.

Keywords.— mating, reproduction, reproductive behavior, Viperidae.

Snakes are difficult to study in natural environment because of their secretive habits (Sasa & Curtis, 2006; Dorcas & Willson, 2009; Steen, 2010; Clark et al., 2014), thus reports of their reproductive behavior in nature are uncommon. Here we report a mating event of *Bothrops jararaca* in its natural habitat. In Brazil, *B. jararaca* is widespread in Atlantic and Araucaria Forest, in primary forests and also disturbed areas with great anthropic influence, including agricultural áreas (Campbell & Lamar, 2004; Nogueira et al., 2020). Although a common species, mating in nature has not been reported.

The mating event was recorded on the farm “Montanhas do Japi” (23.2490° S, 46.9112° W), Serra do Japi, municipality of Jundiaí, São Paulo, Brazil, on 22 March 2018. The snakes were spotted by a group of people during Environmental Education activities on a trail in an area of the Atlantic Forest. The snakes were mating on a sunny morning, after a day of heavy rain, close to 10:00 h. The couple was on a narrow part of the trail, just after a bend, very close to a stream. The snakes were standing still on the left side of the trail, with the bodies partially overlapping and with their tails intertwined. Upon perceiving the approach of people, the snakes showed signs of agitation and the observers promptly moved away. The female started moving and the male, although stationary with the body loosely curled, ended up being dragged by the female. Without interrupting the mating, the snakes climbed the slope towards the forest. In the images (Fig. 1, A-D; lighter female; darker male) it is possible to see part of the

male hemipenis and part of the female vaginal pouch entrance everted during the movement.

This partial “eversion” of the female vaginal pouch has already been observed sometimes in captivity during mating of the genus *Bothrops* (*B. neuwiedi*, *B. fonsecai*). When disturbed, the female who is more robust, started moving around and dragging the male. Because the male’s hemipenis is still turgid, the movement causes the initial portion of the female vaginal pouch to be exposed. The Fig. 2 shows in detail the partial eversion of the female vaginal pouch, during a mating of *B. neuwiedi* in captivity.

Due to local conditions, it was not possible to accurately assess the difference in length of the snakes, but it was possible to observe that the female was longer and more robust than the male. This observation is in agreement with sexual dimorphism described for adults of this species (Sazima, 1992; Travaglia-Cardoso, 2001; Furtado et al., 2006). Furthermore, it was not possible to observe in detail the behavioral actions that are part of a mating event, nor the duration of that event. Any insistence on approaching and chasing the snakes would possibly interrupt the mating, which is often long. Our observation in nature (mating in end of March) corroborates the available information about the reproductive cycle of the species, described as seasonal and biennial, with matings occurring in late summer and autumn and births in summer (Sazima, 1992; Almeida-Santos & Orsi, 2002; Almeida-Santos & Salomão, 2002). In captivity, late births

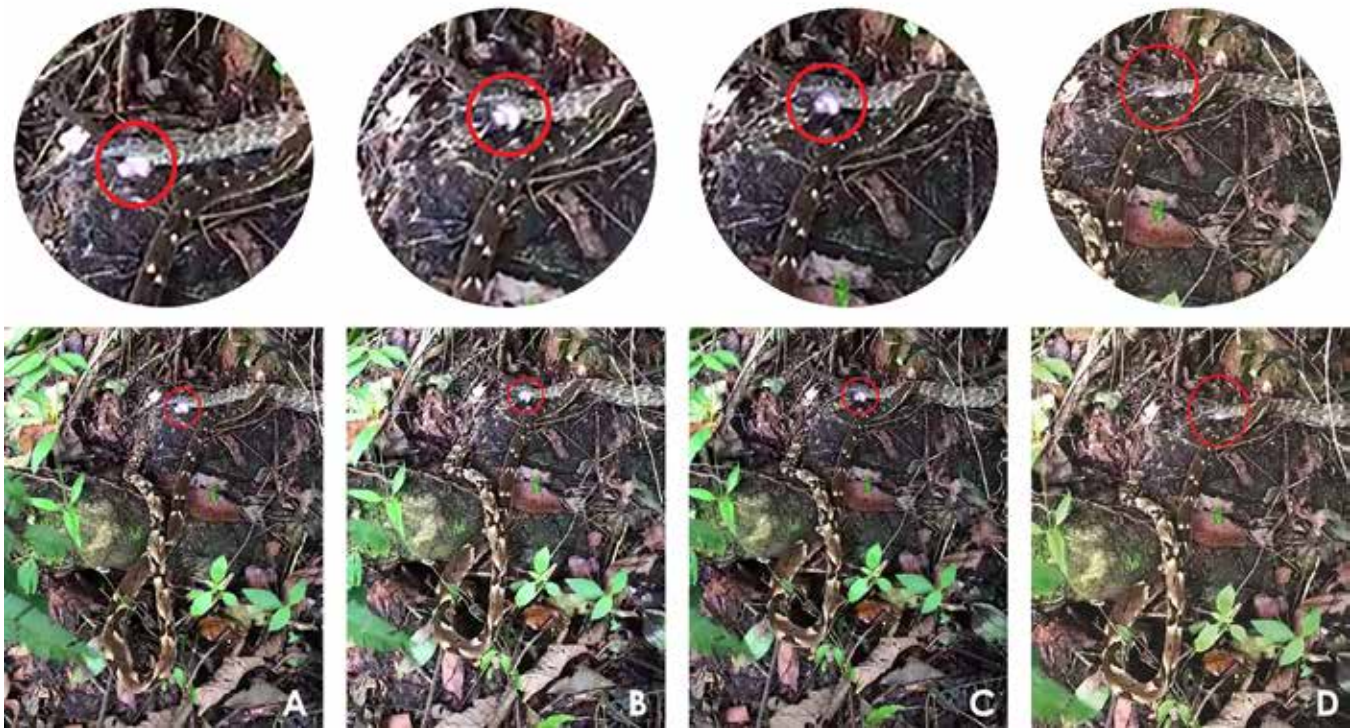


Figura 1 (A-D). – *B. jararaca* – acasalamento na natureza (mais clara fêmea; mais escuro macho). A fêmea começou a se locomover e o macho foi “arrastado” pela fêmea. Observar parte do hemipênis do macho, e parte da entrada da bolsa vaginal da fêmea evertida (101.LEEV_RLH). Photo: Rafael Ferraz.

Figure 1 (A-D). – *B. jararaca* – mating in nature (lighter female; darker male). Female started moving and the male ended up being “dragged” by the female. Observe part of the male hemipenis, and part of the female vaginal pouch entrance everted (101.LEEV_RLH). Foto: Rafael Ferraz.

were recorded until April (n=2) (Travaglia-Cardoso, 2001), and matings (n=10) recorded in autumn and winter (June to August) with duration ranging from 6: 20 h to more of 8:00 h (senior author *unpublished data*).

The images were deposited in the “Photo Bank GERES – LEEV”, Figure 1: Number 101_LEEV_RLH; Figure 2: Number 102_LEEV_RLH.

CITED LITERATURE

- Almeida-Santos, S. M. & A. M. Orsi. 2002. Ciclo reprodutivo de *Crotalus durissus* e *Bothrops jararaca* (Serpentes, Viperidae): morfologia e função do oviduto. *Revista Brasileira de Reprodução Animal* 26: 109-112.
- Almeida-Santos, S. M. & M. G. Salomão. 2002. Reproduction in neotropical pitvipers, with emphasis on species of the genus *Bothrops*. Pp. 445-462. In: G. W. Schuett, M. Höggren, M.E. Douglas & H.W. Greene (Eds.). *Biology of the vipers*. Eagle Mountain Publishing, Utah, United States.
- Campbell, J. A. & W.W. Lamar. 2004. *The venomous reptiles of the western hemisphere*. Cornell University Press, Ithaca, United States.
- Clark, R.W., G. W. Schuett, R.A. Repp, M. Amarello, C.F. Smith & H.W. Herrmann. 2014. Mating Systems, Reproductive Success, and Sexual Selection in Secretive Species: A Case Study of the Western Diamond-Backed Rattlesnake, *Crotalus atrox*. *Plos One* 9: 1-12.



Figura 2. Detalhe de parte do hemipenis e parte exposta da bolsa vaginal da fêmea (*B. neuwiedi*, durante acasalamento em cativeiro); (102_LEEV_RLH). Foto: Silvia Cardoso.

Figure 2. Detail of part of hemipenis and portion of the female vaginal pouch exposed (*B. neuwiedi*, during mating in captivity); (102_LEEV_RLH). Photo: Silvia Cardoso.

- Dorcas, M.E. & J.D. Willson. 2009. Innovative methods for studies of snake ecology and conservation. Pp. 5–37. In S.J. Mullin & R.A. Seigel (Eds.). *Snakes: Ecology and Conservation*. Cornell University Press, Ithaca, United States.
- Furtado, M. F.D., S.R. Travaglia-Cardoso & M. M. T. Rocha. 2006. Sexual dimorphism in venom of *Bothrops jararaca* (Serpentes: Viperidae). *Toxicon* 48: 401-410.
- Nogueira, C.C., A.J.S. Argôlo, V. Arzamendia, J.A. Azevedo, F.E. Barbo, R.S. Bérnils, B.E. Bolochio, M. Borges-Martins, M. Brasil-Godinho, H. Braz, M.A. Buononato, D.F. Cisneros-Heredia, G.R. Colli, H.C. Costa, F.L. Franco, A. Giraudo, R.C. Gonzalez, T. Guedes, M.S. Hoogmoed, O.A.V. Marques, G.G. Montingelli, P. Passos, A.L.C. Prudente, G.A. Rivas, P.M. Sanchez, F.C. Serrano, N.J. Silva Jr., C. Strüssmann, J.P.S. Vieira-Alencar, H. Zaher, R.J. Sawaya, M. Martins. 2020. Atlas of Brazilian Snakes: Verified Point-Localty Maps to Mitigate the Wallacean Shortfall in a Megadiverse Snake Fauna. *South American Journal of Herpetology* 14: 1-274.
- Sasa, M & S. Curtis. 2006. Field observations of mating behavior in the Neck-banded Snake *Scaphiodontophis annulatus* (Serpentes, Colubridae). *Revista de Biología Tropical* 54: 647-650.
- Steen, D.A. 2010. Snakes in the grass: secretive natural histories defy both conventional and progressive statistics. *Herpetological Conservation and Biology* 5: 183-188.
- Travaglia-Cardoso, S. R. 2001. Estratégias reprodutivas de *Bothrops jararaca* (Serpentes, Viperidae). Dissertação de Mestrado. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. Brasil.



NUEVOS REGISTROS DE LA LAGARTIJA INTRODUCIDA *ANOLIS SAGREI* (SQUAMATA: DACTYLOIDAE) EN EL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO

NEW RECORDS OF THE INTRODUCED LIZARD *ANOLIS SAGREI* (SQUAMATA: DACTYLOIDAE) IN THE STATE OF VERACRUZ, MEXICO

VÍCTOR VÁSQUEZ-CRUZ^{1*}, ARLETH REYNOSO-MARTÍNEZ¹, LANDET GONZÁLEZ-GALINDO² & OSCAR CID-MORA³

¹PIMVS Herpetario Palancoatl, Avenida 19 número 5525, Colonia Nueva Esperanza, Córdoba, Veracruz, México.

²Providencia, Cuichapa, Veracruz, México.

³Centro de Estudios Geográficos, Biológicos y comunitarios, S. C. (Geobicom), Calle Santa María 13, U. Hab. San Román, Córdoba, Veracruz, 94542, México.

Correspondence: : victorbiolvc@gmail.com

Received: 2020-12-16. Accepted: 2021-03-29.

Abstract.— *Anolis sagrei* is a native species from Bahamas, the Cuba Archipelago, and Little Cayman that has been introduced in different parts of the world. This species has been recorded in several locations of Mexico, including state of Veracruz. Herein, we report three new localities for this species that complement the knowledge of its distribution in the state of Veracruz.

Keywords.— Cuban brown anole, Dactyloidae, expansion of the distribution range, introduced species.

Resumen.— *Anolis sagrei* es una especie nativa de Bahamas, el archipiélago de Cuba y Pequeño Caimán que se ha introducido en diferentes partes del mundo. Esta especie ha sido registrada en varios lugares de México, incluido el estado de Veracruz. Aquí, reportamos tres nuevas localidades para esta especie que complementan el conocimiento de su distribución en el estado de Veracruz.

Palabras clave.— Anolis pardo cubano, Dactyloidae, especies introducidas, expansión de distribución.

Anolis sagrei (Duméril & Bibron, 1837) es una especie originaria de Cuba, de Las Bahamas e islas aledañas (Powell & Henderson, 2012). En México es considerada invasora y a nuestro conocimiento, los primeros registros ocurrieron en los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán por Smith (1938). Posteriormente se ha registrado en los estados de Chiapas, Jalisco, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz, Campeche, Quintana Roo y Yucatán, siendo estos últimos tres los que poseen el 70 % de los registros (Vásquez-Cruz et al., 2020). En los últimos 20 años los registros de la especie se han extendido por el Golfo de México hacia los estados de Tabasco y Veracruz, principalmente en áreas urbanas (Vásquez-Cruz et al., 2020). Particularmente, en el estado de Veracruz se ha reportado formalmente en siete municipios: Boca del Río, Yanga, Alvarado, Córdoba, Banderilla, Los Tuxtlas y Minatitlán (Vásquez-Cruz et al., 2020).

Figure 1. Individuals of *Anolis sagrei* (LACM PC 2668) from the municipality of Veracruz, Mexico. A) Individuals fighting. B) Individuals exhibiting push up behavior.

Figura 1. Individuos de *Anolis sagrei* (LACM PC 2668) del municipio de Veracruz, México. A) Individuos combatiendo. B) Individuos exhibiendo comportamiento de flexión.



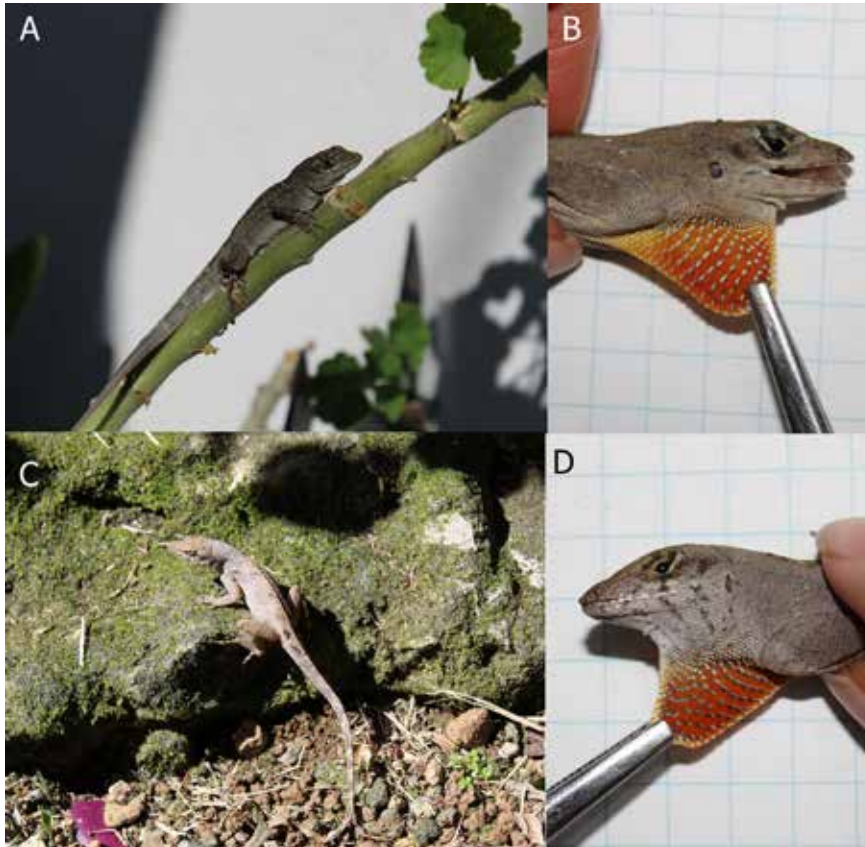


Figure 2. Individuals of *Anolis sagrei* from the municipality of Cuichapa, Mexico. (A, B) A male individual adult with voucher LACM PC 2680 and (C, D) a male individual with voucher LACM PC 2681.

Figura 2. Individuos de *Anolis sagrei* del municipio de Cuichapa, México. (A, B) Individuo adulto macho con vales LACM PC 2680 y (C, D) un individuo macho con voucher LACM PC 2681.

Aquí, presentamos tres nuevos registros municipales para *A. sagrei* en el estado de Veracruz (Tabla 1). Estos registros son resultado de observaciones casuales. Depositamos vales fotográficos digitales en el Natural History Museum of Los Angeles County (LACM PC). Identificamos *A. sagrei* con base en tres caracteres de diagnóstico: cola comprimida lateralmente, abanico gular anaranjada a roja con un margen amarillo y

las escamas de la cola (incluidas las subcaudales) son más puntiagudas y fuertemente quilla (Norval et al., 2002; Köhler, 2008).

El 31 de julio del 2020, alrededor de las 1300 horas, observamos a tres individuos machos de la especie *A. sagrei* en el interior de un jardín privado localizado en el municipio de Veracruz

Table 1. Previous and current records of the distribution of *Anolis sagrei* in Veracruz, Mexico. / **Tabla 1.** Registros previos y actuales de la distribución de *Anolis sagrei* en Veracruz, México.

Municipio	Localidad	Coordenadas	Referencia/Voucher
Alvarado	Colonia Los Aguacates	18.77747° N, 95.769° W	Vásquez-Cruz et al., 2020
Alvarado	Mandinga	19.01960° N, 96.08539° W	Toscano-Flores y Calzada-Arciniega 2015
Banderilla	Esquilón, entre Banderillas y Jilotepec	19.60833° N, 96.975° W	MZFC 5479
Boca del Río	Colonia Las Vegas	19.13850° N, 96.13130° W	Vásquez-Cruz et al., 2020
Córdoba	Córdoba	18.88317° N, 96.92417° W	Venero-Tlázalo et al. 2017
Cosamaloapan	Gabino Barreda	18.18987° N, 96.09536° W	LACM PC 2679 / este trabajo
Cuichapa	La Providencia	18.75558° N, 96.76908° W	LACM PC 2680-2681/ este trabajo
Los Tuxtlas	Catemaco	18.423° N, 95.116° W	González-Soriano et al. 1997
Minatitlán	ca. 1 km N de Minatitlán	18.02777° N, 94.56694° W	Zamora-Abrego et al. 2006
Veracruz	Calzada Costa Verde	19.16911° N, 96.11845° W	LACM PC 2668/ este trabajo
Yanga	2.5 km O de Yanga	18.83632° N, 96.80701° W	Vásquez-Cruz et al., 2020

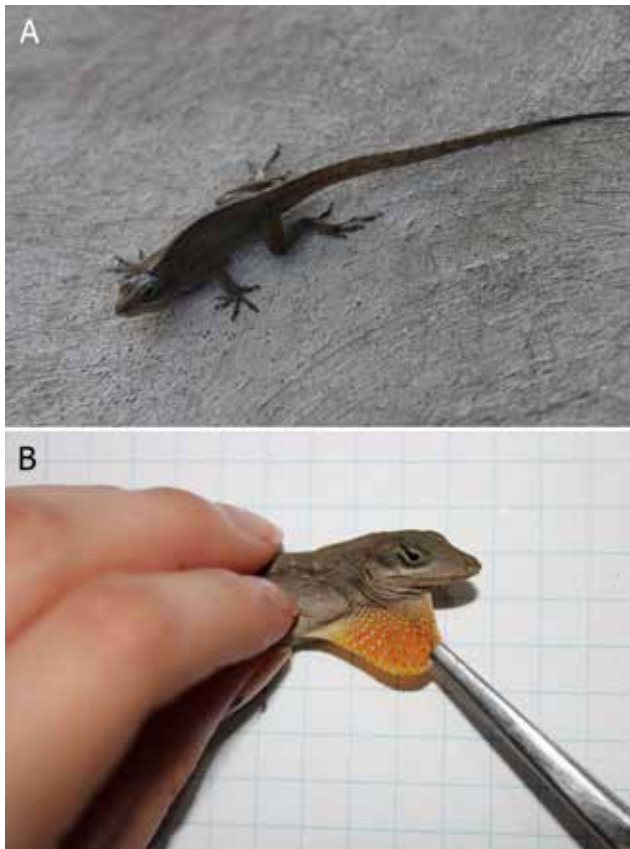


Figure 3. (A) An individual of *Anolis sagrei* (LACM PC 2679) from the municipality of Cosamaloapan de Carpio, Veracruz, Mexico. (B) view of the gular fan.

Figura 3. (A) Un individuo de *Anolis sagrei* (LACM PC 2679) del municipio de Cosamaloapan de Carpio, Veracruz, México. (B) vista del abanico gular.

(Calzada Costa Verde) (19.16911° N, 96.11845° W, WGS 84, elev. 10 m. s.n.m.). Estos individuos se encontraban exhibiendo comportamiento de flexión o push up y cambios de coloración de marrón a negro (aun visible el patrón), no hubo extensión de la gula, ya que se encontraban en eventos de combate agresivo entre los tres individuos (LACM PC 2668; Fig. 1). Este registro se encuentra a 3.5 km N (línea aérea) del registro previamente conocido más cercano en la colonia Las Vegas, en el municipio de Boca del Río (LACM PC 2471; Vásquez-Cruz et al., 2020).

El 10 de noviembre del 2020, alrededor de las 1400 horas, observamos al menos diez individuos adultos de la especie *A. sagrei* en el interior de un jardín entre plantas ornamentales cerca del ingenio azucarero en la localidad de Providencia, en el municipio de Cuichapa (18.75558° N, 96.76908° O, WGS 84, elev. 395 m s.n.m.). De estas lagartijas se fotografiaron dos machos adultos (LACM PC 2680; LACM PC 2681; Fig. 2). Este registro se encuentra a 9.6 km S (línea aérea) del registro previamente

conocido más cercano en la localidad de Yanga, en el Municipio de Yanga (LACM PC 2466; Vásquez-Cruz et al., 2020).

El 19 de noviembre del 2020, alrededor de las 1200 horas, observamos a 6 individuos adultos (2 machos y 4 hembras) en la localidad de Gabino Barrera en el municipio de Cosamaloapan de Carpio (18.1898° N, 96.0953° O, WGS 84, elev. 40 m s.n.m.) dentro de un vivero de plantas ornamentales. Este registro (LACM PC 2679; Fig. 3) se encuentra a 73 km SO (línea aérea) del registro previamente conocido más cercano en la localidad de Mandinga, en el Municipio de Alvarado (MZFC 27327; Toscano-Flores & Calzada-Arciniega, 2015).

Si bien, los registros pertenecientes a los municipios de Cuichapa y Veracruz, se encuentran a poca distancia de los reportados en el municipio de Yanga y Boca del Río respectivamente, estos verifican la presencia de la especie en municipios cercanos y muy posiblemente por colonización natural progresiva como lo sugieren Vásquez-Cruz et al., (2020) o a través de plantas ornamentales, como lo han sugerido otros autores (e.g. Norval et al., 2002). En cuanto al establecimiento de la especie en la localidad de Gabino Barrera en el municipio de Cosamaloapan de Carpio, aparentemente ha sido reciente, ya que en visitas anteriores al vivero y alrededores en 2018 y 2019 no se observaron. En este último caso, las plantas ornamentales parecen ser la razón más obvia de la colonización.

La distribución de *A. sagrei* se extiende más hacia el centro-oeste del estado (Fig. 4). El incremento de los registros de *A. sagrei* en un corto tiempo sugiere que su distribución en el Golfo de México es mayor de lo que se conoce y es posible que se esté extendiendo al interior del país y en la región norte del estado de Oaxaca que colinda con la localidad de Gabino Barrera en Veracruz. Es necesario realizar muestreos en localidades que colinden con las conocidas hasta el momento, lo que permitirá conocer la distribución actual de la especie y su posible impacto en las especies nativas.

Agradecimientos.— A María del Mar Rivera Zilli por proporcionar la foto de la observación, a Neftalí Camacho por catalogar las fotografías digitales. A dos revisores anónimos por sus valiosos comentarios.

LITERATURA CITADA

González Soriano E., R. Dirzo & C. Vogt (Eds.). 1997. Historia Natural de Los Tuxtlas. UNAM, Instituto de Biología, México, D.F.

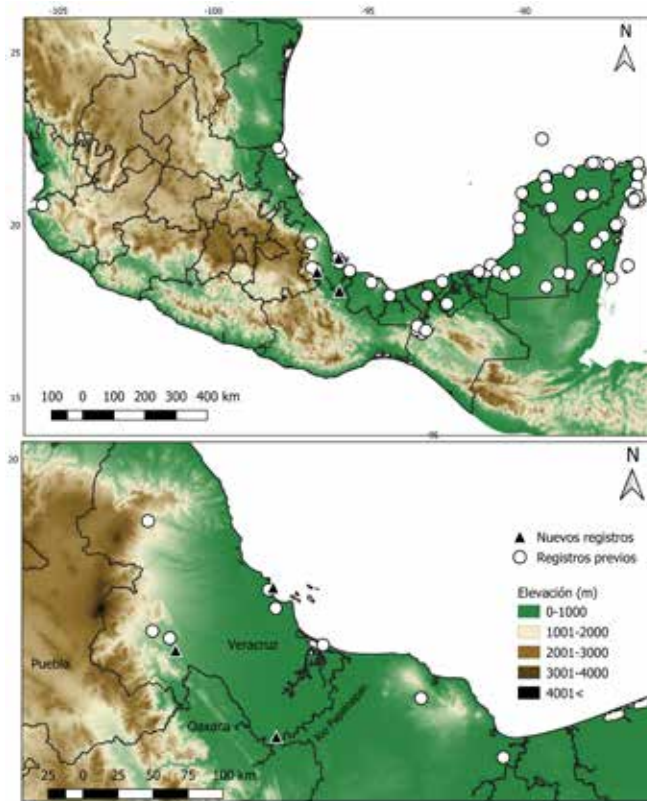


Figure 4. Map of *Anolis sagrei* distribution points in México and in the municipalities of state of Veracruz.

Figura 4. Mapa de puntos de registro de *Anolis sagrei* en México y en los municipios del Estado de Veracruz, México.

Köhler, G. 2008. Reptiles of Central America. 2nd edition. Herpeton Verlag, Offenbach, Germany.

Norval, G., J.J. Mao, H.P. Chu & L.C. Chen. 2022. A New Record of an Introduced Species, the Brown Anole (*Anolis sagrei*) (Duméril & Bibron, 1837), in Taiwan. *Zoological Studies* 41:332-336

Powell, R. & R.W. Henderson. 2012. Island lists of West Indian amphibians and reptiles. *Bulletin of the Florida Museum of Natural History* 51:85-166.

Toscano-Flores, C. & R.A. Calzada-Arciniega. 2015. Geographic distribution: *Anolis sagrei* (Brown Anole). *Herpetological Review* 46:215.

Vásquez-Cruz, V., A. Reynoso-Martínez, A. Fuentes-Moreno & L. Canseco-Márquez. 2020. The Distribution of Cuban Brown Anoles, *Anolis sagrei* (Squamata: Dactyloidae), in Mexico, with New Records and Comments on Ecological Interactions. *IRCF Reptiles & Amphibians* 27:29-35.

Venerozo-Tlazalo, D.G., R. Serna-Lagunes & V. Vásquez-Cruz. 2017. *Norops sagrei* (Duméril & Bibron, 1837). Mexico, Veracruz. *Mesoamerican Herpetology* 4:197-198.

Zamora-Abrego, J.G., U.O. García-Vázquez, A. Nieto-Montes de Oca & L. Canseco-Márquez. 2006. Geographic distribution: *Anolis sagrei* (Brown Anole). *Herpetological Review* 37:493.



INTENTO DE DEPREDACIÓN DE NIDO DE COCODRILO DE PANTANO *CROCODYLUS MORELETII* (CROCODYLIDAE) EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA SIAN KAAN, QUINTANA ROO, MÉXICO

DEPREDATION ATTEMPT ON A MORELET'S CROCODILE *CROCODYLUS MORELETII* (CROCODYLIDAE) NEST IN THE
SIAN KA'AN BIOSPHERE RESERVE, QUINTANA ROO, MÉXICO

ALEJANDRO VILLEGAS^{1,2*}, ÁNGEL ECHEVERRÍA², JESÚS VÁZQUEZ-RAMOS², CARLOS GONZÁLEZ-REBELES³ &
RAÚL ULLOA-ARVIZU⁴

¹Laboratorio de Vertebrados, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, CP 04510, Ciudad de México.

²Ciencia y Comunidad por la Conservación A. C., Camino a Santa Fe, Álvaro Obregón, C. P. 01209, Ciudad de México.

³Depto. de Etología, Fauna Silvestre y Animales de Laboratorio, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, CP 04510, Ciudad de México.

⁴Depto. de Genética y Bioestadística, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México, C. P. 04510, Ciudad de México.

Correspondence: : alejandrovillegasmx@yahoo.com

Received: 2020-07-23. Accepted: 2021-01-02.

Abstract.— A record by camera traps of an attempted depredation on a Morelet's crocodile nest by a raccoon in the Sian Ka'an Biosphere Reserve, Quintana Roo, Mexico. Nests predation is one of the main causes of crocodile egg mortality. The images presented here were captured in a wild nest with a camera trap and show clear evidence of interactions between these two species.

Keywords.— Camera traps, eggs, raccoon, monitoring, Múyil.

Resumen.— Se presenta un registro con foto trampas sobre un intento de depredación de un nido de cocodrilo de pantano por un mapache en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Quintana Roo, México. La depredación de nidos es una de las principales causas de mortalidad de huevos en cocodrilos. Estas imágenes fueron captadas en un nido silvestre y muestran una clara evidencia de las interacciones entre estas dos especies.

Palabras clave.— Cámara trampa, huevos, mapache, monitoreo, Múyil.

El cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*) se distribuye en el sureste de México, norte de Guatemala y Belice (Ross, 1998). En México habita principalmente en humedales de agua dulce a través de la planicie costera del Golfo de México y la península de Yucatán (Lazcano-Barrero, 1990) pero también se le ha encontrado en aguas salobres o salinas (Villegas, 2006; Platt et al., 2010). En Quintana Roo habita en la mayoría de los cuerpos de agua continentales: lagunas interiores, cenotes, aguadas, canales, pequeñas pozas en sabanas y en el Río Hondo (Cedeño-Vázquez et al., 2006, Cedeño-Vázquez 2011). Tiene un papel importante como depredador tope en el control del tamaño poblacional de sus presas (Somaweera et al., 2020), y en el reciclaje de nutrientes al incorporar sus desechos al medio acuático (Platt et al., 2010). Así mismo, contribuye en el mantenimiento de las condiciones hídricas al abrir canales que comunican a los cuerpos de agua

entre sí (Somaweera et al., 2020); mientras que durante la época de sequía construyen pozas circulares en zonas pantanosas, que son el único refugio de algunas especies de la fauna acuática (Cedeño-Vázquez, 2011).

Esta especie está protegida por la legislación mexicana NOM-059-2010 catalogada como especie con "protección especial" (DOF, 2010). Está considerada con "menor preocupación" por la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y, está en el Apéndice II por la Convención Internacional para el Comercio de Flora y Fauna Silvestre (CITES, por sus siglas en inglés), excepto las poblaciones de Guatemala (CITES, 2020). Las descripciones de aspectos ecológicos de las especies, incluida la distribución y la abundancia asociadas con los estudios de la dinámica de las poblaciones, suelen ser el



Figure 1. Images captured by the camera trap in the nest of *Crocodylus moreletii*. A) Nest of *C. moreletii* in the foreground, built with plant matter; B) a raccoon is observed on the left side climbing the nest mound; C) the raccoon is observed digging at the top of the nest looking for the incubation chamber; D) the raccoon on top of the nesting mound looking for the crocodile's eggs.

Figura 1. Imágenes captadas por la cámara trampa en el nido de *Crocodylus moreletii*. A) nido de *C. moreletii* en primer plano, construido con materia vegetal; B) se observa en la parte izquierda a un mapache subiendo al montículo del nido; C) se observa al mapache escarbando en la cima del nido buscando la cámara de incubación; D) el mapache en la cima del montículo de anidación buscando los huevos del cocodrilo.

primer paso para obtener información básica para su gestión (Thorbjarnarson & Hernández, 1993). Lo anterior es importante ya que los cocodrilos, tienen mucha importancia tanto para las personas como para el medio ambiente, ya que es un recurso natural fundamental y contribuye al mantenimiento de los servicios ecológicos y la salud del ecosistema. Están sujetos a una extensa variedad de usos que, en general, están clasificados en dos categorías: el uso extractivo así como el uso no extractivo (Lichtenstein, 2009).

Los estudios sobre la reproducción son básicos durante la temporada de anidación, ya que es considerado el período más vulnerable en la vida de los cocodrilos (Mazzotti, 1989). El cocodrilo de pantano, es la única especie de *Crocodylus* en el Nuevo Mundo que construye nidos de montículos de desechos de plantas (Thorbjarnarson, 1996). Para hacer el nido, la hembra

recoge basura y arranca hierbas y plantas en un radio de seis metros acumulando todo en el centro, depositando de 20 a 40 huevos según el tamaño de la hembra (Álvarez del Toro 1974; Casas-Andreu & Rogel-Bahena, 1986; López-Luna et al., 2011, Villegas et al., 2017).

Algunos autores como Mazzotti et al. (1988), Mazzotti (1989), Casas-Andreu (2003) en *C. acutus*; y Platt et al. (2008) y Villegas et al. (2017) en *C. moreletii*, han documentado que una de las principales causas de mortalidad de huevos de cocodrilos es por la depredación de los nidos. Se ha reportado que los mapaches suelen depredar los nidos de cocodrilos (Mazzotti, 1989; Platt et al., 2008), pero también los tlacuaches han sido registrados como depredadores de huevos de *C. moreletii* (Villegas et al., 2017), sin embargo, no se ha registrado en México la depredación de nidos de cocodrilo de pantano por mapaches.

En este documento se presenta el primer caso registrando con cámaras trampa de la búsqueda de huevos en un nido de cocodrilo por un mapache (*Procyon lotor*) en la Reserva de la Biósfera Sian Ka'an. Esta Área Natural protegida (ANP) se encuentra en la costa oriental de la península de Yucatán en el estado de Quintana Roo; es una de las ANP más grandes de México, establecida para administrar 528,148 hectáreas de ecosistemas marinos, costeros y terrestres intrincadamente vinculados (UNESCO, 2020). Generalmente el cocodrilo de pantano se le encuentra en la zona norte de la reserva, en las lagunas de Chunyaxché y Muyil (Lazcano-Barrero, 1990, Gómez-Hernández, 2004).

Durante los meses de julio a septiembre de 2018, se colocó una cámara trampa en uno de los nidos monitoreados en la reserva. El objetivo fue documentar mediante imágenes algún tipo de disturbio en el mismo (depredación natural o saqueo por humanos). La elección de poner una cámara trampa en el nido fue porque presentaba un sustrato y un arbusto firme donde sujetar el dispositivo. El nido fue ubicado en las coordenadas 20° 03.923' N, 87° 35.986' O en la laguna Muyil. Esta zona está considerada como área de anidación, pues existen otros registros de más nidos de cocodrilo relativamente cerca unos de otros (Gómez-Hernández *com. pers.*). La figura 1, muestra una foto del nido tomada por la cámara trampa activa: A) en el día 28/07/2018, se puede apreciar en primer plano el montículo de material vegetal con que fue construido; B) en una foto tomada el 29/07/2018, se observa a un mapache caminando sobre el nido; C) y D) inmediatamente después se observa al mapache excavando el nido en busca de la cámara de incubación de los huevos.

Por visitas posteriores en el monitoreo del nido, se constató que el mapache no logró depredar ningún huevo, no se observaron rastros de la apertura completa del nido ni de cascarones alrededor del mismo. Es muy probable que la cámara de incubación se encontraba mucho más profunda y el mapache no logró encontrarla. En experiencias que el primer autor (AV) ha tenido en el estudio de nidos de cocodrilos, se ha observado que cuando los nidos son depredados, los cascarones de los huevos se presentan regados por el sitio y el nido es encontrado completamente desecho.

Este registro, presenta en imágenes, evidencia de que los mapaches (*Procyon lotor*) son probablemente un potencial depredador natural de huevos de cocodrilo de pantano (*C. moreletii*) en la zona norte de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. Aunque se ha documentado que los mapaches son los principales depredadores de nidos en todos los lugares donde los cocodrilos ocurren (Mazzotti, 1989; Platt et al., 2008), este

registro presenta de manera clara esta relación ecológica entre mapaches y cocodrilos.

Agradecimientos.— Agradecemos a Yadira Gómez y a Omar Ortíz por su apoyo logístico en Sian Ka'an. También agradecemos al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica, UNAM (PAPIIT IN222017). El permiso de colecta para el monitoreo de nidos fue el SGPA/DGVS/003063/18.

LITERATURA

- Álvarez del Toro, M. 1974. Los Crocodylia de México. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, México.
- Casas-Andreu, G. 1995. Los cocodrilos de México como recurso natural. Presente, pasado y futuro. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural 46:153-162.
- Casas-Andreu, G. 2003. Ecología de la anidación de *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) en la desembocadura del Río Cuitzmala, Jalisco, México. Acta Zoológica Mexicana 89:111-128.
- Casas-Andreu, G. & A. Rogel-Bahena. 1986. Observaciones sobre los nidos y las nidadas de *Crocodylus moreletii* en México. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología Universidad Nacional Autónoma de México 13:323-330.
- Cedeño-Vázquez, J.R. 2011. El cocodrilo: recurso milenario. Pp. 234-240. En: C. Pozo, N. Armijo-Canto & S. Calmé (Eds). Riqueza biológica de Quintana Roo. Un análisis para su conservación, Tomo 1. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones (PPD), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México.
- Cedeño-Vázquez, J.R., J.P. Ross & S. Calmé. 2006. Population status and distribution of *Crocodylus acutus* and *C. moreletii* in southeastern Quintana Roo, Mexico. Herpetological Natural History 10:53-66.
- CITES. 2020. Checklist CITES species. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. <http://www.checklist.cites.org> [Consultado en julio 2020].
- DOF. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental de especies nativas de México de flora y fauna silvestres. https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091 [Consultado diciembre 2020].

- Gómez-Hernández, Y. 2004. Hábitos alimentarios del cocodrilo de río (*Crocodylus acutus*) y del cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*) en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Quintana Roo, México. Informe Final de Servicio Social, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México.
- Lazcano-Barrero, M.A. 1990. Conservación de Cocodrilos en Sian Ka'an. Boletín Amigos de Sian Ka'an 6:16.
- López-Luna, M.A., M.G. Hidalgo-Mihart & G. Aguirre-León. 2011. Descripción de los nidos del Cocodrilo de pantano *Crocodylus moreletii* en un paisaje urbanizado en el sureste de México. Acta Zoológica Mexicana 27:1-16.
- Lichtenstein, G. 2009. Vicuña conservation and poverty alleviation? Andean communities and international fibre markets. International Journal of the Commons 4:100-121.
- Mazzotti, F.J. 1989. Factors affecting the nesting success of the American crocodile, *Crocodylus acutus*, in Florida bay. Bulletin of Marine Science 44:220-228.
- Mazzotti, F.J., J.A. Kushlan & A. Dunbar-Cooper. 1988. Desiccation and cryptic nest flooding as probable causes of egg mortality in the American crocodile, *Crocodylus acutus*, in Everglades National Park, Florida. Florida Scientist 51:50-72.
- Platt, S.G., Rainwater, T.R., Thorbjarnarson, J.B., & S.T. McMurry. 2008. Reproductive dynamics of a tropical freshwater crocodilian: Morelet's crocodile in northern Belize. Journal of Zoology 275:177-189.
- Platt, S.G., L. Sigler & T.R. Rainwater. 2010. Morelet's Crocodile *Crocodylus moreletii*. Pp. 79-83. En: S. C. Manolis & C. Stevenson (Eds). Crocodiles. Status Survey and Conservation Action Plan. Crocodile Specialist Group, Third Edition, Australia.
- Ross, J.P. 1998. Crocodiles. Status survey and conservation action plan. IUCN/SSC. Crocodiles Specialist Group, 2nd Edition. Gland, Switzerland.
- Somaweera, R., J. Nifong, A. Rosenblatt, M.L. Brien, X. Combrink, R.M.E. G. Grigg, W.E. Magnusson, F.J. Mazzotti, A. Percy, S.G. Platt, M.H. Shirley, M. Tellez, J van der Ploeg, G. Webb, R. Whitaker & B.L. Webber. 2020. The ecological importance of crocodylians: towards evidence-based justification for their conservation. Biological Reviews 95:936-959.
- Thorbjarnarson, J.B. 1996. Reproductive characteristics of the Order Crocodylia. Herpetologica 52:8-24.
- Thorbjarnarson, J.B. & G. Hernández. 1993. Reproductive ecology of the Orinoco crocodile (*Crocodylus intermedius*) in Venezuela. I. Nesting ecology and egg and clutch relationships. Journal of Herpetology 27:363-370.
- UNESCO. 2020. Sian Ka'an. <https://whc.unesco.org/en/list/410/> [Consultado en julio 2020].
- Villegas, A. 2006. Record of Morelet's crocodile in coastal lagoons in south Quintana Roo. Crocodile Specialist Group Newsletter 25:8-9.
- Villegas, A., G.D. Mendoza, J.L. Arcos-García & V.H. Reynoso. 2017. Nesting of Morelet's crocodile, *Crocodylus moreletii* (Dumeril and Bibron), in los Tuxtlas, Mexico. Brazilian Journal of Biology 77:724-730.



KINOSTERNON HERRERAI (KINOSTERNIDAE)

JUAN M. DÍAZ-GARCÍA^{1, 2*} & JORGE RAMOS-LUNA²

¹Red de Ciencias Biológicas. Colectivo Xanay. Venustiano Carranza 34, Colonia Benito Juárez, Orizaba, Veracruz, 94390, México.

²Red de Biología y Conservación de Vertebrados. Instituto de Ecología A.C.. Carretera antigua a Coatepec 351, Colonia El Haya, Xalapa, Veracruz, 91073, México.

Correspondence: juanm.diazgarcia@gmail.com

Received: 2020-12-28. Accepted: 2021-02-25.

México: Puebla: Olintla: Bibiano Hernández (20.081707°N, 97.696811°W; WGS84; 860 m s.n.m). 7 de julio de 2020. Encontramos un individuo macho adulto de la especie *Kinosternon herrerae* (longitud de caparacho = 12.5 cm, longitud de plastrón = 9.8 cm), cerca de un cuerpo de agua temporal cubierto por lirio

acuático (*Eichhornia crassipes*), en medio de un pastizal ganadero (Fig. 1A). El individuo representa el primer registro de la especie para el municipio de Olintla, Puebla y para esa zona de Sierra Norte de Puebla, México. El registro expande la distribución de la especie 19.7 km lineales al noroeste del municipio de Cuetzalan,

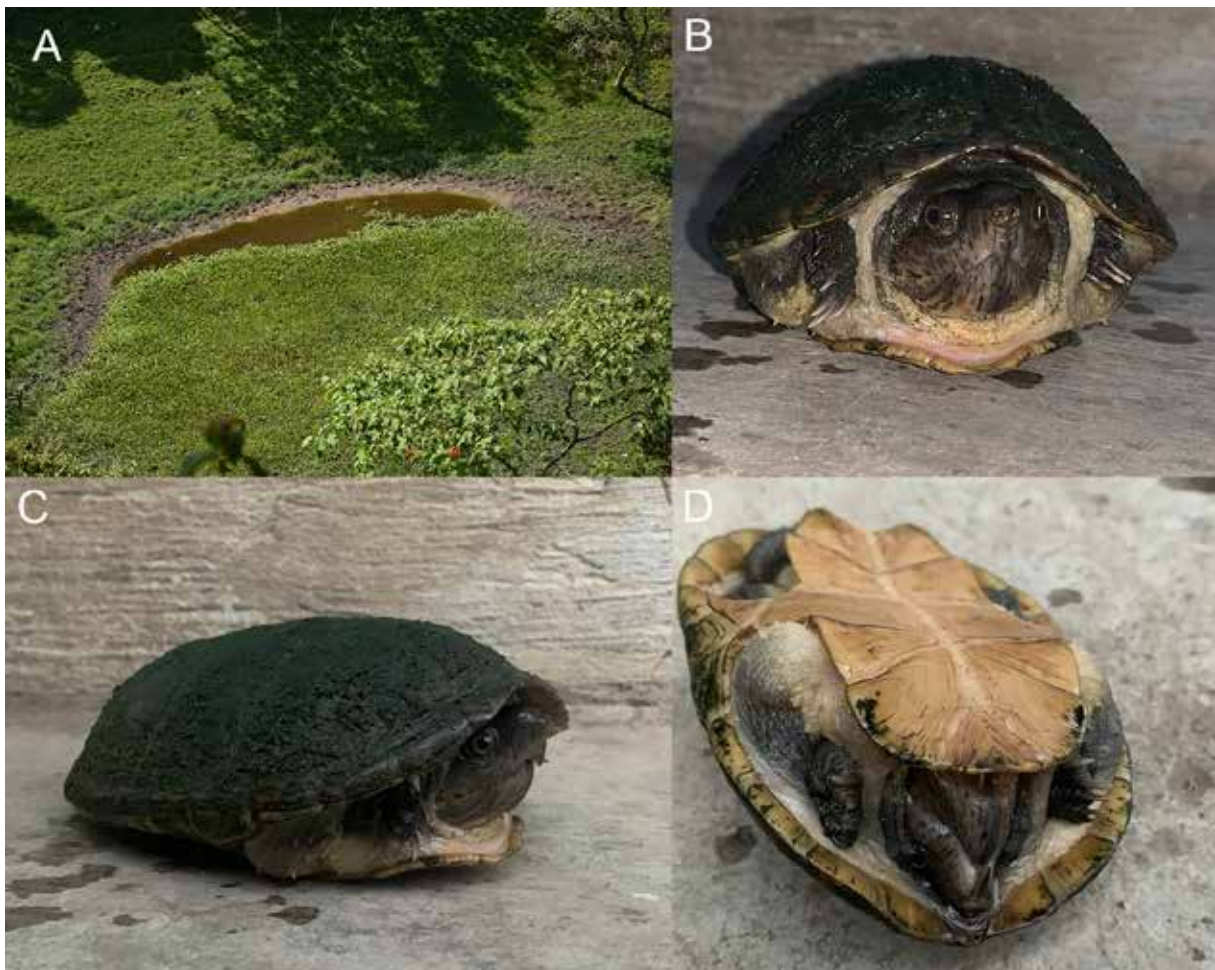


Figure 1. (A) Habitat of the recorded turtle in the locality of Bibiano Hernández, Olintla, Puebla. (B) *Kinosternon herrerae* adult male. (C) Lateral view of the observed *K. herrerae* male. (D) View of the plastron of the observed *K. herrerae* male. Photo: Jorge Ramos-Luna (LACM PC-2682, 2683 and 2684).

Figura 1. (A) Hábitat de observación en la localidad de Bibiano Hernández, Olintla, Puebla. (B) Individuo macho adulto de *Kinosternon herrerae*. (C) Vista lateral del individuo macho de *K. herrerae*. (D) Vista del plastrón del individuo macho de *K. herrerae*. Foto: Jorge Ramos-Luna (LACM PC-2682, 2683 y 2684).

el sitio más cercano donde había sido reportada la especie (Canseco-Márquez & Gutierrez-Mayen, 2006; Rhodin et al., 2017). La identificación se llevó a cabo siguiendo la descripción de Legler & Vogt (2013), donde mencionan la presencia de un plastrón inmóvil, y escudos axilares e inguinales en amplio contacto (Fig. 1B - D). La corroboración de la identificación y el sexo del individuo la realizó Marco Antonio López-Luna. Se depositaron tres fotografías del ejemplar en la colección digital del Natural History Museum of Los Angeles, California (LACM PC-2682, 2683 y 2684).

Agradecimientos. — A Miguel Santiago Francisco por compartir datos de la observación. A Neftalí Camacho por el registro de las fotografías. A Sergio Pérez Landero por el apoyo logístico. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento a través del proyecto “Red autónoma de agroecología TlaltikpakChuchut” (No 314457).

LITERATURA CITADA

- Canseco-Márquez, L. & M.G. Gutierrez-Mayen. 2006. Herpetofauna del municipio de Cuetzalan del Progreso, Puebla. En A. Ramírez-Bautista, L. Canseco-Márquez & F. Mendoza-Quijano (Eds.). Inventarios Herpetofaunísticos de México: avances en el conocimiento de su biodiversidad. Sociedad Herpetológica de México A. C.
- Legler, J.M. & R.C. Vogt. 2013. The turtles of Mexico: Land and freshwater forms. University of California Press, Berkeley, USA.
- Rhodin, A.G.J., J.B. Iverson, R. Bour, U. Fritz, A. Georges, H.B. Shaffer & P.P. van Dijk. 2017. Turtles of the world: Annotated checklist and atlas of taxonomy, synonymy, distribution, and conservation status (8th Ed.). Pp. 1-296. En: Rhodin, A.G.J., J.B. Iverson, P.P. van Dijk, R.A. Saumure, K.A. Buhlmann, P.C.H. Pritchard & R.A. Mittermeier (Eds.). Conservation Biology of Freshwater Turtles and Tortoises: A Compilation Project of the IUCN/SSC Tortoise and Freshwater Turtle Specialist Group.



RANGE EXTENSION OF *SIBON AYERBEORUM* VERA-PÉREZ, 2019 (SERPENTES: COLUBRIDAE) IN COLOMBIA

AMPLIACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE *SIBON AYERBEORUM* VERA-PÉREZ, 2019 (SERPENTES: COLUBRIDAE) EN COLOMBIA

JONARD DAVID ECHAVARRÍA-RENTERÍA^{1,2} & GUIDO FABIÁN MEDINA-RANGEL^{3*}

¹Grupo de Investigación en Manejo y Gestión de la vida Silvestre del Chocó, Facultad de Ciencias Básicas, Programa de Biología, Universidad Tecnológica del Chocó, carrera 22 # 18B-10, Quibdó, Chocó, Colombia.

²Grupo de Investigación en Herpetología, Facultad de Ciencias Básicas, Programa de Biología, Universidad Tecnológica del Chocó, Colombia. Universidad Tecnológica del Chocó, carrera 22 # 18B-10, Quibdó, Chocó, Colombia.

³Grupo de Morfología y Ecología Evolutiva, Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Carrera 30 No 45-03, Ciudad Universitaria, edificio 425, oficina 307, Bogotá D.C., Colombia. .

Correspondence: guidofabianmedina@gmail.com

Received: 2020-08-14. Accepted: 2020-08-14.

The genus *Sibon* Fitzinger, 1826 belongs to the family Colubridae (Pyron et al., 2013; Zheng & Wiens, 2016; Uetz et al., 2021). They are generally small to moderately sized terrestrial-arboreal snakes with a Neotropical distribution which extends from central Mexico through Central America to northern and central South America in Colombia, Venezuela, French Guiana, Ecuador, Brazil and Peru (Peters, 1960; Peters & Orejas-Miranda, 1970; Wallach, 1995; Savage, 2002; Köhler et al., 2010; Arteaga et al., 2018). *Sibon* is currently comprised of 18 species which are placed in three well-defined groups: *annulatus*, *argus*, and *nebulatus* (Peters, 1960; Kofron, 1990).

Three species of *Sibon* are currently known in Colombia: *S. nebulatus* (Linnaeus, 1758), distributed in the three Andean mountain ranges, the valley of the Cauca and Magdalena rivers, the Caribe region, Sierra Nevada de Santa Marta, and the Amazon basin, from 0-2630 m above sea level (Peters, 1960; Pérez-Santos & Moreno, 1988); *S. annulatus* (Günther, 1872), distributed in the Chocó-Magdalena region and the western slopes of the Cordillera Oriental between 320-1500 m (Moreno-Arias, 2010; Meneses-Pelayo et al., 2016, 2018); and *Sibon ayerbeorum* Vera-Pérez, 2019, endemic to Colombia which was recently described from La Playa and La Cueva sites in Parque Nacional Natural Munchique, municipality of El Tambo, department of Cauca between 1135-1400 m (Vera-Pérez, 2019).

Here we expand the geographical distribution of *Sibon ayerbeorum* in Colombia, based on a single specimen deposited at the herpetological collection of the Universidad Tecnológica del Chocó. We found one specimen of genus *Sibon* from the Colección Científica de Referencia Zoológica del Chocó-Herpetología de la Universidad Tecnológica del Chocó “Diego

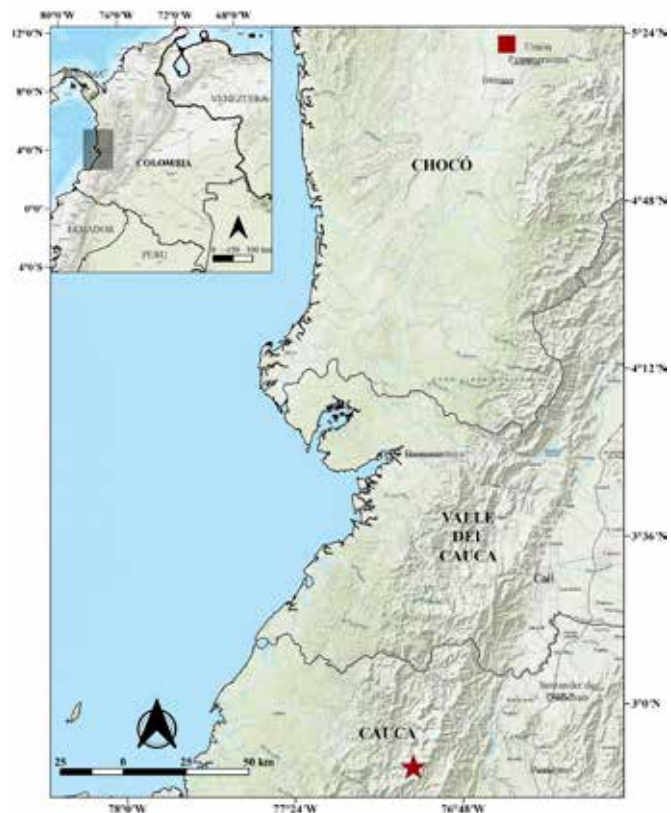


Figura 1. Distribución geográfica de *Sibon ayerbeorum*. Estrella roja: localidad tipo. Cuadrado rojo: nuevo registro (UTCH: COLZOOCH-H 1173). Datum WGS 84.

Figure 1. Geographic distribution of *Sibon ayerbeorum*. Red star: type locality. Red square: New record (UTCH: COLZOOCH-H 1173). Datum WGS 84.

Luis Córdoba” (UTCH: COLZOOCH-H 1173), whose taxonomic determination has been in doubt for several years. We made

comparisons with other *Sibon* species by using the available literature on the genus: Peters (1960), Kofron (1990), Savage & McDiarmid (1992), Solórzano (2001), Savage (2002), Frazier et al. (2006), Lewis et al. (2010) and Vera-Pérez, (2019). Scale nomenclature and dorsolateral coloration patterns follow Peters (1960, 1964), Savage (2002) and McCranie (2006, 2007).

Scale counts such as ventral and subcaudal follow Dowling (1951), the counts were done using a stereoscope. Measurements of snout-vent length (SVL) and tail length (TL) were taken with a flexible ruler. Sex was determined by the presence or absence of hemipenes.

New Record (Fig. 1). Colombia, department of Chocó, municipality of Unión Panamericana, vereda Salero, Parcela Permanente de Investigación Biológica (5.360°N, 76.646°W, 96 m); June 19 2005; collected by Anilio Castro Pérez. 1 adult female. UTCH-COLZOOCH-H 1173.

Identification. An adult female, this specimen corresponds for the most part with the description of Vera-Pérez (2019) (Table 1). It has dorsal scale rows without enlarged vertebral row; non-

protuberant eyes; first pair of infralabials in contact posterior to symphyseal; the counts of dorsal scale rows, preocular, postocular, anterior and posterior temporal, and postmental are within the limits described for *S. ayerbeorum* (Table 1). Some scale counts are different from those described for the type series (Table 1), it has more ventral scales, however within range if you consider the male count; only one more subcaudal scale; and this has more supralabials and infralabials scales. With this new data, we can confirm that the species has slightly more morphological variation than previously reported.

Specimen body coloration pattern with smoke gray backing composed by sienna irregular middorsal and ventrolateral dark-bordered ocelli, back scales dotted with dark ocelli, anterior portion of the body and upper surface of head colored mainly with the ocelli border dark brown color. Ventral coloration is dark with light spots in each ventral scale. The dorsal reddish spots reach the ventral areas interspersed laterally with the clear spots; the iris is golden with dark reticulations.

Sibon ayerbeorum (Fig. 2) was described based on four specimens obtained in the western slopes of the Cordillera

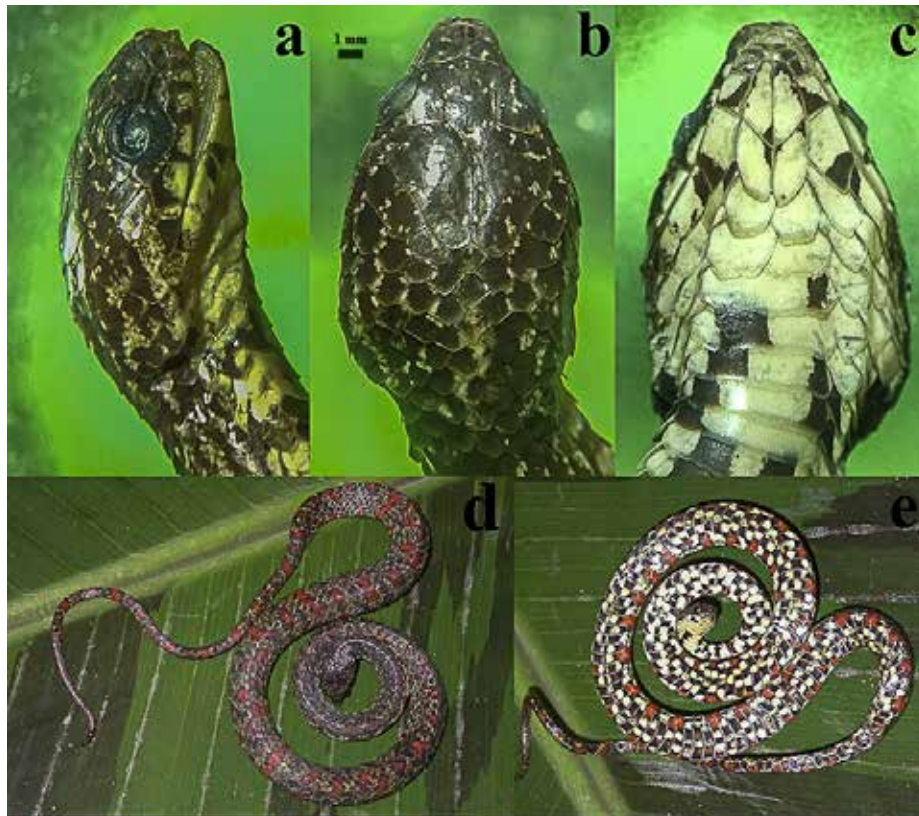


Figura 2. Espécimen UTCH: COLZOOCH-H 1173 de *Sibon ayerbeorum*. Cabeza: a (vista lateral), b (vista dorsal), c (vista ventral). Individuo en vivo: d (vista dorsal), e (vista ventral).

Figure 2. Specimen UTCH: COLZOOCH-H 1173 of *Sibon ayerbeorum*. Head: a (lateral view), b (dorsal view), c (ventral view). Live individual: d (dorsal view), e (ventral view).

Tabla 1. Características comparadas *Sibon* spp (únicamente hembras). Referencias: Este estudio¹, Vera-Pérez (2019)², Lewis et al. (2006)³, McCraine (2006)⁴, Lotzkat et al. (2012)⁵, Lewis et al. (2013)⁶, Peters (1960)⁷, Savage & McDiarmid (1992)⁸, Frazier et al. (2006)⁹, Savage (2002)¹⁰.

Table 1. Comparative characteristics of *Sibon* spp (females only). References: This study¹, Vera-Pérez (2019)², Lewis et al. (2006)³, McCraine (2006)⁴, Lotzkat et al. (2012)⁵, Lewis et al. (2013)⁶, Peters (1960)⁷, Savage & McDiarmid (1992)⁸, Frazier et al. (2006)⁹, Savage (2002)¹⁰.

Characters	(UTCH: COLZOOCH-H 1173) (♀) ¹	<i>Sibon ayerbeorum</i> (♀) ²	<i>S. annulatus</i> (♀) ^{2, 3, 4, 5, 10}	<i>S. longifrenis</i> (♀) ^{2, 6, 10}	<i>Sibon nebulatus</i> (♀) ^{7, 8, 9, 10}	<i>Sibon argus</i> (♀) ^{7, 8, 9, 10}
Total max. (mm)	357	417	576	541	1013	690
SVL max. (mm)	255	293	362	-	779	-
TL max. (mm)	102	124	214	-	234	-
Ventral scales	148	136-140	161-186	147-168	161-193	182-192
Subcaudal	80	78-79	107-124	95-106	64-100	95-108
Dorsal rows	15/15/15	15-15-15, 15-17-15	15/15/15	15-15-15	15-15-15	15-15-15
Preocular	Absent	Absent	Usually, absent	Usually, absent	Usually, absent	Absent
Postocular	2-3	2-3	0-2	1-3	1-4	2-3
Anterior temporal	2	1-2	1-2	1-2	1	1-2
Posterior temporal	2	2-3	1-3	1-3	01-Feb	2-3
Supralabial (supralabial in contact with eye)	7 (4-5)	6 (3-4, 3-5)	6-9 (5-6, 6-7)	7-9 (4-6, 5-7)	5-9 (4-5)	7-9 (4-7)
Infralabial	7	6	6-10	6-9	6-10	7-12
1st infralabials behind mental	In contact	Usually in contact	Separated	Separated	In contact	Separated
Postmental	0	0	1-2	0-1	0	0
Dorsolateral coloration pattern	Ocellated	Ocellated	Banded	Ocellated	Banded	Ocellated
Eyes color	Golden with dark reticulations	Golden rod with dark reticulations	Red or dark reddish brown	Green-grey or olive green speckled with dark pigment	Spotted grey or gray, speckled with dark pigment	Greenish gray

Occidental, municipality of El Tambo, department of Cauca (Vera-Pérez 2019). The present record constitutes the fifth known specimen of the species, the first from the department of Chocó, and the third locality in Colombia. Its geographical distribution is extended northwards in around 288 km, also extending its occurrence between the Andean humid premontane forests to the tropical rainforest, and an altitudinal variation of 1039 m above sea level, which represents a larger use of different habitats

and altitudinal distribution compared than those reported by Vera-Pérez (2019).

Unlike the type series, this specimen was obtained in the rainforests of the Chocó Biogeographic plateau and increases the number of snake species registered for the department of Chocó; however, further exploration of the lowlands west of Cordillera Occidental could potentially extend the distribution of the species as suggested by Vera-Pérez (2019).

Sibon ayerbeorum is still poorly known and there is a large gap in its distribution, autecology, habitat preferences, and population dynamics. Since its description is so recent, it has not yet been assessed in any of the IUCN threat categories, however, we propose it being listed as Data Deficient according to the IUCN guidelines as recommended by Vera-Pérez (2019). Potential threats to this species include habitat fragmentation or loss and illegal mining (Macuacé-Otero & Cortés-Landázury, 2013; Ayala-Mosquera et al., 2019), human activities that are increasing in areas where the species can be distributed.

Acknowledgments.— We are grateful to the Colección Científica de Referencia Zoológica del Chocó-Herpetología de la Universidad Tecnológica del Chocó, for allowing us access to the collection. We thank Universidad Tecnológica del Chocó «Diego Luis Córdoba» for being one of the institutions that support scientific research in the department of Chocó. We thank Juan David Fernández for the English revision. Finally, we thank the groups Investigaciones en Manejo y Gestión de la Vida Silvestre del Chocó and Herpetología, both from the Universidad Tecnológica del Chocó.

CITED LITERATURE

- Arteaga, A., D. Salazar-Valenzuela, K. Mebert, N. Peñafiel, G. Aguiar, J.C. Sánchez-Nivicela, R.A. Pyron, T.J. Colston, D.F. Cisneros-Heredia, M.H. Yáñez-Muñoz, P.J. Venegas, J.M. Guayasamin & O. Torres-Carvajal. 2018. Systematics of South American snail-eating snakes (Serpentes, Dipsadini), with the description of five new species from Ecuador and Peru. *ZooKeys* 766:9-147.
- Ayala-Mosquera, H., M. Cabrera-Leal, A.J. Cadena-Galvis, C. Castaño-Urbe, S.M. Contreras-Rodríguez, L.C. Díaz-Mueque, et al. 2019. Diagnóstico de la información ambiental y social respecto a la actividad minera y la extracción ilícita de minerales en el país. Documento de Investigación científica y sociológica respecto a los impactos de la actividad minera y la explotación ilícita de minerales, en los ecosistemas del territorio colombiano. Sentencia T 445 de 2016 Corte Constitucional de Colombia (Resolución 0931 de mayo de 2017). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, al Ministerio del Interior, a la Unidad de Parques Nacionales Naturales, al Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt y a la Contraloría General de la República. Bogotá D.C. Colombia. 372 p.
- Dowling, H.G. 1951. A proposed standard system of counting ventrals in snakes. *British Journal of Herpetology* 1:97-99.
- Fitzinger, L.J.F.J. 1826. Neue Classification der Reptilien nach ihren Naturlichen. Viena: Verwandschaften. 66 p.
- Frazier, J.A., C.E. Montgomery & K.R. Lips. 2006. *Sibon nebulatus* (Common Snail-eater). Maximum size. *Herpetological Review* 37:235.
- Kofron, C.P. 1990. Systematics of Neotropical gastropod-eating snakes: the dimidiata group of the genus *Sibon*, with comments on the nebulata group. *Amphibia-Reptilia* 11:207-223.
- Köhler, G, S. Lotzkat & A. Hertz. 2010. A new species of *Sibon* (Squamata: Colubridae) from Western Panama. *Herpetologica* 66:80-85.
- Lewis, T.R, G. David, P. Grant, T.C. LaDuke & C. Ryall. 2010. *Sibon annulatus* (Ringed Snail-eater): Maximum size. *Herpetological Review* 41:98.
- Lewis, T.R, R.K. Griffin, P.B.C. Grant, A. Figueroa, J.M. Ray, K.E. Graham & G. David. 2013. Morphology and ecology of *Sibon* snakes (Squamata: Dipsadidae) from two Neotropical forests in Mesoamerica. *Phyllomedusa* 12:47-55.
- Lotzkat, S, A. Hertz & G. Köhler. 2012. A new species of *Sibon* (Squamata: Colubroidea: Dipsadidae) from the Cordillera Central of western Panama, with comments on other species of the genus in the area. *Zootaxa* 3485:26-40.
- Macuacé-Otero, R.A. & R. Cortés-Landázury. 2013. El Cauca, la mesoeconomía del oro y la retroactividad de la dependencia: anotaciones sobre coyuntura y desequilibrio territorial. *Civilizar* 13:103-120.
- McCranie, J.R. 2006. New species of *Sibon* (Squamata: Colubridae) from northeastern Honduras. *Journal of Herpetology* 40:16-21.
- McCranie, J.R. 2007. A second new species of *Sibon* (Squamata: Colubridae) from La Mosquitia, northeastern Honduras. *Herpetologica* 63:213-218.
- Meneses-Pelayo, E. J.D. Echavarría-Rentería, J.D. Bayona-Serrano, J.R. Caicedo-Portilla & J.T. Rengifo-Mosquera. 2016. New records and an update of the distribution of *Sibon annulatus* (Colubridae: Dipsadinae: Dipsadini) for Colombia. *Check List* 12:1931.
- Meneses-Pelayo, E., J.D. Echavarría-Rentería, J.D. Bayona-Serrano, J.R. Caicedo-Portilla, & J.T. Rengifo-Mosquera. 2018. *Sibon*

- annulatus* (Günther, 1872). Catálogo de anfibios y reptiles de Colombia 4:70-77.
- Moreno-Arias, R.A. 2010. Geographic distribution: *Sibon annulatus*. Herpetological Review 41:382.
- Pérez-Santos, C & G.A. Moreno. 1988. Ofidios de Colombia. Museo Regionale di Scienze Naturali, Torino, Italia.
- Peters, J.A. 1960. The snakes of the subfamily Dipsadinae. Miscellaneous Publications of the Museum of Zoology. University of Michigan, USA. 224 p.
- Peters, J.A. 1964. Dictionary of Herpetology. Hafner, New York. 392 p.
- Peters, J.A & B. Orejas-Miranda. 1970. Catalogue of the Neotropical Squamata. Part 1. Snakes. Bulletin - United States National Museum 297:1-134.
- Pyron, R.A, F.T Burbrink & J.J. Wiens. 2013. A phylogeny and revised classification of Squamata, including 4161 species of lizards and snakes. BMC Evolutionary Biology 13:1-54.
- Rovito, S.M, T.J. Papenfuss & C.R Vásquez-Almazán. 2012. A new species of *Sibon* (Squamata: Colubridae) from the mountains of eastern Guatemala. Zootaxa 3266:62-68.
- Savage, J.M. 2002. The amphibians and reptiles of Costa Rica. A herpetofauna between two continents, between two seas. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA. 954 p.
- Savage, J.M. & R.W. McDiarmid. 1992. Rediscovery of the Central American colubrid snake, *Sibon argus*, with comments on related species from the region. Copeia 1992:421-432.
- Solórzano, A. 2001. Una nueva especie de serpiente del género *Sibon* (Serpentes: Colubridae) de la vertiente del Caribe de Costa Rica. Revista de Biología Tropical 49:1111-1120.
- Uetz, P, P. Freed & J. Hošek (Eds.). 2021. The Reptile Database. <http://www.reptile-database.org> [Consultado en enero 2021].
- Vera-Pérez, L.E. 2019. A new species of *Sibon* Fitzinger, 1826 (Squamata: Colubridae) from Southwestern Colombia. Zootaxa 4701:443-453.
- Wallach, V. 1995. Revalidation of the genus *Tropidodipsas* Günther, with notes on the Dipsadini and Nothopsini (Serpentes: Colubridae). Journal of Herpetology 29:476-481.
- Zheng, Y & Wiens, J.J. 2016. Combining phylogenomic and supermatrix approaches, and a time-calibrated phylogeny for squamate reptiles (lizards and snakes) based on 52 genes and 4162 species. Molecular Phylogenetics and Evolution 94:537-547.



REDISCOVERY OF THE ENDANGERED FOREST SPIKETHUMB FROG *PLECTROHYLA GLANDULOSA* (HYLIDAE) AT A MODERATELY DISTURBED BREEDING SITE IN THE HIGHLANDS OF GUATEMALA, CENTRAL AMERICA REDESCUBRIMIENTO DE LA RANA *PLECTROHYLA GLANDULOSA* (HYLIDAE) EN UN SITIO DE REPRODUCCIÓN MODERADAMENTE PERTURBADO EN LAS TIERRAS ALTAS DE GUATEMALA, CENTRO AMÉRICA

LUIS ESTUARDO GONZÁLEZ-MARTÍNEZ¹, DANIEL JOSÉ NÚÑEZ-ROBLES¹ & DANIEL ARIANO-SÁNCHEZ^{2*}

¹Departamento de Biología, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala City, Guatemala.

²Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala City, Guatemala.

Correspondence: dariano@uvg.edu.gt

Received: 2020-08-28. Accepted: 2020-12-10.

Plectrohyla glandulosa is an endangered species of stream-breeding frog, previously reported only from well-preserved fir forest, pine-cypress forest, and montane grasslands (Acevedo & Smith, 2004). This species is considered as a priority for conservation efforts because of its medium vulnerability and distribution restricted to a single physiographic region (Mata-Silva et al., 2019). This species is known only from the Sierra de los Cuchumatanes and the central and southern highlands of Guatemala at a range of 2400–3500 m elevation (Wilson et al., 2010). Herein, we present the first record in more than 30 years for this species from the lagoon of Chicabal volcano, an historical breeding site for this species in Guatemalan highlands. The photographic vouchers of the specimen were deposited at the Digital Collection of the University of Texas at Arlington (UTADC). Jonathan Campbell did the taxonomic verification of the specimen.

On 17 August 2018, at 2000h, an adult *P. glandulosa* (UTADC 9630 a; Fig. 1A) was found approximately 1 m above the ground, in a branch of a standing dead tree located in the tourist trail that surrounds the south western margins of the lagoon located in the crater of Chicabal volcano (Fig. 1B), San Martín Sacatepéquez, Quetzaltenango, Guatemala (14.78584°N, 91.65672°W, WGS 84, 2700 m elev.). This site is more than 3 km from the nearest stream.

The last specimens seen on the lagoon margins were recorded in 1976 by Theodore Papenfuss (CAS: HERP: 143025). Exotic carp (*Cyprinus carpio*) were introduced in the Chicabal lagoon in the 1980s and they probably have decimated anuran populations at the site, as they are known to cause such effects in other anuran populations (Kloskowski, 2011). Chicabal lagoon is now part of the Chicabal volcano protected area (Fig. 2) in the



Figure 1. *Plectrohyla glandulosa* encontrada el 17 de Agosto 2018 (A) en los márgenes de la laguna ubicada en el cráter del volcán Chicabal (B) a una elevación de 2700 m, Quetzaltenango, Guatemala. Fotos: D. Nuñez-Robles.

Figure 1. *Plectrohyla glandulosa* found on 17 August 2018 (A) in the margins of the lagoon at the crater of Chicabal volcano (B) at 2700 m elevation, Quetzaltenango, Guatemala. Photo: D. Nuñez-Robles.

Guatemalan highlands (Consejo Nacional de Áreas Protegidas 2016). The site where the specimen was found is disturbed due to tourism and traditional Mayan religious activities, representing a confirmation that the species can survive in moderately disturbed habitats.

Acknowledgments. — We thank Hellen Dahinten and the students of the Ecology course from Universidad del Valle de Guatemala for their help in the search of amphibians during the field trip. ASAECO and CONAP provided permits to conduct the scientific research at the reserve. The field research was supported by Departamento de Biología, Universidad del Valle de Guatemala. Thanks to Gregory Pandelis for his support adding the photographic vouchers to the University of Texas at Arlington Digital Collection. Thanks to Sean Rovito and an anonymous reviewer for valuable comments that had improved our manuscript.

CITED LITERATURE

Acevedo, M. & E. Smith. 2004. The IUCN Red List of Threatened Species 2004: [e.T55875A11367111.https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2004.RLTS.T55875A11367111.en](https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2004.RLTS.T55875A11367111.en). Downloaded on 27 August 2020.

IUCN.UK.2004.RLTS.T55875A11367111.en. Downloaded on 27 August 2020.

Consejo Nacional de Áreas Protegidas. 2016. Plan Maestro de la Zona de Veda Definitiva Volcán Chicabal, San Martín Sacatepéquez, Quetzaltenango. CONAP. 128 p.

Kloskowski, J. 2011. Impact of common carp *Cyprinus carpio* on aquatic communities: direct trophic effects versus habitat deterioration. *Fundamental and Applied Limnology* 178: 245-255.

Mata-Silva, V., D.L. DeSantis, E. García-Padilla, J.D. Johnson & L.D. Wilson. 2019. The endemic herpetofauna of Central America: A casualty of anthropocentrism. *Amphibian & Reptile Conservation* 13:1-64.

Wilson, L.D., J.A. Townsend & J.D. Johnson. 2010. Conservation of Mesoamerican Amphibians and Reptiles. Eagle Mountain Publishing. 812 p.

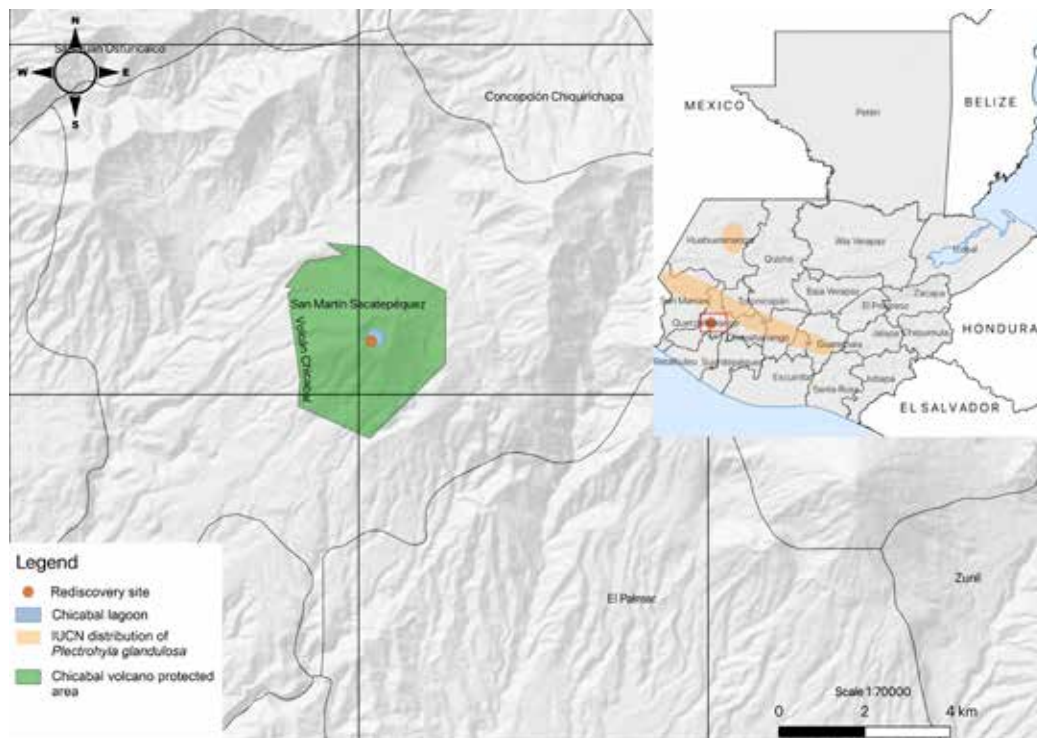


Figura 2. Mapa de la localidad de avistamiento de *Plectrohyla glandulosa* dentro del área protegida de volcán Chicabal, Quetzaltenango, Guatemala.

Figure 2. Map of the location of the sighting of *Plectrohyla glandulosa* within the Chicabal volcano protected area, Quetzaltenango, Guatemala.



NOTA DE DISTRIBUCIÓN

Hernández et al. - *Scincella incerta*, nuevo registro para El Salvador - 228-230

SCINCELLA INCERTA (STUART 1940) (SQUAMATA: SCINCIDAE), UN NUEVO REGISTRO DE HERPETOFAUNA PARA EL SALVADOR

SCINCELLA INCERTA (STUART 1940) (SQUAMATA: SCINCIDAE), A NEW HERPETOFAUNAL RECORD FOR EL SALVADOR

VLADEN HENRÍQUEZ¹, ANTONIO ESAÚ VALDENEGRO-BRITO^{2,3}, NÉSTOR HERRERA⁴ & URI OMAR GARCÍA-VÁZQUEZ^{2*}

¹Grupo de Herpetólogos de El Salvador. San Salvador. El Salvador.

²Laboratorio de Sistemática Molecular, Unidad de Investigación Experimental Zaragoza, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, Batalla 5 de mayo s/n, Col. Ejército de Oriente, 09230, CDMX, México.

³Posgrado en Ciencias Biológicas, Centro Tlaxcala Biología de la Conducta. Universidad Autónoma de Tlaxcala, Carretera Tlaxcala-Puebla Km. 1.5, La Loma Xicohténcatl, 90070, Tlax. México.

⁴Paso Pacífico, Residencial Altos de la Cima, Calle #2, Casa #21, Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador

Correspondence: uri.garcia@zaragoza.unam.mx

Received: 2020-10-03. Accepted: 2021-04-27.

En El Salvador la vegetación consiste en parches de bosque inmersos en un gran paisaje agrícola, sin embargo, muchas especies de anfibios y reptiles habitan en esta región. Hasta la fecha, algunos estudios se han realizado en las cordilleras fronterizas de nuestro país, dirigidos principalmente a las Áreas Naturales Protegidas que se encuentran en estas zonas. En la cordillera norte de El Salvador se encuentra la Reserva de la Biósfera Trifinio, la cual es una de las áreas protegidas con mayor investigación en la cordillera norte, sitio donde en los últimos años se han registrado especies nuevas para el país, como *Bolitoglossa heireoreias* Greenbaum, 2004, *Incilius ibarraei* (Stuart, 1954), *Ptychohyala hypomykter* McCranie y Wilson, 1993 y *Sibon dimidiatus* (Günther, 1872) (Greenbaum, 2004; Herrera et al., 2007; Morán et al., 2015; Henríquez et al., 2016).

En Centroamérica, el género *Scincella* Mittleman, 1950 está representado por cuatro especies: *S. assata* (Cope, 1864), *S. cherriei* (Cope, 1893), *S. incerta* (Stuart, 1940) y *S. rara* (Myers y Donnelly, 1991). Sin embargo, para El Salvador únicamente se tiene el registro de *S. assata* y *S. cherriei* (Köhler et al., 2006; McCranie, 2018; Valdenegro-Brito et al., 2020). *Scincella incerta* es una especie con una longitud hocico cloaca (LHC) promedio de 57mm. Se caracteriza por presentar de 24 a 26 hileras de escamas alrededor de la mitad del cuerpo, 57 a 68 escamas dorsales, extremidades cortas, escamas nucales indiferenciadas, coloración marrón claro irregularmente moteada con tonos más oscuros, franja lateral oscura continua que surge desde las narinas y se desvanece en el margen distal de la cloaca y una línea dorsolateral clara por encima de la franja lateral oscura (Stuart, 1940). En cuanto a su distribución geográfica se refiere, *S. incerta* habita bosques montanos en elevaciones intermedias a

altas (1500-2500 msnm) en poblaciones aisladas, en la vertiente del Pacífico desde Chiapas, México, oeste de Guatemala hasta el extremo suroeste de Honduras y en la vertiente del Atlántico desde el centro de Guatemala hasta el noreste de Honduras (McCranie, 2018; Valdenegro-Brito et al., 2018). A partir de trabajo de campo, se presenta el primer registro de *Scincella incerta* para El Salvador.



Figure 1. Specimen of *Scincella incerta* from Parque Nacional Montecristo, departamento de Santa Ana Department. Photo: Vladen Henríquez.

Figura 1. Ejemplar de *Scincella incerta* del Parque Nacional Montecristo, departamento de Santa Ana. Foto: Vladen Henríquez.

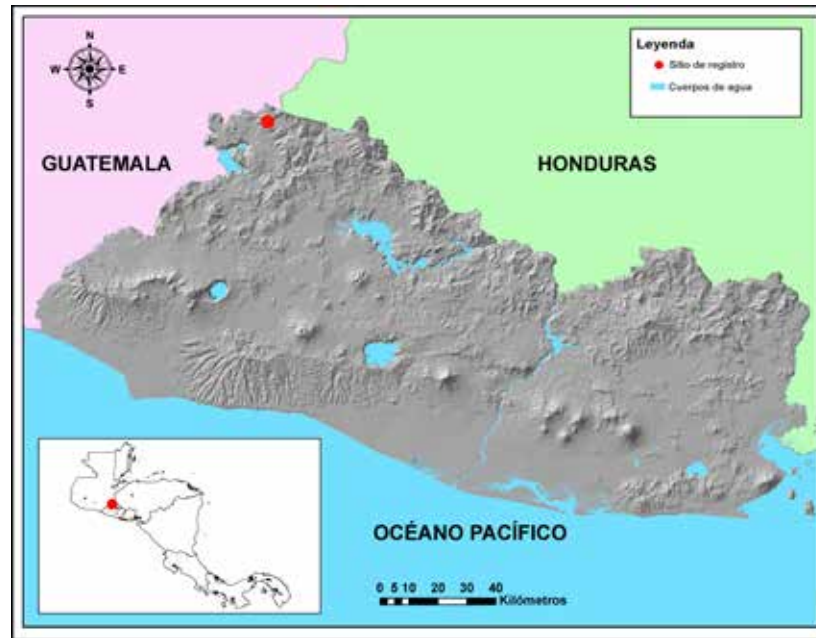


Figure 2. Distribution of *Scincella incerta* from El Salvador. / **Figura 2.** Distribución de *Scincella incerta* en El Salvador.

Durante una investigación realizada el 27 de abril de 2010 en el Parque Nacional Montecristo (14.386351° N; 89.392152° O; datum WGS84; 1450 m s.n.m.) Municipio de Metapán, departamento de Santa Ana, en un área de Bosque Tropical Semideciduo Mixto Montano Inferior se observó un individuo de *S. incerta* (MZFZ-IMG 282-87; Fig. 1) que se desplazaba entre la hojarasca sobre un sendero dentro del área protegida en horas del mediodía (13:40 horas). Este ejemplar representa el primer registro de *Scincella incerta* para El Salvador, y extiende su rango de distribución aproximadamente 16 Km (en línea recta) al Suroeste de la localidad más cercana en Las Hojas, departamento de Ocotepeque, Honduras (McCranie, 2018), adicionalmente, el nuevo registro asciende a 101 especies la diversidad de reptiles en El Salvador (Valdenegro-Brito et al., 2021). Los registros fotográficos del espécimen se depositaron en la colección digital de vertebrados de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM (MZFZ-IMG).

La identificación del taxón se basó en caracteres cualitativos que pueden observarse en el registro fotográfico, tales como el patrón de coloración corporal, patrón de la franja lateral y coloración de la cola, que permiten diferenciar a *S. incerta* del resto de las especies del género *Scincella* que habitan en El Salvador. El ejemplar de *S. incerta* observado presenta cabeza, dorso y cola marrón claro irregularmente moteado, la franja lateral es gruesa y bien definida desde la punta del hocico hasta la cola, además presenta una línea dorsolateral clara, mientras que en *S. assata* la coloración de la cola es con tonos rojizos, la

franja lateral es delgada y poco definida y el dorso es liso sin un patrón moteado; por su parte *S. cherriei* presenta cabeza y dorso marrón oscuro con un patrón moteado además de una serie de puntos claros en la región lateral del cuerpo, la cola presenta tonos azulados a grises con un patrón bandado, la franja lateral es discontinua a media cuerpo donde se degrada en puntos oscuros y las extremidades son notoriamente más largas y gruesas (Stuart, 1940; Valdenegro-Brito et al., 2018; Valdenegro-Brito et al., 2020).

La distribución geográfica restringida de *S. incerta* a poblaciones aisladas puede ser un artificio del muestreo deficiente y la poca información disponible acerca de este taxón, ya que desde su descripción son escasos sus registros (Valdenegro-Brito et al., 2018). De acuerdo con Stuart (1940) probablemente la distribución de esta especie se extiende sobre el área conocida como “Centroamérica nuclear” que abarca el estado de Chiapas, México, centro y sur de Guatemala, El Salvador, Honduras y norte de Nicaragua. Si bien, actualmente la distribución de *S. incerta* en El Salvador se restringe al norte del departamento de Santa Ana, en el noroeste del país en los límites con Guatemala y Honduras (Fig. 2), no se descarta su presencia en zonas con hábitat similares. El nuevo registro para *S. incerta* demuestra que la distribución de este escíncido abarca una mayor extensión de lo conocido hasta la fecha (Valdenegro-Brito et al., 2018).

Agradecimientos.— Este trabajo se llevó a cabo gracias al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales quienes otorgaron los permisos de ingreso e investigación al Parque Nacional Montecristo. Se agradece al cuerpo de Guardarrecursos del Parque por el apoyo brindado durante la investigación. Y agradecemos a la Dirección General de Apoyo al Personal Académico, Universidad Nacional Autónoma de México (PAPIIT IN-216619) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT A1-S-37838).

LITERATURA CITADA

- Greenbaum, E. 2004. A new species of *Bolitoglossa* (Amphibia: Caudata: Plethodontidae) from montane forests in Guatemala and El Salvador. *Journal of Herpetology* 38:411-421.
- Herrera, N., V. Henríquez & E. Greenbaum. 2007. New Country and Department Records for Amphibians and Reptiles from El Salvador. *Herpetological Review* 38:222-226.
- Köhler, G., M. Veselý & E. Greenbaum. 2006. The Amphibians and Reptiles of El Salvador. Original edition. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida, USA.
- Morán, E., V. Henríquez, E. Greenbaum, J.G. Cerén López & A.N. Rivera. 2015. Geographic Distribution. *Sibon dimidiatus* (Slender Snail Sucker). *Herpetological Review* 46: 576.
- Henríquez, V., E. Morán, J.G. Cerén López & A.N. Rivera. 2016. Geographic Distribution. *Ptychohyla hypomykter* (Copán Stream Frog). *Hepetological Review* 47:78.
- McCranie, J.R. 2018. The lizards, Crocodiles, and Turtles of Honduras. Systematics, Distribution and Conservation. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology* 15:1-129.
- Stuart, L.C. 1940. Notes on the *Lampropholis* group of Middle American *Lygosoma* (Scincidae) with descriptions of two new forms. *Occasional Papers of the Museum of Zoology University of Michigan* 421:1-16.
- Valdenegro-Brito, A.E., C.J. Pavón-Vázquez, R. Luna-Reyes & U.O. García-Vázquez. 2018. Distribución geográfica de *Scincella incerta* (Squamata: Scincidae) en el estado de Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)* 34:1-4.
- Valdenegro-Brito, A.E., N. Herrera-Serrano & U.O. García-Vázquez. 2020. First record of brown forest skink, *Scincella cherriei* (Cope, 1893) (Squamata: Scincidae) in El Salvador. *Herpetology notes* 13:715-716.
- Valdenegro-Brito, A. E., N. Herrera-Serrano & U. O. García-Vázquez. 2021. Geographical distribution and potential geographical range of the Red Skink *Scincella assata* (Cope, 1864) (Squamata, Scincidae) in El Salvador. *Check List* 17:283-288.



METLAPILCOATLUS NUMMIFER (VIPERIDAE)

J. A. ORTIZ-ORTIZ¹, N. MORALES-CAPELLÁN² & LEONARDO FERNÁNDEZ-BADILLO^{2,3*}

¹IColegio de estudios científicos y tecnológicos del Estado de Hidalgo, Plantel Coacuilco, Huejutla de Reyes, Hidalgo, 43010, México.

²Predio Intensivo de Manejo de Vida Silvestre X-Plora Reptilia, km 65 carretera México-Tampico, Pilas y Granadas, Metztitlán, Hidalgo, 43350, México.

³Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Km 4.5 carretera Pachuca-Tulancingo, s/n, Mineral de la Reforma, Hidalgo, 42184, México.

Correspondence: fernandezbadillo80@gmail.com

Received: 2021-02-10. Accepted: 2021-04-28.

México: Hidalgo: Municipio de Huautla, localidad 16 km al suroeste de la localidad de Hernandeztla (21.008323° N, 98.318347° O, WGS 84; 506 m s.n.m.), 2 de agosto de 2020 a las 09:00 h. Un individuo fue fotografiado por Eva Pineda Bravo (MZFG-IMG 301; Fig. 1), en un lugar conocido por los habitantes como “Cueva del Tigre”. Este avistamiento representa el primer registro de *Metlapilcoatlus nummifer* para el municipio de Huautla, y amplía la distribución de la especie en 39.6 km al este de la localidad más cercana, en Quetzaltzongo, Tlanchinol, Hidalgo (Ramírez-Bautista et al., 2010). *M. nummifer* también ha sido registrada para otros municipios del estado como Huehuetla, Molango, Jacala de Ledezma, Pisaflores, Tlanchinol y Tepehuacán de Guerrero (Ramírez-Bautista et al., 2010; 2014; Raño-Hernández, 2016; Fernández-Badillo et al., 2017). El ejemplar fue observado arriba de un árbol a una altura de aproximadamente dos metros, lo cual resulta interesante, ya que comúnmente se menciona que es una especie de hábitos terrestres (Campbell & Lamar, 2004; Heimes, 2016).

Agradecimientos.— A Uri Omar García-Vázquez, por permitirnos depositar la fotografía en la colección herpetológica MZFG de la UNAM.

LITERATURA CITADA

Campbell, J.A., & W.W. Lamar. 2004. The venomous reptiles of the Western Hemisphere, vol. 1. Comstock, Ithaca, New York.

Fernández-Badillo, L., N. Morales-Capellán, C. R. Olvera-Olvera, G. Montiel-Canales & I. Goyenechea. Guía de las serpientes del estado de Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, México.

Ramírez-Bautista, A., U. Hernández-Salinas, F. Mendoza-Quijano, R. Cruz-Elizalde, B.P. Stephenson, V.D. Vite-Silva & A. Leyte-Manrique. 2010. Lista anotada de los anfibios y reptiles del estado de Hidalgo, México. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pachuca, Hidalgo, México.

Ramírez-Bautista, A., U. Hernández-Salinas, R. Cruz-Elizalde, C. Berriozabal-Islas, D. Lara-Tuñón, I. Goyenechea & J. M. Castillo-Cerón. 2014. Los anfibios y reptiles de Hidalgo, México: Diversidad, Biogeografía y Conservación. Sociedad Herpetológica Mexicana. Pachuca, Hidalgo, México.

Heimes, P. 2016. Herpetofauna Mexicana Vol.1. Snakes of Mexico. Edition Chimaira. Frankfurt am Main, Alemania.



Figure 1. *Metlapilcoatlus nummifer* from Hernandeztla, municipality of Huautla, Hidalgo, Mexico (MZFG-IMG 301). Photo: Eva Pineda-Bravo.

Figura 1. *Metlapilcoatlus nummifer* Hernandeztla, municipio de Huautla, Hidalgo, México (MZFG-IMG 301). Foto: Eva Pineda-Bravo.



NUEVO REGISTRO DE *PHRYNONAX POECILONOTUS* (GÜNTHER, 1858) (SQUAMATA: COLUBRIDAE) PARA EL MUNICIPIO DE ZONGOLICA, EN LAS MONTAÑAS DEL CENTRO-OESTE DE VERACRUZ, MÉXICO

NEW RECORD OF *PHRYNONAX POECILONOTUS* (GÜNTHER, 1858) (SQUAMATA: COLUBRIDAE) FOR THE MUNICIPALITY OF ZONGOLICA, IN THE MOUNTAINS OF CENTRAL-WESTERN VERACRUZ, MEXICO

FRANCISCO JAVIER RODRÍGUEZ-PÉREZ^{1†}, NELSON M. CERÓN-DE LA LUZ² & VÍCTOR VÁSQUEZ-CRUZ^{2*}

¹Independiente, Veracruz, México.

²PIMVS Herpetario Palancoatl, Avenida 19 número 5525, Colonia Nueva Esperanza, Córdoba, Veracruz, México.

Correspondence: victorbiolvc@gmail.com

Received: 2020-10-28. Accepted: 2021-02-24.

Phrynonax poecilonotus (Fig. 1), es una serpiente de talla grande (longitud total = 240 cm; Heimes, 2016) distribuida desde el sureste de México hasta Panamá (excepto El Salvador). En México se distribuye en los estados de Campeche, Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán (Lee et al., 2017; Uetz et al., 2020). Esta especie habita una gran variedad de hábitats naturales, que incluyen selvas tropicales de tierras bajas y premontanas (bosque secundario y primario), también se encuentra en sabanas y entre árboles pequeños en pastizales (Lee et al., 2017).

El 04 de junio de 2020, alrededor de las 11:00 h, encontramos un individuo macho subadulto de *Phrynonax poecilonotus* (LT = 144 cm; Fig. 1) en la localidad de Tlanecpaquila (18.7387° N, 96.9287° O; WGS 84; elev. 1015 m s.n.m.), Municipio de Zongolica, Veracruz, México. Presentó longitud hocico-cloaca = 110 cm y longitud de la cola = 34 cm. La fórmula de la fila de escamas fue 21-25-15, con 204 ventrales, escama anal única y 118 subcaudales divididas, 10/10 supralabiales y 11/11 infralabiales, coincidentes con las características diagnósticas para *P. poecilonotus* (Heimes, 2016), la determinación fue verificada por Luis Canseco-Márquez. El individuo fue fotografiado y liberado. Depositamos un vale fotográfico en la colección herpetológica colección digital del Natural History Museum of Los Angeles (LACM PC 2667). El individuo se encontró desplazándose en un camino de terracería cerca de un cafetal, consideramos que la vegetación original cercana corresponde a selva tropical.

En la región centro-oeste del estrado de Veracruz, *Phrynonax poecilonotus*, se ha reportado en los municipios de Atoyac, Córdoba, Huatusco, Orizaba (Smith & Taylor 1950; Pérez-Higareda & Smith 1991). Sin embargo, estos registros no son precisos, como es el caso de Finca Mirador, N de Huatusco (Flores-Villela & Comisión nacional para el conocimiento y

uso de la biodiversidad, 2020a) cuya coordenada pertenece al municipio de Totutla y no a Huatusco; o aluden a localidades urbanizadas como Orizaba y Córdoba (Pérez-Higareda & Smith, 1991), por lo que nuestro registro es uno de los de mayor certeza de georreferencia. Esta observación representa un nuevo registro para el Municipio de Zongolica, Veracruz (Fig. 2), a 21 Km SE, 16 Km S, 30 km SSE de los registros más cercanos conocidos previamente en los municipios de Orizaba, Córdoba (Pérez-



Figure 1. Individual subadult of *Phrynonax poecilonotus* (LACM PC 2667) from locality of Tlanecpaquila, municipality of Zongolica, Veracruz, México. Photo: Víctor Vázquez Cruz.

Figura 1. Individuo subadulto de *Phrynonax poecilonotus* (LACM PC 2667) de la localidad de Tlanecpaquila, municipio de Zongolica, Veracruz, México. Foto: Víctor Vázquez Cruz.

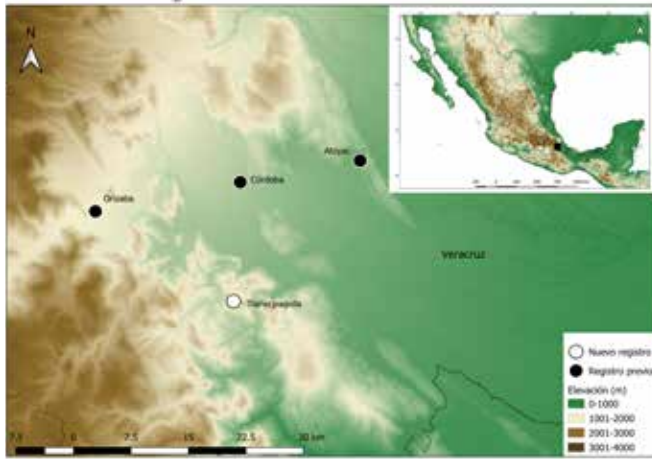


Figure 2. Geographic distribution of *Phrynonax poecilonotus* from Región de las Altas Montañas of the center-west of the state of Veracruz, Mexico. New locality in Tlanecpaquila (LACM PC 2667; white dot) and previous locations (black spots) in the municipalities of Atoyac (NHM 1733), Orizaba and Córdoba (Pérez-Higareda & Smith, 1991).

Figura 2. Distribución geográfica de *Phrynonax poecilonotus* en la Región de las Altas Montañas del centro-oeste del estado de Veracruz, México. Nueva localidad en Tlanecpaquila (LACM PC 2667; punto blanco) y localidades previas (puntos negros) en los municipios de Atoyac (NHM 1733), Orizaba y Córdoba (Pérez-Higareda & Smith, 1991).

Higareda & Smith, 1991) y Atoyac (NHM 1733; Flores, Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad C, 2020b), respectivamente.

Consideramos a *P. poecilonotus* como una especie rara en la región de Altas Montañas del centro-oeste de Veracruz, esto por las siguientes razones, (1) existe una diferencia de más de 70 años entre el registro actual y los anteriores que cuentan con mayor precisión (Smith & Taylor, 1950) y (2) porque en la mayoría de las áreas circundantes se han realizado estudios sobre diversidad de especies de anfibios y reptiles sin observaciones de *P. poecilonotus* (ej. De La Torre-Loranca et al., 2020; Vásquez-Cruz & Canseco-Márquez, 2020).

Agradecimientos.— A Neftalí Camacho por catalogar la fotografía y a Luis Canseco-Márquez por verificar la especie. Los autores NMCL y VVC queremos honrar la memoria de Francisco Javier Rodríguez-Pérez con esta obra, por sus años de trabajo en pro de la conservación de la biodiversidad en la región, descanse en paz. A dos revisores anónimos por sus valiosos comentarios.

LITERATURA CITADA

De La Torre-Loranca, M.A., R.G. Martínez-Fuentes, L. Canseco-Márquez & U.O. García-Vásquez. 2020. New Records of Amphibians and Reptiles from Sierra de Zongolica, Veracruz and Puebla, Mexico. *Herpetological Review* 51:550-553.

Flores Vilella O., Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. 2020a. Formación de una base de datos y elaboración de un atlas de la herpetofauna de México (Anfibiosreptiles_catálogo). Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/eaiuge> accessed via GBIF.org on 2021-02-10. <https://www.gbif.org/occurrence/1894948881>.

Flores Vilella O., Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. 2020b. Formación de una base de datos y elaboración de un atlas de la herpetofauna de México (Anfibiosreptiles_catálogo). Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/2chk4d> accessed via GBIF.org on 2021-02-10. <https://www.gbif.org/occurrence/2630243747>.

Heimes, P. 2016. *Herpetofauna Mexicana Vol. 1: Snakes of Mexico*. Edition Chimaira, Frankfurt am Main, Germany. 572 pp

Lee, J., R. Calderón Mandujano & M.A. Lopez-Luna. 2017. *Phrynonax poecilonotus*. IUCN Red List of threatened species. Versión 2020-2. <http://www.iucnredlist.org> [Consultado en agosto 2020].

Pérez-Higareda, G. & H.M. Smith. 1991. Ofidiofauna de Veracruz. Análisis taxonómico y zoogeográfico. Publicaciones especiales del Instituto de Biología 7. UNAM, México. 122 pp

Smith, H.M. & E.H. Taylor. 1950. Type-localities of Mexican reptiles and amphibians. *The University of Kansas science bulletin*. 33:313-380.

Uetz, P., P. Freed & J. Hosek (Eds). 2019. *The Reptile Database*. <http://www.reptile-database.org>. [Consultado en agosto 2020]

Vásquez-Cruz, V. & L. Canseco-Márquez. 2020. Anfibios y reptiles de la Colonia Agrícola Rincón de las Flores, Tezonapa, Veracruz, México. *Revista Latinoamericana de Herpetología* 3:66-80.



LAMPROELTIS MEXICANA (SQUAMATA: COLUBRIDAE)

S.Y. VALDEZ-RENTERÍA¹, N. MORALES-CAPELLÁN² Y LEONARDO FERNÁNDEZ-BADILLO^{2, 3*}

¹Domicilio conocido. Tezontepec de Aldama, Hidalgo, 42760, México.

²Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Km 4.5 carretera Pachuca-Tulancingo, s/n, Mineral de la Reforma, Hidalgo, 42184, México.

³Predio Intensivo de Manejo de Vida Silvestre X-Plora Reptilia, km 65 carretera México-Tampico, Pilas y Granadas, Metztitlán, Hidalgo, 43350, México.

Correspondence: fernandezbadillo80@gmail.com

Received: 2020-07-27. Accepted: 2021-02-25.

México: Hidalgo: Municipio de Tetepango, localidad Juandho (20.148106° N, 99.188451° W, 2050 m s.n.m.), 14 de junio de 2019. El ejemplar encontrado (Fig. 1) representa el segundo registro de *Lampropeltis mexicana* para el estado de Hidalgo y amplía la distribución de la especie en el estado en 1.4 km lineales al suroeste del único ejemplar conocido en Hidalgo, registrado 7.9 km al sureste de Mixquiahuala de Juárez (Hansen et al. 2016; Hansen & Salmon, 2017; Fig. 2). La serpiente fue encontrada muerta dentro de un cultivo de alfalfa rodeado por matorral xerófilo. El ejemplar presentó un patrón de coloración con el cuerpo de color gris y bandas o anillos rojos bordeados de negro que no rodean todo el cuerpo, este patrón de coloración es distintivo de *L. mexicana* (Heimes, 2016; Fernández-Badillo et al., 2017; Hansen & Salmon, 2017). La fotografía se depositó en la Colección Digital del Museo de Zoología de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México (MZfZ-IMG 280).

Agradecimientos.— Los autores agradecen a la señora Teresa Cornejo por proporcionarnos la fotografía y datos del ejemplar.

LITERATURA CITADA

Fernández-Badillo, L., S.Y. Valdez-Rentería, C.R. Olvera-Olvera, G. Sánchez-Martínez, N.L. Manríquez-Morán & I. Goyenechea. 2017. The snake *Lampropeltis annulata*, Kennicott, 1861, in Hidalgo, Mexico. *Mesoamerican Herpetology* 4:502-506.

Hansen, W.R., L. Fernández-Badillo, A. Ramírez-Bautista & O. Avalos-Torales. 2016. *Lampropeltis mexicana* (Mexican Kingsnake). *Herpetological Review* 47:262-263.

Hansen, W.R. & G.T. Salmon. 2017. Distribution analysis, taxonomic updates, and conservation status of the *Lampropeltis mexicana* group (Serpentes: Colubridae). *Mesoamerican Herpetology* 4:700-758.

Heimes, P. 2016. *Herpetofauna Mexicana Vol. 1. Snakes of Mexico*. Edition Chimaira. Frankfurt am Main, Germany.



Figure 1. Specimen of *Lampropeltis mexicana* from the locality of Juandho, municipality of Tetepango, Hidalgo (MZfZ-IMG 280). Photo: Teresa Cornejo.

Figura 1. Espécimen de *Lampropeltis mexicana* de la localidad Juandho, municipio de Tetepango, Hidalgo (MZfZ-IMG 280). Foto: Teresa Cornejo.

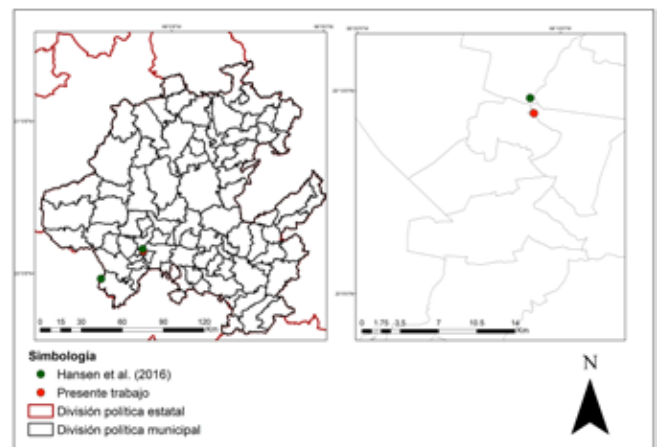


Figure 2. Map showing the only two known records of *Lampropeltis mexicana* in Hidalgo, as well as the closest record in the state of Mexico.

Figura 2. Mapa que muestra los únicos dos registros conocidos de *Lampropeltis mexicana* en Hidalgo, así como el registro más cercano en el Estado de México.

HEMIDACTYLUS TURCICUS (SQUAMATA: GEKKONIDAE) IN BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

JORGE H. VALDEZ-VILLAVICENCIO^{1*}, CLARK R. MAHRDT² & DANIELA CASTRO-GUTIÉRREZ³

¹Conservación de Fauna del Noroeste, Ensenada, Baja California, C.P. 22800, México

²Department of Herpetology, San Diego Natural History Museum, San Diego, California, 92102, USA.

³Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, C.P. 22870, México.

Correspondence: j_h_valdez@yahoo.com.mx

Received: 2020-08-10. Accepted: 2021-02-01.

México: Baja California Sur: Municipality of Mulegé: Santa Rosalía (27.32805°N, 112.25817°W, 52 m a.s.l.), one individual found (on line record: Naturalista 55355814; Fig. 1) on 3 August 2020, and a second record (on line record: Naturalista 56423518) found on 14 August 2020 by D. Castro (CONABIO, 2020), and verified by Edward L. Ervin. This represents the first record of the Mediterranean House Gecko (*Hemidactylus turcicus*) in the Municipality of Mulegé, Baja California Sur (Grismer, 2002; Fig. 2), and the second state record of this species. The first record of *H. turcicus* in Baja California Sur is an unpublished museum specimen from the Museo de Zoología Alfonso L. Herrera (MZFC 6582), at Universidad Nacional Autónoma de México, collected on 17 May 1994 in Loreto, Municipality of Loreto (GBIF, 2020), ca. 170 km (airline) south of Santa Rosalía. The status of this invasive gecko in Loreto is unknown, but previous records of the Common House Gecko (*Hemidactylus frenatus*) have been made from this locality (Luja et al., 2011). The adult gecko from Santa Rosalía was found active in a house wall at 21:33 h. The second gecko was a juvenile found at 20:32 h on a building wall in the Port of Santa Rosalía. A population appears to be established at this locality since several other individuals have been seen in the area (D. Castro-Gutiérrez pers. observ.).

CITED LITERATURE

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2020. Naturalista www.naturalista.mx/observations/55355814, 56423518; accessed 3 August 2020.

GBIF. 2020. Global Biodiversity Information Facility occurrence download <https://doi.org/10.15468/dl.3eczdf> [Accessed on September 2020]

Grismer, L.L. 2002. Amphibians and Reptiles of Baja California, including its Pacific Islands and the Islands in the Sea of Cortes. University of California Press. Berkeley, California, USA.

Luja, V.H., J.B. Granados & J.J. Pérez-Navarro. 2011. Geographic distribution: *Hemidactylus frenatus* (Common House Gecko). Herpetological Review 4:107.



Figura 1. Individuo de gecko del Mediterraneo (*Hemidactylus turcicus*) en Santa Rosalía, Baja California Sur, México (www.naturalista.mx/observations/55355814). Foto: Daniela Castro-Gutiérrez.

Figure 1. Individual of the Mediterranean House Gecko (*Hemidactylus turcicus*) from Santa Rosalía, Baja California Sur, México (www.naturalista.mx/observations/55355814). Photo: Daniela Castro.



Figura 2. Distribución geográfica de *Hemidactylus turcicus* en Baja California Sur, México. El círculo indica la el registro de Santa Rosalía y el cuadro el registro de Loreto.

Figure 2. Geographic distribution of *Hemidactylus turcicus* in Baja California Sur, Mexico. The circle indicates the record from Santa Rosalía, and the square the record from Loreto.



LIBRO: EL CURIOSO CASO DE LA ESPECIE SIN NOMBRE

BOOK: "EL CURIOSO CASO DE LA ESPECIE SIN NOMBRE"

OSCAR ALBERTO FLORES-VILLELA^{1*}

¹Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, 04510 México.

*Correspondence: sapovf@gmail.com

Received: 2021-01-13. Accepted: 2021-04-28.

El curioso caso de la especie sin nombre, anécdotas taxonómicas de muy diversos géneros

Luis Javier Plata Rosas. 2019. Ilustrado por Sebastián Flores. Editorial Universitaria de Guadalajara. 285 pp. Pasta dura.

El autor de este libro, es un oceanógrafo, actualmente miembro del personal académico de la Universidad de Guadalajara que tiene una larga trayectoria en divulgación de la ciencia, teniendo un papel muy destacado en esta área. Este es un libro extraño. No es un libro de taxonomía, aunque tiene información sobre el origen de la clasificación binomial, una muy resumida guía para nombrar especies y algunas reglas muy generales sobre el latín y griego que se usan para nombrar a las especies. También nos habla de la biodiversidad en tres capsulas a lo largo del libro. Nos trata de convencer del valor de la taxonomía, en tres capsulas a lo largo del texto (que no están en el índice), intituladas "La taxonomía según los taxónomos..." Concluyendo con un epitafio a Don Miguel Álvarez del Toro, zoólogo autodidacta, mexicano muy destacado.

El libro presenta una gran variedad de nombres científicos de muchos tipos de especies y acomodados en diferentes categorías, por temas, que reúnen nombres científicos en grupos que organizó, el autor, con mucho ingenio y, seguramente, con muchas horas de investigación. Temas como gobernantes o personajes de la política, a los cuales se les ha dedicado una especie. Como el emperador Hiroito de Japón (*Rotaovula hiroitoi*), un caracol o el actual presidente de México, al que se le dedicó un árbol de Los Tuxtlas, Veracruz (*Magnolia lopezobradorii*). Un género de escarabajo dedicado a Salvador Allende (*Allendia*).

Nombres dedicados a personajes de películas *Yoda purpura* (un hemicordado de las profundidades); al creador de los Simpsons un cangrejo (*Albunea groeningi*); al creador de Charlie Brown por el personaje de Luci, una especie de cangrejo de arena (*Lepidopa luciae*). El autor registra nombres dedicados al famoso caricaturista de "The Far Side" Gary Larson (*Strigiphilus garylsoni* [ectoparásito de aves] y *Serratoterga larsoni* [una mariposa]), quien dicho sea de paso, fue alumno de un herpetólogo (H. M. Smith



Figure 1. Book cover El curioso caso de la especie sin nombre, anécdotas taxonómicas de muy diversos géneros.

Figura 1. Portada del libro El curioso caso de la especie sin nombre, anécdotas taxonómicas de muy diversos géneros.

com. pers.), y pueden apreciarse sus antecedentes biológicos en muchas de sus caricaturas. En particular yo uso varios de sus chistes para las presentaciones de mis clases en la Facultad de Ciencias de la UNAM.

El autor nos ofrece una reseña de nombres científicos, casi impronunciables por lo largo (52 letras) *Gammaracanthuskytodermogammarus loticatobaicalensis* (un

crustáceo, cuyo nombre fue suprimido por la Comisión Internacional de Nomenclatura Zoológica), y otros más que no voy a transcribir. En el desfile de personajes famosos a los cuales se les ha dedicado algún nombre científico está el roquero, muy controversial, Jim Morrison, el Rey Lagarto, así que la lagartija fósil *Barbaturex morrisoni* es un nombre muy adecuado. Morrison no es el único roquero con un nombre científico en su honor, hay dos ranas del género *Dendrosophus*, *D. ozzy*, dedicada a Ozzy Osbourne y *D. stingi*, dedicada a Sting. No podían faltar nombres dedicados a los Beatles, por ejemplo: *Bushelia beatlesi*, un poliqueto marino. Autores clásicos tienen sus nombres también, por ejemplo el himenóptero *Mozartella beethoveni*, pone juntos en el mismo nombre a Mozart y Beethoven. Uno de mis escritores favoritos H. P. Lovecraft, también tiene nombres científicos dedicados a él (*Cthulhu*) género de protista flagelado. El autor de Parque Jurásico Michael Crichton, tiene un género de dinosaurio dedicado a él, *Chrichtonsaurus*.

En este libro se cuentan historias de varios nombres de reptiles y anfibios, podríamos empezar con los que tienen nombres repetidos en el género y la especie. La rana *Bombina bombina*, el sapo *Bufo bufo* y la salamandra común *Salamandra salamandra*. Las lagartijas *Agama agama*, *Basiliscus basiliscus*; la tortuga marina *Caretta caretta* y la cobra común *Naja naja*. Reptiles dedicados a personajes históricos, como Franklin Delano Roosevelt, las lagartijas *Anolis roosevelti* y *Spaherodactylus roosevelti*, hay una ranita en Colombia dedicada al príncipe Charles *Hyloscirtus princecharlesi*. Quizá uno de los naturalistas más homenajeado con nombres es Charles Darwin, existen varios anfibios y reptiles dedicados a este célebre personaje. Entre los anfibios encontramos a *Rhinoderma darwini*, que está en peligro de extinción y tiene un modo de reproducción muy interesante, pues los machos después de haber fertilizado los huevos, esperan a que se desarrollen hasta cerca de que los renacuajos estén a punto de eclosionar y los introducen en su boca en donde completan su desarrollo en el saco bucal. Entre los reptiles existen especies dedicadas a Darwin, el anfisbénido *Amphisbaena darwini*; el gecko *Gymnodactylus darwini*, una tortuga *Geochelone darwini* (ahora *Chelonoidis darwini*). Pero los dos personajes postulantes de la selección natural están juntos en un nombre de una mosca *Wallacea darwini*.

También el autor, nos da una orientación de cómo podemos lograr que nos dediquen una especie, siempre y cuando paguemos por ello. Esto puede representar una avenida muy controversial del trabajo taxonómico, pero también tiene alternativas que pueden ayudar a financiar este trabajo de ciencia básica, al cual no se le dedican muchos recursos, por lo menos en los países en vías de desarrollo. Muchos de estos países, también tienen un gran desconocimiento en cuanto a las especies que los habitan, una paradoja.

El libro tiene un índice al principio con los temas por los que agrupa a las especies y un índice de nombres científicos al final, aunque no es alfabético, sino progresivo, como se van citando los nombres en el texto. Me hubiera gustado ver un glosario. Esto haría que público menos especializado que lea este libro entienda varios de los terminajos (lenguaje especializado) de los taxónomos. No faltan algunos pequeños errores editoriales, solo señalo algunos de los que encontré. En la literatura citada hay algunas referencias que no están en orden alfabético en la letra "V". Encontré un error en que el primer nombre del autor de un trabajo está en índice de citas y no está ordenado por su apellido. Cómo escribe el autor "*Errare nomenclatorum est*" el organismo encargado de aprobar y dar estabilidad a la nomenclatura es la "Comisión Internacional de Nomenclatura Zoológica", no la "Linnean Society".

En resumen, no podría dar ejemplos de todos los nombres que la gran imaginación de los taxónomos han creado, y tampoco podría mencionar a los personajes, hechos y situaciones en las que se diseñaron estos nombres. Independientemente de cual sea la clasificación de los seres vivos (linneana o el filocódigo), si los taxónomos se ponen o no de acuerdo, la nomenclatura de las especies ha sido y es un ejercicio de divertimento para los taxónomos. La imaginación de los taxónomos no tiene límites. Luis Javier Plata Rosas, nos ha ahorrado el trabajo de buscarlos y si nos queremos divertir con un poco de ciencia, hay que leer este libro. Lo recomiendo ampliamente.



REPTILIA VS. SAUROPSIDA

REPTILIA VS. SAUROPSIDA

Oscar A. Flores Villela^{1*}

¹Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. CDMX, México.

*correspondence: ofvq@unam.mx

Received: 2021-03-07. Accepted: 2021-04-26.

Este pequeño ensayo obedece a una controversia que he tenido por algunos años con algunos colegas herpetólogos acerca del uso de la palabra Sauropsida como sustituto de Reptilia. Desde mi punto de vista, esto ha conducido a algunos grupos de trabajo a sustituir el ampliamente usado y conocido término Reptilia por el de Sauropsida. A mi parecer, es un error que no debe perpetuarse. He revisado la literatura hasta donde me ha sido posible, considerando que las bibliotecas están cerradas y no he tenido acceso a ciertas obras que no están disponibles en PDF o que no poseo en mi biblioteca personal. Creo que este ensayo resume los usos que se le ha dado a la categoría de Sauropsida, y aclara si se la ha propuesto para remplazar a la palabra Reptilia. Mi interpretación de esta controversia se resume aquí. También sugiero cuál de estos términos se debe usar y bajo qué condiciones del conocimiento de los organismos familiares para todos conocidos como reptiles. A lo largo del escrito utilizo término y categoría para referirme a Reptilia y Sauropsida en diferentes contextos; a propósito no utilizo categorías linneanas, sino grupos monofiléticos o parafiléticos aclarándolo en cada caso. Sirva esta explicación a manera de introducción de este ensayo.

El término Sauropsida fue propuesto originalmente Huxley (1864), en una serie de lecciones de anatomía comparada que el mismo ofreció en 1863 (Huxley, 1864, v.). En esta publicación introdujo el término “Sauroid” para referirse a las similitudes anatómicas entre reptiles y aves en su clasificación de los vertebrados (ver también Switek, 2010), aunque en el texto también menciona a los Sauropsida (p.220), al referirse a la estructura del cráneo de los reptiles y aves. En resumen, Huxley (1864, 1869, 1872) utilizó el término “saurópsidos” para referirse a dos grupos de vertebrados: reptiles y aves, y no como sustituto de Reptilia. En todo caso, como concluye Switek (2010, p. 255), Huxley propuso el término Sauropsida como un sistema anatómico y no evolutivo, ya que se habían derivado de una “superestructura”. Por ejemplo, Huxley (1870), en su clasificación de Dinosauria, no utilizó Sauropsida, refiriéndose a Reptilia en su disertación.

Baur (1887) utilizó la categoría Sauropsida, para incluir a los Crocodylia, Dinosauria, Aves y Ornithosauria, como un subgrupo de reptiles. Goodrich (1916) propuso que los Reptilia no son un grupo monofilético, conteniendo dos subgrupos: Theropsida (incluyendo mamíferos) y Sauropsida (incluyendo aves). Este esquema fue seguido por Watson (1957). Pearse (1947) en su lista de nombres de categorías zoológicas mayores (phyla, clases y órdenes) consideró a Sauropsida, dentro del cual incluyó a Reptilia, Aves y Mammalia. Sin embargo, Pearse (1947) acreditó el término de Sauropsida a Conybeare, 1823 (William Daniel Conybeare, geólogo británico, no encontré dicha publicación). De la lista de taxones publicada por Pearse, aparentemente se publicaron cuatro ediciones. Yo solo tuve acceso a tres, de las cuales únicamente la segunda (1947) menciona el término Sauropsida y su contenido de grupos.

Posteriormente, Gauthier et al. (1988), con un enfoque cladístico propusieron una filogenia de los Amniota, incluyendo a dos clados Mammalia y Reptilia; el clado Reptilia incluye a Chelonia + Sauria [Lepidosauria + Archosauria]). Esta filogenia (Fig. 1) fue la referencia por varios años (por ejemplo ver revisión en Flores Villela y Navarro 1993). Loconte (1990) cuestionó el trabajo de Gauthier et al (1988), bajo los argumentos que el uso de fósiles es un problema en la nomenclatura de taxones recientes y en la reconstrucción filogenética; que la definición original de Reptilia no incluye Aves; que Reptilia es parafilético (siguiendo a Hennig, 1968, 1975) y que el término adecuado para el grupo monofilético que incluya Reptilia y Aves es Sauropsida en el sentido de Goodrich (1916). Kluge (1990) rebatió las objeciones de Loconte, con los siguientes argumentos: los taxones nombrados en el trabajo de Gauthier et al. (1988) representan grupos monofiléticos y como tales están definidos en esos términos; el contenido del taxón Reptilia ha variado con el tiempo; y Sauropsida también ha tenido varios significados. No obstante, se puede mantener la monofilia de Reptilia independientemente de su contenido de taxones (Gauthier et al., 1988; Laurin & Reisz, 1995; Dominguez & Wheeler, 1997; Modesto & Anderson, 2004).

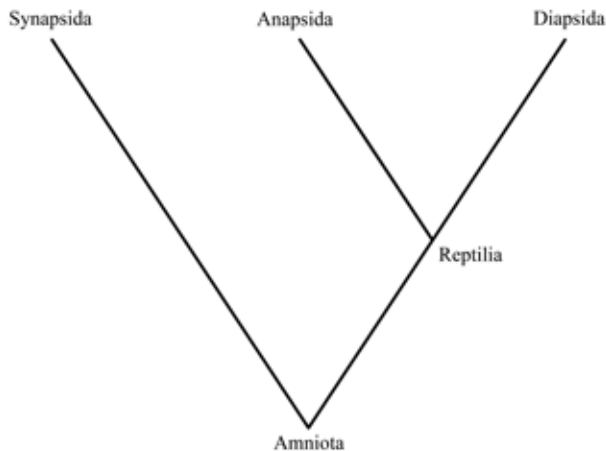


Figure 1. Phylogeny of Amniota, summarized from the proposal by Gauthier et al. (1988, Fig. 3). This proposal conserves the name Reptilia and redefines it as a monophyletic group that includes Aves, which pertains to the Diapsida clade. Both terminal branches include fossil and extant organisms (see Gauthier et al., 1988 for details).

Figura 1. Filogenia de los Amniota, resumida de la propuesta de Gauthier et al. (1988, Fig. 3). Esta propuesta conserva el nombre Reptilia y lo redefine como un grupo monofilético que incluye a las Aves que son parte del clado Diapsida. Ambas ramas terminales incluyen organismos fósiles y recientes (ver Gauthier et al. 1988 para más detalles).

La filogenia de Gauthier et al. (1988) fue sustituida por la que propusieron Laurin y Reisz (1995). Esta última filogenia agrupaba a los Amniota en dos grandes clados: Synapsida (que incluye a los mamíferos) y Sauropsida, que a su vez incluye a los Mesosauridae y Reptilia; en este último clado quedaron incluidos todos los reptiles vivos y fósiles y las aves (Fig. 2). Laurin y Reisz (1995) también introdujeron dos nombres que se han vuelto de uso común en filogenias de los Amniota: Parareptilia y Eureptilia, los cuales fueron propuestos originalmente por Olson (1947). De acuerdo con Olson (1947), Parareptilia incluye a varios grupos fósiles que designó Diadectia y a Chelonina; en los Eureptilia al resto de los reptiles fósiles y vivos (Captorhina, Parapsida, Euriapsida y Diapsida) y a los Synapsida. Sin entrar en una discusión de cómo ha variado el uso de estos dos términos, la cual está más allá del propósito de este comentario, las categorías Parareptilia y Eureptilia se han usado en casi todas las filogenias de los Amniota posteriores a Laurin y Reisz (1995), variando su contenido de grupos de reptiles fósiles conforme se ha avanzado en el conocimiento de los amniota.

No obstante lo anterior, Benton (1990a, 1991) usó el término Sauropsida en sustitución de Reptilia. Al hacer una revisión de la literatura lo insinúa en 1990a y lo formaliza en 1991 (Amniota

(Synapsida + nodo no nombrado [NN]), NN (Parareptilia + Sauropsida), conteniendo los Sauropsida a los Anapsida y Diapsida. Aunque Benton (1991) concluye que Synapsida y Sauropsida son taxones hermanos, lo cual es un error de interpretación de su dendrograma (Modesto & Anderson, 2004). Posteriormente, introdujo el término Sauropsida en sustitución de Reptilia, en su libro de texto de Paleontología de Vertebrados, desde la primera edición (Benton, 1990b), utilizando el mismo esquema de su artículo de 1991. A partir de la segunda edición (1997) y hasta la tercera (Benton, 2005a), cambió su esquema de la primera edición, corrigiendo la inconsistencia de su propuesta original, en la segunda edición (Benton, 1997); Amniota (Synapsida + Sauropsida), Sauropsida (Mesosauridae + Eureptilia), Eureptilia (Anapsida + NN), NN incluye al resto de los reptiles conteniendo a las Aves. En la tercera edición de su libro (Benton, 2005a) adopta el siguiente esquema: Amniota (Synapsida + Sauropsida), Sauropsida (Anapsida + NN). Los Anapsida incluyen a las tortugas varios grupos fósiles y los Mesosauridae; el NN incluye los otros reptiles fósiles, los diapsida que incluyen a las Aves. No obstante lo anterior, en la cuarta edición de este texto Benton (2015), abandonó su propuesta retomando que los Amniota incluyen a dos grupos Synapsida y Reptilia, el cual a su vez incluye a los Parareptilia

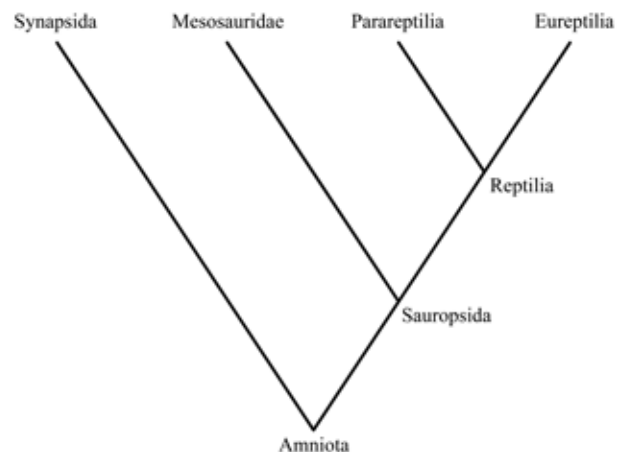


Figure 2. Phylogeny of Amniota, summarized from the proposal of Laurin and Reisz (1995, Fig. 2). The authors did not use the name Sauropsida as a substitute for Reptilia but rather include the Mesosauridae, whose position has been controversial (see details in Laurin and Reisz, 1995).

Figura 2. Filogenia de los Amniota, resumida de la propuesta de Laurin & Reisz (1995, Fig. 2). Ellos no usaron el nombre Sauropsida como sustituto de Reptilia sino para incluir a los Mesosauridae, cuya posición ha sido controversial (ver detalles en Laurin & Reisz, 1995).

y los Eureptilia. Se puede consultar Benton (1990a) para una revisión de la literatura que utilizó para su propuesta.

Existe otro libro de texto, ampliamente usado, el cual lleva 10 ediciones, intitulado “Vertebrate Life”. Las dos primeras por McFarland et al. (1979, 1985) y de la tercera a la última por Pough et al. (1989, 1996, 1999, 2002, 2005, 2008, 2013, 2018). Desde la primera edición de este libro de texto, se ha usado y explicado el uso del término Sauropsida, aunque no se usó para remplazar a Reptilia. Se explican las razones, similitudes morfológicas, por las que Huxley puso a reptiles y aves, bajo la misma categoría Sauropsida. En el índice de las dos primeras ediciones aparece la palabra “Reptiles” (McFarland et al., 1979, 1985). A partir de la tercera edición (Pough et al., 1989) desaparece la palabra “Reptiles” del índice, pero no se adopta, como sustituto de Reptilia a Sauropsida, solo se mencionan los grupos de reptiles sin ser referidos a una categoría superior y se explica el trabajo de Huxley en un contexto diferente, ubicando a las Aves como dinosaurios terópodos más derivados. No tuve acceso a la cuarta edición del libro de Pough y sus colaboradores (1996); pero en la quinta edición (Pough et al., 1999) se explica el trabajo de Huxley en el mismo contexto que en la tercera edición, agregando una crítica a la taxonomía tradicional de reconocer a las clases Reptilia y Aves al mismo nivel. Se incorpora a la discusión de las diferencias entre los Synapsida y Sauropsida aspectos fisiológicos y reconocen cuatro grupos principales de amniotas (p. 293): (Synapsida + Sauropsida + Parareptilia + Eureptilia). En la sexta edición Pough et al. (2002) adoptan el esquema de Laurin y Reisz (1995), ver figura 2. De la 8a edición a la 10ma (Pough et al., 2008, 2013, 2019) [no tuve acceso a la 7a edición, 2005] se introduce en el índice del libro a Sauropsida (Tortugas + Lepidosaurios + Archosaurios) y se introduce el tema intitulado “Synapsids and Sauropsids: Two approaches to terrestrial life”. En este capítulo del texto se hace un resumen de las diferencias anatómicas y fisiológicas de los grupos mencionados cuyo esquema de clasificación queda: Amniota (Synapsida + Sauropsida).

Harvey Pough aclara que seguirá usando el esquema de sustituir a Reptilia por Sauropsida, en la próxima edición se su texto de “Vertebrate Life”, aunque admite que en su concepto de Sauropsida incluye a los Parareptilia (todos representados por grupos fósiles), para los cuales asume que debieron haber tenido el mismo sistema cardiovascular, renal y respiratorio que el resto de los reptiles y aves (Pough, *com. pers.*, 5 abril del 2021); caracteres que usa para sostener a los Sauropsida, pero que no son observables en el registro fósil.

Adicionalmente, cabe mencionar que de los dos textos de herpetología de amplio uso que existen, ninguno utiliza el

término de Sauropsida como sustituto de Reptilia. Llama la atención que las cuatro ediciones de “Herpetology” editado por Pough et al. (1998, 2001, 2004, 2016), el término ni siquiera se menciona y se utiliza a Reptilia. Esto contrasta con el uso que se le da a Sauropsida en el texto de Vertebrate Life, en el que Pough es el editor principal. Por otro lado, el texto de Vitt y Caldwell, en sus últimas dos ediciones (2009, 2014), usan el término de forma ambigua, pero no como un remplazo de Reptilia.

Otros trabajos, como el de Modesto (1999), estudiando la estructura de un mesosaurio (*Stereosternum tumidum*), concluye que el nombre Reptilia tiene prioridad sobre Sauropsida, en el sentido del principio de prioridad (aunque este principio no se aplica por arriba de las categoría de superfamilia; Ohl, 2007), y como un nombre en términos de nomenclatura filogenética (por haberse publicado primero). Cabe mencionar que Reptilia fue originalmente propuesto por Laurenti (1768) y como ya se mencionó Sauropsida por Huxley (1869). Para Modesto (1999), el término Reptilia fue usado en el contexto de la nomenclatura filogenética por primera ocasión por Gauthier et al. (1988). Modesto y Anderson (2004) hicieron una discusión amplia del tema incluyendo el problema que representa el uso de definiciones filogenéticas de taxones. Tratando de reconciliar el sistema tradicional, basado en el Código Internacional de Nomenclatura Zoológica (ICZN, 2000) y el PhyloCode (Cantino & de Queiroz, 2020), proponen una definición de Reptilia y

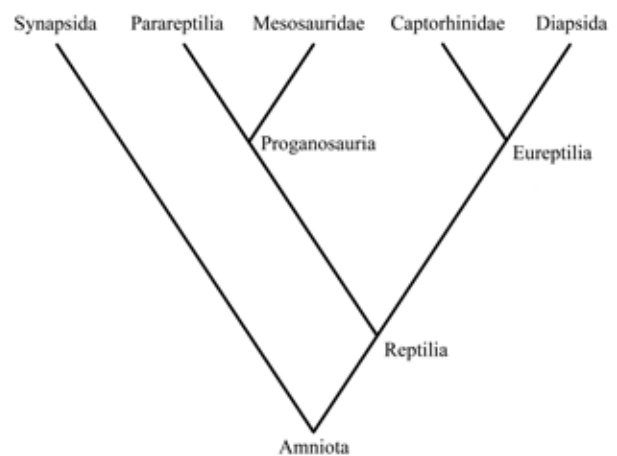


Figure 3. Phylogeny of Amniota, summarized from the proposal by Modesto and Anderson (2004, Fig. 3). This proposal includes turtles as diapsids and preserves the name Reptilia, applying criteria of the phylogenetic nomenclature.

Figura 3. Filogenia de los Amniota, resumida de la propuesta de Modesto y Anderson (2004, Fig. 3). Esta propuesta incluye a las tortugas como diápsidos y preserva el nombre de Reptilia, aplicando criterios de la nomenclatura filogenética.

sugieren usar este término en lugar de Sauropsida (Fig. 3). Para una revisión de los diferentes usos de Sauropsida y Reptilia con base en los enfoques tradicional y filogenético ver el trabajo de Modesto y Anderson (2004).

Aunque el principio de prioridad no se aplica a taxones por arriba del nivel de familia, el término Reptilia es de amplio uso y conocimiento y fue propuesto casi 100 años antes que el término Sauropsida. Por ejemplo, Benton (1990c, 2005b), a pesar de haber intentado introducir el término Sauropsida como sustituto de Reptilia (Benton, 1991), en su libro de divulgación intitulado “The reign of the Reptiles” mantuvo el término más común y conocido, en lugar de intitular su libro “El reino de los Saurópsidos”. Pough menciona que en la décimoprimer edición de su libro “Vertebrate Life”, que aparecerá el próximo año, para los grupos recientes usará el término más familiar de Reptilia, y que en el caso de incluir a los grupos fósiles utilizará Sauropsida (H. Pough y W. Bemis, *com. pers.*, 7 abril 2021).

Si estuviéramos de acuerdo con los preceptos del PhyloCode (Cantino & de Queiroz, 2020), el uso del término Reptilia (un nombre basado en un nodo) cuya definición sería “el ancestro común de Chelonia, Squamata, Crocodylia y Aves y sus descendientes (J. McGuire, *com. pers.*, 26 marzo, 2021), sigue siendo válido para referirse a los reptiles recientes (Fig. 4). El término Sauropsida (un nombre basado en una rama) se definiría como todos los taxones más cercanamente relacionados con los reptiles recientes que con los Synapsida (Fig. 4). Esto es que Sauropsida incluye a todos los Reptilia, incluyendo los taxones fósiles en la rama que lleva a Reptilia arriba del nodo de los Amniota (J. McGuire, *com. pers.*, 26 marzo, 2021). Con esta propuesta y de acuerdo con los proponentes del PhyloCode, esta nomenclatura debería traer más estabilidad a los nombres que la nomenclatura linneana; no obstante, lo que hace es introducir dos nombres para el mismo grupo de organismos.

No veo la simplificación y como ya lo demostraron Gauthier et al. (1988) y Modesto y Anderson (2004), se pueden adoptar los principios de la nomenclatura filogenética y preservar el nombre más antiguo y conocido, incluso cambiando las definiciones de dichos nodos y ramas, las cuales han cambiado con el descubrimiento de nuevos fósiles o nuevos caracteres y su reinterpretación (Dominguez & Wheeler, 1997; Modesto & Anderson, 2004). Por ejemplo, ver cómo ha cambiado la posición de los Chelonia de ser considerados anápsidos a diápsidos, utilizando una reinterpretación de la fenestración del cráneo y caracteres moleculares (ver revisión en Zardoya & Meyer, 2001 y Lee, 2013) y ver cómo ha afectado esto en la filogenia de los Amniota (Modesto & Anderson, 2004).

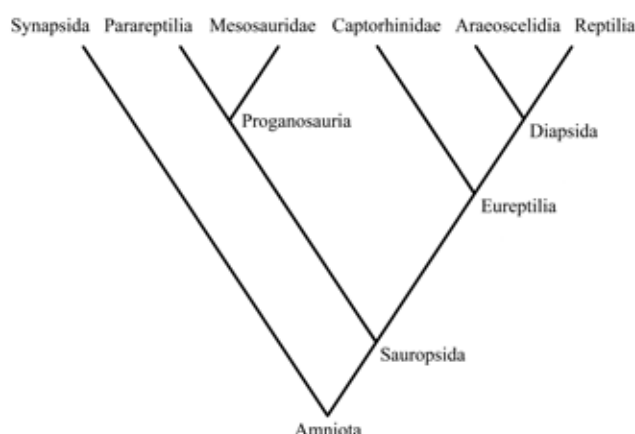


Figure 4. Phylogeny of Amniota, summarized from the proposal of Modesto and Anderson (2004, Fig. 2). This proposal includes turtles as diapsids using phylogenetic definitions, leaving Reptilia as a crown group, including only recent reptiles (see details in Modesto & Anderson, 2004).

Figura 4. Filogenia de los Amniota, resumida de la propuesta de Modesto y Anderson (2004, Fig. 2). Esta propuesta incluye a las tortugas como diápsidos usando definiciones filogenéticas, por lo que los Reptilia quedan como un grupo corona, incluyendo solo a reptiles recientes (ver detalles en Modesto & Anderson, 2004).

Para entender los conceptos de la nomenclatura filogenética ver Morrone (2013). Para las críticas a la propuesta del PhyloCode, ver Dominguez y Wheeler (1997), Nixon y Carpenter (2000), Keller et al. (2003), Nixon et al. (2003), Wheeler (2004) y Platnick (2012).

Puedo concluir que el uso del término Sauropsida para remplazar a Reptilia en las clasificaciones solo puede conducir a confusión y a abandonar un concepto de amplio uso entre herpetólogos, otros biólogos y el público en general. En la revisión que se ha presentado (sin pretender que sea totalmente exhaustiva) se ha demostrado que el término Sauropsida se ha usado de forma obscura e inconsistente (Benton, 1990b, 1997, 2005a; F. H. Pough *com. pers.*, 5 de abril del 2021) en la literatura de la taxonomía de los reptiles y que existe un consenso entre la mayoría de los especialistas en no usarlo como sustituto de Reptilia. Su uso en otros trabajos se ha justificado con base en una revisión superficial de la literatura y una interpretación errónea de la misma (Manríquez-Morán et al., 2017). Se ha referido a este término bajo categorías linneanas incorrectas y que reflejan una taxonomía inconsistente (Torres-Torres et al., 2017). También ha sido usado en trabajos de no especialistas, posiblemente basados en uno de los dos únicos textos que lo ha

usado como remplazo de Reptilia, o sin justificar la adopción del término en lugar de Reptilia (Fernández-Badillo et al., 2016; Burgos Gallardo et al., 2020; Griebeler & Wener, 2018; EcuRed; Pérez, 2021; Pollen et al., 2009).

En resumen, no encuentro justificación válida, desde el punto de vista de la nomenclatura, ya sea tradicional o filogenética, ni desde el punto de vista práctico para continuar con el uso del término Sauropsida en sustitución de Reptilia. Esta práctica debe ser abandonada para evitar la proliferación de nombres incorrectamente aplicados.

Agradecimientos.— A Jimmy McGuire, Lee Fitzgerald y Jack Sites, quienes enseñan herpetología en sus respectivas universidades, por sus puntos de vista. A Harvey Pough por aclarar el uso del término Sauropsida en su libro de texto “Vertebrate Life”, aunque sigo en desacuerdo con él. A Martha L. Crump por facilitar la comunicación con Harvey Pough. A Laurie Vitt por sus comentarios con relación al uso del término Sauropsida. A Adriana J. X. González-Hernández, Juana M. Garza-Castro y Carlos J. Balderas-Valdivia, por estimular este comentario. A Alicia Villela por su ayuda y a Juan J. Morrone por su revisión del manuscrito. Al Sr. Víctor Hernández López de la Biblioteca “Ricardo Monjes López” de la Facultad de Ciencias, UNAM.

LITERATURA CITADA

- Baur, G. 1887. On the phylogenetic arrangement of the Sauropsida. *Journal of Morphology* 1:93-104.
- Benton, M.J. 1990a. Phylogeny of the major Tetrapod groups: Morphological data and divergence dates. *Journal of Molecular Evolution* 30:409-424.
- Benton, M.J. 1990b. *Vertebrate paleontology, biology and evolution*. Harper Collins Academic, London, UK.
- Benton, M.J. 1990c. *The reign of the reptiles*. Crescent Books, New York, USA.
- Benton, M.J. 1991. Amniote phylogeny. Pp. 317-330. En: H. P. Schultze y L. Trueb (Eds.). *Origins of the higher groups of Tetrapods, controversy and consensus*. Comstock Publishing Associates, Ithaca, New York, USA.
- Benton, M.J. 1997. *Vertebrate paleontology* 2th Edit. Blackwell Science, Massachusetts, USA [tercera reimpression 2003].
- Benton, M.J. 2005a. *Vertebrate paleontology*, 3th Edit. Blackwell Publishing Ltd. Oxford, UK.
- Benton, M.J. 2005b. *The reign of the reptiles*. Reprinted by Quantum Publishing Ltd. London, UK.
- Benton, M.J. 2015. *Vertebrate paleontology*, 4th Edit. Wiley and Sons, Sussex UK.
- Burgos Gallardo, F., J.L. Baldo y J.D. Baldo. 2020. Taxocenosis de las Serpientes (Sauropsida: Squamata) de la provincia de Jujuy, Argentina. *Cuadernos de Herpetología* 34:53-77.
- Cantino, P. D. & K. de Queiroz. 2020. PhyloCode, Version 6. <http://phylonames.org/code/> [Consultado en marzo del 2021].
- Dominguez, E. & Q. D. Wheeler. 1997. Taxonomic stability is ignorance. *Cladistics*, 13:367-372.
- EcuRed: Sauropsida [<https://www.ecured.cu/>] [Consultado en marzo 2021].
- Fernández-Badillo, L., N.L. Manríquez-Morán, J.M. Castillo-Cerón. & I. Goyenechea. 2016. Análisis herpetofaunístico de la zona árida del estado de Hidalgo. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87:156-170.
- Flores-Villela, O. & A. Navarro S. 1993. Clasificación actual de los amniota. Número Especial 7, *Biología y problemática de los vertebrados en México*. CIENCIAS, revista de difusión de la Facultad de Ciencias de la UNAM:63-69.
- Gauthier, J., A.G. Kluge & T. Rowe, 1988. Amniote phylogeny and the importance of fossils. *Cladistics* 4:105-209.
- Goodrich, E.S. 1916. On the classification of Reptilia. *Proceeding of the Royal Society of London B* 89:261-276.
- Griebeler, E.M. & J. Wener. 2018. Formal comment on: Myhrvold (2016) Dinosaur metabolism and the allometry of maximum growth rate. *PLoS ONE* 11: e0163205.
- Hennig, W. 1968. *Elementos de una sistemática filogenética*. Editorial Universitaria de Buenos Aires, Argentina.
- Hennig, W. 1975. Cladistic analysis or cladistic classification: A reply to Ernst Mayr. *Systematic Zoology* 24:244-256.

- Huxley, T.H. 1864. Lectures on the elements of comparative anatomy, on the classification of animals and on the vertebrate skull. John Churchill and Sons. London, UK.
- Huxley, T.H. 1869. An introduction to the classification of animals. John Churchill and Sons. London, UK.
- Huxley, T.H. 1870. On the classification of the Dinosauria, with observations on the Dinosauria of the Trias. Quarterly Journal of the Geological Society, London 26:32-50.
- Huxley, T.H. 1872. A manual of the anatomy of vertebrated animals. D. Appleton and Company, Broadway, UK.
- International Commission of Zoological Nomenclature. 2000. International Code of Zoological Nomenclature, 4th edit. <https://www.iczn.org/the-code/the-international-code-of-zoological-nomenclature/the-code-online/> [Consultado marzo del 2021].
- Keller, R.A., R.N. Boyd & Q.D. Wheeler. 2003. The illogical basis of phylogenetic nomenclature. The Botanical Review 69:93-110.
- Kluge, A. G. 1990. On the special treatment of fossils and taxonomic burden: A response to Loconte. Cladistics 6:187-190.
- Laurenti, J.N. 1768. Specimen medicum, exhibens synopsis Reptilium emendatum, cum experimentis circa venena et antidote Reptilium Austriacorum. Joan Thom., Nob, de Trattner, Vienna.
- Laurin, M. & R.R. Reisz. 1995. A reevaluation of early amniote phylogeny. Zoological Journal of the Linnean Society 113:165-223.
- Lee, M.S.Y. 2013. Paleontology: Turtles in transition. Current Biology 23:R513-R515
- Loconte, H. 1990. Cladistic classification of Amniota: a response to Gauthier et al. Cladistics 6:187-190.
- Manríquez-Morán, N.L., J.M. Castillo-Cerón, I. Goyenechea Mayer-Goyenechea, R. Cruz-Elizalde, U. Hernández-Salinas, D. Lara-Tufiño, L.M. Badillo-Saldaña, C. Berriozabal-Islas & A. Ramírez-Bautista. 2017. Riqueza y biodiversidad de saurópsidos (no Aves) del Estado de Hidalgo. Pp. 505-528. En: A. Ramírez-Bautista, A. Sánchez-González, G. Sánchez-Rojas & C. Cuevas-Cardona (eds.). Biodiversidad del estado de Hidalgo. Tomo I. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Pachuca de Soto, Hidalgo, México.
- McFarland, W.N., F.H. Pough, T.J. Cade & J.B. Heiser. 1979. Vertebrate life. Collier Macmillan International Editions, New York, New York, USA.
- McFarland, W.N., F.H. Pough, T.J. Cade & J.B. Heiser. 1985. Vertebrate Life, 2th edit. Macmillan Publishing Co. New York, New York, USA.
- Modesto, S.P. 1999. Observations on the structure of the early Permian reptile *Stereosternum tumidum* Cope. Paleontologia Africana 35:7-19.
- Modesto, S.P. & J.S. Anderson. 2004. The phylogenetic definition of Reptilia. Systematic Biology 53:815-821.
- Morrone, J.J. 2013. Sistemática: Fundamentos, métodos, aplicaciones. Facultad de Ciencias, UNAM, Ciudad de México, México.
- Nixon, K.C. & J.M. Carpenter. 2000. On the other "phylogenetic systematics". Cladistics 16:298-318.
- Nixon, K.C., J.M. Carpenter, & D.W. Stevenson. 2003. The PhyloCode is fatally flawed, and the "Linnean" system easily be fixed. Botanical Review 69:111-120.
- Ohl, M. 2007. Principles of taxonomy and current classification: Current procedures for naming and classifying organisms. Pp. 141-166. En W. Henke & I. Tattersall (Eds.). Handbook of Paleoanthropology, Volume I Principles, methods and approaches. Springer-Verlag, Berlin, Alemania.
- Olson, E.C. 1947. The family Diadectidae and its bearing on the classification of Reptiles. Fieldiana Geology 11:3-53.
- Pearse, A.S. (ed.) 1947. Zoological names: A list of phyla, classes, and orders. Prepared for Section F, American Association for the Advancement of Science. 2th edit. Durham, North Carolina, U.S.A.
- Pérez, J.I. 2021. Cuaderno de Cultura Científica <https://culturacientifica.com/2017/10/24/sistemas-respiratorios-los-pulmones-reptiles-aves/> [Consultado marzo 2021].
- Platnick, N.I. 2012. The poverty of the PhyloCode: A reply to de Queiroz and Donoghue. Systematic Biology, 61:360-361.
- Pollen, A.A., A.F.P. Cheung & Z. Molnár. 2009. Evolution and embryological development of the cortex in Amniotes. En: M.D.

- Binder, N. Hirokawa & U. Windhorst (eds.), Encyclopedia of neuroscience. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Pough, F.H., J.B. Heiser & W.N. McFarland. 1989. Vertebrate Life 3th Edit. Macmillan Publishing Co. New York, New York, USA.
- Pough, F.H., C.M. Janis & J.B. Heiser. 1999. Vertebrate Life 5th Edit. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Pough, F.H., C.M. Janis & J.B. Heiser. 2002. Vertebrate Life 6th Edit. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Pough, F.H., C.M. Janis & J.B. Heiser. 2008. Vertebrate Life 8th Edit. Benjamin Cummings Publishing Company, San Francisco, California, USA.
- Pough, F.H., C.M. Janis & J.B. Heiser. 2013. Vertebrate Life 9th Edit. Pearson, Boston, Massachusetts, USA.
- Pough, F.H. & C.M. Janis. 2018. Vertebrate Life 10th Edit. Sinauer Associates, New York, New York, USA.
- Pough F.H., R.M. Andrews, J.E. Cadle, M.L. Crump, A.H. Savitzky & K.D. Wells. 1998. Herpetology. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Pough F.H., R.M. Andrews, J.E. Cadle, M.L. Crump, A.H. Savitzky & K.D. Wells. 2001. Herpetology, 2th Edit. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Pough F.H., R.M. Andrews, J.E. Cadle, M.L. Crump, A.H. Savitzky & K.D. Wells. 2004. Herpetology, 3th Edit. Pearson, Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Pough F.H., R.M. Andrews, M.L. Crump, A.H. Savitzky, K.D. Wells & M.C. Brandley. 2016. Herpetology, 4th Edit. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, USA.
- Switek, B. 2010. Thomas Henry Huxley and the reptile to bird transition. En R. T. J. Moody, E. Buffetaut, D. Naish, & D.M. Martill (eds), Dinosaurs and other extinct saurians: A historical perspective. Geological Society, London, Special Publications 343:251-263.
- Torres Torres, A.M., C. Trespalacios, N.A. Pachón Barbosa & N. Ruda. 2017. Diafanización como alternativa metodológica para el estudio anatómico en reptiles de la clase Sauropsida. Número Extraordinario, IV Congreso Nacional de Investigación en Enseñanza de la Biología.
- Vitt, L.J. & J.P. Caldwell. 2009. Herpetology, an introductory biology of amphibians and reptiles 3th Edit. Elsevier-Academic Press, Amsterdam, Países Bajos.
- Vitt, L.J. & J.P. Caldwell. 2014. Herpetology, an introductory biology of amphibians and reptiles 4th Edit. Elsevier-Academic Press, Amsterdam, Países Bajos.
- Watson, D.M.S. 1957. On Millerosaurus and the early history of the Sauropsid reptiles. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B 240:325-400.
- Wheeler, Q.D. 2004. Taxonomic triage and the poverty of phylogeny. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B 359:571-583.
- Zardoya, R. & A. Meyer. 2001. The evolutionary position of turtles revised. Naturwissenschaften 88:193-200.



EN MEMORIA DEL DR. BARRY R. SINERVO "DR. LIZARDO" (1960-2021)

IN MEMORY OF DR. BARRY R. SINERVO "DR. LIZARDO" (1960-2021)

Fausto R. Méndez de la Cruz^{1*}, Natalia Fierro Estrada², Norberto Martínez Méndez³ & Rafael Alejandro Lara-Resendiz⁴

¹Instituto de Biología, UNAM. A.P. 70-153. C.P. 04510, Ciudad de México, México.

²Laboratorio de Recursos Naturales, Unidad de Biotecnología y Prototipos, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Estado de México, México. Facultad de Estudios Superiores, Iztacala, Av de los Barrios S/N. Iztacala Estado de México.

³Laboratorio de Bioconservación y Manejo, Departamento de Zoología. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, CdMx, México.

⁴Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Instituto de Diversidad y Ecología Animal (IDEA) y Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Centro de Zoología Aplicada, Córdoba, Argentina

*correspondence: faustomendez6@gmail.com

Received: 2021-04-19. Accepted: 2021-04-28.

Barry Sinervo fue un investigador que impactó al mundo de la biología por su capacidad de entender los problemas de manera integral y por su elocuencia en las conferencias y cursos. Era capaz de integrar la información generada por sus investigaciones con la teoría de diversas disciplinas, impactando y sembrando una semilla de conocimiento en cada uno de los que tuvimos la oportunidad de conocerlo.

Barry nació en Port Arthur, Ontario, Canadá. Se educó en la Universidad de Dalhousie, Nueva Escocia, en donde obtuvo la licenciatura en biología/matemáticas en 1982. Posteriormente obtuvo el doctorado en la Universidad de Washington en Seattle en 1988. Comenzó a trabajar en la Universidad de California, Santa Cruz en 1997 y fue reconocido con el nombramiento de Profesor distinguido de Ecología y Biología Evolutiva en 2010.

Desde su niñez, Barry mostró un gran interés por los reptiles, principalmente las lagartijas, a pesar de ser muy escasas en su tierra natal. Su afición se convirtió en una brillante profesión y le llevó a tener grandes aportes científicos durante su carrera, teniendo como modelo principal las lagartijas, por eso se hizo llamar Dr. Lizardo (*a simple country lizard doctor, según sus propias palabras*). Sin embargo, durante su vida profesional realizó importantes contribuciones sobre plantas, peces, mamíferos, anfibios y reptiles en diversas partes del mundo. En el campo siempre se proponía superar sus propios registros, que hacían su ambiente competitivo y agradable; número de lagartijas capturadas por día, número de especies observadas en una expedición, etc. eran parte de los retos cotidianos. Además, musicalizaba el trabajo en campo con canciones, adecuando las



Figure 1. Dr. Barry Sinervo at Centro Cultural Universitario, UNAM. Photo: Fasuto A. Mendez.

Figura 1. Dr. Barry Sinervo en el Centro Cultural Universitario, UNAM. Foto: Fasuto A. Mendez.



Figure 2. Barry Sinervo doing fieldwork at San Juan, Argentina (December 2011). Photo: Rafael Lara.

Figura 2. Barry Sinervo haciendo trabajo de campo en San Juan, Argentina (Diciembre 2011). Foto: Rafael Lara.

letras a las vivencias diarias. Siempre mantenía un gran sentido del humor y parte de las actividades principales durante los días en campo era contemplar los espectaculares amaneceres o atardeceres. Combinar las actividades de campo con la diversión era la dinámica garantizada al trabajar con Barry, además de disfrutar por las noches de buenas cepas de Pinot Noir o Malbec.

Barry fue un ecólogo evolutivo y del comportamiento prominente que publicó artículos que impactaron al mundo, ya que su visión de la investigación no tenía límites y percibía inmediatamente un mapa conceptual de una manera global y multidisciplinaria. Una de las investigaciones que revolucionó la ciencia fue directamente derivada de un proyecto desarrollado en “Lizard Land”, una región nombrada así por él, ubicada a 130 km al este de Santa Cruz, en donde observó que existía un comportamiento particular de los ejemplares de la lagartija de costado manchado, *Uta stansburiana*, dependiendo del color que mostraban en la garganta. Este descubrimiento de Sinervo y Lively intitulado “The rock–paper–scissors game and the evolution of alternative male strategies” fue publicado en 1996 en *Nature*, el cual impactó al mundo de la biología por dar una perspectiva diferente de la forma en que ocurre la interacción de individuos de una misma población en función de los diferentes colores.

Durante 30 años consecutivos, Dr. Lizardo estudió los diferentes morfos cromáticos que permitieron entender una dinámica diferente en la especiación, las diferentes estrategias en la historia de vida dentro de una misma población y, de

manera sobresaliente, la dinámica en la teoría de juegos, desde la perspectiva de la biología.

En México nació otro de sus más grandes aportes a la ciencia durante 2008 y 2009 cuando realizaba trabajo de campo con colaboradores mexicanos, pudo encontrar un mecanismo que explicaba cómo las poblaciones de reptiles, principalmente de lagartijas, se ven afectadas por los efectos del cambio climático. El estudio de este mecanismo le permitió crear una base conceptual y teórica para medir y estimar las extinciones en reptiles. Esto lo llevó a consolidar un equipo de colaboradores en los cinco continentes para poner a prueba sus nuevas teorías y estimar el riesgo de extinción de los reptiles alrededor del mundo. Este primer esfuerzo se vio reflejado en una publicación en 2010 en la revista *Science* titulada “Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches”. Este primer acercamiento fue enriqueciéndose con el paso de los años con diversos aportes teóricos y técnicos que han logrado integrar otros aspectos de la fisiología, desempeño y demografía de los reptiles. Sin embargo, estas metodologías tienen el potencial de poder adaptarse a otros organismos ectotérmicos, como los anfibios, como lo demostró en publicaciones y proyectos recientes con salamandras, y particularmente, con el ajolote mexicano *Ambystoma mexicanum*.

Derivado de estos estudios en Barry surgió la imperiosa necesidad de concientizar a la humanidad sobre los efectos del cambio climático acelerado sobre la diversidad biológica. En este aspecto él se convirtió en un difusor incansable de la protección del medio ambiente y de la necesidad que tiene la humanidad para controlar las emisiones de gases de efecto invernadero. En 2014, Sinervo ayudó a establecer el Instituto para el Estudio de Impactos Climáticos Ecológicos y Evolutivos (ISEECI por sus siglas en inglés) aprovechando el Sistema de Reservas Naturales de la Universidad de California para estudiar cómo el cambio climático afectará los ecosistemas de California y estados limítrofes.

Barry era un excelente orador y sus conferencias y pláticas siempre lograban contagiar, a todos los que lo escuchaban, de su amor a la naturaleza y del entusiasmo que debemos poner para lograr un mundo mejor. Tuvo un gran impacto científico no solo con sus publicaciones, sino también a través de sus clases y los talleres que organizó en países de todo el mundo. En sus clases rara vez usaba notas y su presentación parecía espontánea. Un día de enseñanza de Sinervo podría valer un semestre de otros profesores. Era el tipo de profesor cuya creatividad extravagante rara vez se ve en un entorno académico. Entre 1993 y 2021 fue profesor de ecología conductual y evolutiva, teoría de juegos,

genética de poblaciones, ecología fisiológica y herpetología. En esta última, el trabajo de campo se realizaba en salidas épicas a las cercanías de Santa Cruz, a Lizard Land o al Desierto de Mojave, donde de manera apasionada y motivacional daba cátedra de biología. Debido a su gran entusiasmo por la ciencia, historia natural, evolución y herpetología, fue un profesor sumamente carismático y querido en la universidad, que motivó y cautivó a 31 generaciones de biólogos.

Barry fue un excelente científico, siempre atento a colaborar y a recibir preguntas o peticiones de trabajo que solía responder las peticiones casi inmediatamente, inmediatamente con una idea propositiva. Siempre iba más allá de lo que se le planteaba, sus respuestas eran del tipo: "también podemos hacer tal cosa", "podemos estudiar tal lagartija", "con gusto doy tal charla" y "¿En qué puedo ayudar?". Barry no sólo nos dejó grandes aportes en el estudio de las lagartijas, también nos dejó grandes enseñanzas sobre la colaboración y el trabajo en equipo aún a la distancia y sobre todo la importancia de compartir el conocimiento con todo aquel interesado, lo que le llevó a tener múltiples colaboraciones.

El laboratorio de Sinervo atrajo a una incalculable cantidad de estudiantes y colaboradores provenientes de todo el mundo, con quienes realizó investigaciones multinacionales. Particularmente, asesoró a 15 estudiantes de doctorado y por su laboratorio transitaron 17 posdoctorantes. Su bibliografía contiene evidencia de su éxito como científico y colaborador en múltiples campos de investigación y diversos sistemas biológicos. Tiene alrededor de 150 publicaciones (130 artículos en revistas y 16 capítulos de libros), las cuales, de acuerdo con google académico, han sido citadas ~16,200 veces (abril/2021). Dentro de su producción destacan siete artículos en Science, dos en Nature, cinco en PNAS, 14 en Evolution y ocho en The American Naturalist. Esta última en 2004 premió como el mejor artículo a "Behavioral drive versus behavioral inertia in evolution: a null model approach" en colaboración con R. B. Huey y P. E. Hertz; también Copeia en 2012 premió al mejor artículo "Rapid formation of reproductive isolation between two populations of side-blotched lizards, *Uta stansburiana*" con A. Corl y L. Lancaster. Uno de sus libros más citados es "Evolutionary games in natural, social and virtual worlds" publicado con D. Friedman (2016). Los principales coautores en sus contribuciones son Donald Miles, Raymond Huey, Jonathan Losos, Jean Clobert, Erik Svensson y Lesley Lancaster, aunque tuvo colaboradores a nivel mundial. Buena parte de su investigación fue financiada por National Science Foundation (NSF) de manera continua desde 1989. En 2012 se nombró a una lagartija patagónica en su honor, *Phymaturus sinervo*.



Figure 3. Barry Sinervo doing fieldwork and teaching herpetology in the Mojave Desert (April 2016). Photo: Rafael Lara.

Figura 3. Barry Sinervo haciendo trabajo de campo y enseñando herpetología en el desierto de Mojave (Abril 2016). Foto: Rafael Lara.

A pesar de sus continuos problemas de salud debidos al cáncer y a los tratamientos y cirugías nunca canceló su participación en eventos universitarios o científicos. Por ejemplo, en 2016 fue sobresaliente su participación en el congreso mundial de herpetología en China, pese a su voz y visión cedieron, impartió la conferencia magistral inaugural, pláticas regulares y un taller sobre ecofisiología y cambio climático. Posterior al congreso, realizó trabajo de campo, que culminó en la publicación de uno de sus artículos más recientes en Integrative Zoology: "Climate change, thermal niches, extinction risk and maternal-effect rescue of Toad-headed lizards, *Phrynocephalus*, in thermal extremes of the Arabian Peninsula to the Tibetan Plateau". A pesar de su diezmada salud, nunca perdió el sentido del humor y siempre sostuvo comunicación por correo electrónico con sus colegas y amigos hasta sus últimos días. Además, con entusiasmo siguió participando en sus clases de herpetología, mantuvo trabajo continuo con estudiantes y, por si fuera poco, escribió "Behavioral Genetics to Evolution" una obra gigantesca de 20 capítulos, 627 figuras y 465 videos narrados y explicados con animaciones; el cual sintetiza más de 30 años de investigación o como él lo mencionó en twitter: "... my epic journey through the field of Behavioral Ecology".

Barry Sinervo falleció el 15 de marzo de 2021 en California a la edad de 60 años después de una larga batalla contra el cáncer (carcinoma adenoide quístico). Le sobreviven su amorosa esposa Jeanie Vogelzang e hijo Ari Sinervo, quienes lo apoyaron y extrañan enormemente. Sin duda, la partida de Barry deja un gran vacío en la comunidad científica debido a sus inapreciables

contribuciones académicas y trabajos pendientes, pero sobre todo deja un espacio imposible de llenar en quienes lo conocimos. Él dejó plantadas miles de semillas de amor a la naturaleza y al quehacer científico, y nos enseñó cómo la generosidad y el amor a lo que uno hace pueden ir de la mano de la rigurosidad y disciplina científica. Quienes tuvimos la suerte de trabajar con él, estamos agradecidos por sus enseñanzas y reconocemos sus valiosas contribuciones y estilo de vida inspiracional. Descansa en paz Dr. Lizardo.

Publicaciones selectas

Sinervo, B. 1990. The evolution of maternal investment in lizards: an experimental and comparative analysis of egg size and its effects on offspring performance. *Evolution* 44: 279-294.

Sinervo, B. & S.C. Adolph. 1989. Thermal sensitivity of growth-rate in hatchling *Sceloporus* lizards: environmental, behavioral and genetic aspects. *Oecologia* 78: 411-419.

Sinervo, B. & D.F. DeNardo. 1996. Costs of reproduction in the wild: path analysis of natural selection and experimental tests of causation. *Evolution* 50:1299-1313.

Sinervo, B., P. Doughty, R.B. Huey & K. Zamudio. 1992. Allometric engineering: a causal analysis of natural selection on offspring size. *Science* 258:1927-1930.

Sinervo, B. & R.B. Huey. 1990. Allometric engineering - an experimental test of the causes of interpopulational differences in performance. *Science* 248:1106-1109.

Sinervo, B. & P. Licht. 1991. Proximate constraints on the evolution of egg size, number, and total clutch mass in lizards. *Science* 252:1300-1302.

Sinervo, B. & C.M. Lively. 1996. The rock-paper-scissors game and the evolution of alternative male strategies. *Nature* 380:240-243.

Sinervo, B., F. Méndez-de la Cruz, D.B. Miles, B. Heulin, E. Bastiaans, M. Villagrán-Santa Cruz et al. 2010. Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science* 328:894-899.

Sinervo, B., D.B. Miles, W.A. Frankino, M. Klukowski & D.F. DeNardo. 2000a. Testosterone, endurance, and darwinian fitness: Natural and sexual selection on the physiological bases of alternative male behaviors in side-blotched lizards. *Hormones and Behavior* 38:222-233.

Sinervo, B. & E. Svensson. 2002. Correlational selection and the evolution of genomic architecture. *Heredity*, 89, 329-338.

Sinervo, B., E. Svensson & T. Comendant. 2000b. Density cycles and an offspring quantity and quality game driven by natural selection. *Nature* 406:985-988.



RICHARD CARL VOGT (6 DE AGOSTO DE 1949; 17 DE ENERO DE 2021), "EL DOCTOR DE LAS TORTUGAS"

RICHARD CARL VOGT (AUGUST 6, 1949; JANUARY 17, 2021), "THE DOCTOR OF TURTLES"

Oscar A. Flores Villela^{1*} & Camila R. Ferrara²

¹Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México UNAM. Circuito Exterior de CU S/N Alcadía de Coyoacán, CDMX 04510, México.

²Wildlife Conservation Society - WCS Brasil, R. Costa Azevedo 9, sala 403 – Ed. Rio Madeira, Centro, CEP 69010-230, Manaus, Amazonas, Brasil.

*correspondence: ofvq@unam.mx

Received: 2021-02-15. Accepted: 2021-04-27.

Richard C. Vogt, o mejor conocido como Dick Vogt, falleció de una septicemia severa la tarde del domingo 17 de enero del presente año, en Manaus, Brasil.

Richard era originario de Madison, estado de Wisconsin en los Estados Unidos de América. Obtuvo sus grados de Licenciado (1971), Maestro (1974) y Doctor (1978) en la Universidad de Wisconsin en Madison, bajo la dirección del Dr. W. G. Reeder. Al término de sus estudios en la Universidad de Wisconsin, realizó un posdoctorado con el Dr. Jack C. McCoy en el "Carnegie Museum of Natural History" en la ciudad de Pittsburgh, Pennsylvania (1978-1981).

En su país, tuvo una vida académica muy productiva asociado, principalmente con Jim Bull y Jack McCoy, con quienes publicó varios trabajos sobre evolución y ecología de la determinación ambiental del sexo en tortugas. También publicó un libro sobre la herpetofauna de su estado natal intitulada "Natural History of Amphibians and Reptiles of Wisconsin", publicado en 1981, por el Milwaukee Public Museum.

Como parte de su trabajo posdoctoral, Richard hizo un viaje a México para recolectar tortugas neotropicales, el cual cambiaría su vida. Uno de los primeros lugares que visitó fue la Estación de Biología Tropical, Los Tuxtlas, Veracruz (EBITROLOTU), de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Esta visita resultó muy importante pues le ofrecieron una plaza de investigador residente en esa estación de campo.

En 1981 se mudó a México, al haber aceptado la oferta de trabajo que le hicieran un año antes (Fig. 1). En la EBITROLOTU, permaneció hasta el año 2000, cuando se mudó al "Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia" (INPA), Manaus, Brasil. Richard se hizo muy conocido entre las personas de las



Figure 1. Richard Vogt, at the Faculty of Sciences, before a meeting with the Director of the Institute of Biology, Dr. José Sarukhán, to discuss his hiring at EBITROLOTU, 1981. Photo: OFV.

Figura 1. Richard C. Vogt, en la Facultad de Ciencias, antes de una reunión con el Director del Instituto de Biología, Dr. José Sarukhán, para discutir lo de su contratación en la EBITROLOTU, 1981. Foto: OFV.

poblaciones aledañas a la EBITROLOTU y en varias ciudades cercanas a Catemaco y la región de Los Tuxtlas como el "doctor de las tortugas", seguramente la gente pensaba que era una especie de veterinario, que atendía solamente tortugas.

En México Richard Vogt desarrolló varias investigaciones sobre la historia natural y la determinación ambiental del sexo en tortugas Neotropicales. A la par de sus investigaciones con tortugas hizo algunos estudios con otras especies de reptiles tropicales. Muchas de sus contribuciones están en el libro que coeditó sobre Historia Natural de Los Tuxtlas, publicado por la



Figure 2. Dick Vogt teaching students to measure turtles in one of several courses he taught on Turtle Biology, Conservation and Research in 2007. Photo: Yeda Bataus..

Figura 2. Dick Vogt enseñando a estudiantes a medir tortugas en uno de varios cursos que impartió sobre Biología, Conservación e Investigación de tortugas en 2007. Foto: Yeda Bataus.

UNAM en 1997. Junto con John Legler de la Universidad de Utah, publicó en 2013 un libro sobre las tortugas de México, excluyendo a las marinas, editado por la California University Press.

Fue profesor del posgrado en Biología de la Facultad de Ciencias de la UNAM y tuvo la oportunidad de asesorar varios estudiantes a nivel de Licenciatura, Maestría y Doctorado. Asesoró alumnos de la UNAM, La Universidad Veracruzana (UV), La Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICAC), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Dirigiendo la tesis de, al menos, 14 estudiantes de licenciatura, 4 de maestría y dos de doctorado. Entre sus estudiantes destacan Salvador Guzmán Guzmán, Marco Antonio López Luna, Claudia Zenteno Ruiz, Miguel Ángel de la Torre Loranca, Eduardo Reyes Grajales, Miriam Benabib, Martín Martínez Torres, Margarita Garza Castro, Oscar Flores Villela y Jorge Morales Mavil. Richard, apoyo a muchas otras personas en proyectos, tales como G. Aguirre León, C. Guichard Romero; G. González Porter, R. Torres-Orozco Bermeo, M. Lazcano Barrero, E. Góngora Arones, F. Soberón Movarak y muchos más.

En 1985, durante el VIII Congreso Nacional de Zoología Richard Vogt junto con Rubén Castro Franco y Oscar Flores Villela, impulsaron la creación de lo que ahora es la Sociedad Herpetológica Mexicana. Los dos últimos siendo estudiantes de posgrado en la UNAM, recibieron el apoyo incondicional de Vogt, a pesar de la fuerte oposición de otros investigadores

de la misma institución y de las descalificaciones que recibió por ser extranjero. En 1987, Richard organizó la reunión anual de la “Society for the Study of Amphibians and Reptiles” en la ciudad de Veracruz, la cual fue un éxito y fue la primera reunión internacional, hecha en México, de una de las sociedades más importantes en herpetología.

En el año 2000, Dick Vogt se mudó a Manaus (Amazona, Brasil) para trabajar en la Colección de Reptiles y Anfibios del INPA. Durante 21 años en esta institución, asesoró 44 estudiantes de licenciatura, 37 de maestría y 16 de doctorado (Fig. 2). Muchos de los ex-estudiantes de Dick actualmente son profesores e investigadores de varias universidades y centros de investigación alrededor del mundo. Durante su vida académica, Richard publicó más de 200 artículos de investigación, 44 capítulos de libro y 21 libros en varias áreas de la herpetología. Éstas incluyen historia natural, ecología, reproducción, genética, taxonomía, movimientos y comunicación acústica de tortugas bajo el agua.

Dick coordinó y organizó varios eventos internacionales de herpetología en Manaus, tales como: el “Joint Annual Meeting of Ichthyologists and Herpetologists” en 2003 y the Sexto Congreso Mundial de Herpetología en 2008. En 2010, organizó y dirigió la reunión de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés), para establecer la lista roja y el estatus de conservación de las especies de tortugas dulceacuícolas y terrestres de Sudamérica.

En el año de 2008, Richard Vogt obtuvo su propio bote, “Tartarugas da Amazônia” para hacer investigación científica. Con este bote expandió sus proyectos de investigación y de docencia con estudiantes e investigadores. En el 2013 concluyó un descubrimiento científico de gran relevancia, cuando publicó con su estudiante de doctorado Camila Ferrara un artículo demostrando que las tortuga Charapa (Giant South American River Turtle, *Podocnemis expansa*) se comunicaban bajo el agua usando vocalizaciones. Este descubrimiento le llevó a recibir el Frank Beach Award, otorgado por la American Psychology Association; además de recibir por sus trabajos cerca de 10 premios y distinciones adicionales a lo largo de su carrera académica.

En 2015, participó en la implementación del Plan de Acción Nacional de las Tortugas del Amazonas; el cual fue coordinado por el Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis IBAMA y el RAN/ICMBio, Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Répteis e Anfíbios/ Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Así mismo, participó en los dos ciclos (2010-2014; 2016-2021) de diagnóstico de las

especies en riesgo de extinción del gobierno de Brasil, siendo coordinador del grupo brasileño de tortugas de agua dulce y terrestres. También en el año 2015, Richard fundó el “Centro de Estudos dos Quelônios da Amazônia” (CEQUA) en el INPA. La creación de este centro impulsó la investigación y conservación de las tortugas amazónicas. En los últimos seis años, este centro ha sido un espacio de aprendizaje de más de 200 estudiantes de pregrado y cerca de 22,500 visitantes.

Recientemente a Richard se le dedicó una especie de tortuga del género *Kinosternon*, proveniente del estado de Jalisco en México, *K. vogti*. Un reconocimiento de algunos de sus alumnos.

Dick Vogt fue un excelente cocinero, era un verdadero placer disfrutar de su cocina. Incluso durante los trabajos de campo, al final del día se ponía a cocinar para los que estábamos hambrientos. Después del trabajo de campo, era muy

reconfortante poder terminar el día con una, no buena, sino excelente comida preparada por él.

Richard no estuvo alejado de las controversias, siempre fue una personalidad controvertida, muy estimado y querido por muchos, no lo fue así para todo mundo. Se le hicieron cuestionamientos de conductas impropias y actos poco transparentes. Esperamos se logren esclarecer esos hechos con la imparcialidad que el tiempo otorga.

Richard se casó con Oneide Ferreira da Cruz, una brasileña oriunda de Manaus, con ella tuvo dos hijos varones Riandro y Rodrigo Ferreira da Cruz Vogt.

Agradecimientos.— Los autores agradecen a M. A. López Luna, M. A. Lazcano Barrero, C. A. Guichard Romero, G. González Porter, R. Torres Orozco; por compartir información.



DAVID BURTON WAKE (1936-2021): DR. SALAMANDRA

DAVID BURTON WAKE (1936-2021): DR. SALAMANDER

Gabiela Parra Olea^{1*} & Juan Manuel Guayasamin²

¹Instituto de Biología, UNAM. A.P. 70-153. C.P. 04510, Ciudad de México, México.

²Universidad San Francisco de Quito, Instituto Biósfera-USFQ, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales COCIBA, Laboratorio de Biología Evolutiva, Calle Diego de Robles s/n y Pampite, Quito, Ecuador.

*correspondent: gparra@ib.unam.mx

Received: 2021-05-15. Accepted: 2021-05-24.

Honramos la vida del Dr. David Burton Wake (Fig. 1), una de las personas que más impacto ha tenido en la investigación de las salamandras y que, en las últimas décadas, se convirtió en vocero sobre las extinciones de anfibios a nivel global. David nació el 8 de junio de 1936 en Webster, Dakota del Sur, Estados Unidos, pasó su niñez hasta los 17 años en Pierpont, una pequeña ciudad en el mismo estado. Fue nieto de inmigrantes noruegos; su abuelo materno (Henrik Martinus Solem) cultivó su curiosidad intelectual y promovió el amor por la historia natural y la evolución. El interés de Dave por la biología surgió de su crianza en una comunidad agrícola y de las conversaciones con su abuelo, al mismo tiempo que aprendía a trabajar arduamente, a ser organizado, disciplinado y honesto, ayudando a su padre en el negocio familiar, la ferretería de su padre.

Dave y su familia se mudaron a Tacoma, Washington, en 1953, donde terminó la escuela preparatoria. Posteriormente, en 1958, obtuvo su licenciatura en Biología en el Pacific Lutheran College, con *magna cum laude* (con honores). Durante esos años, en un curso de Entomología, Dave inició lo que sería su pasión científica central, al encontrar numerosas salamandras mientras buscaba insectos. Decidió hacer estudios de posgrado en herpetología y fue aceptado por la Universidad del Sur de California, donde, bajo la tutoría de Jay Savage, completó su maestría en 1960 ("Comparative Osteology of the Plethodontid Salamander Genus Aneides", publicado en 1963) y su doctorado en 1964 ("Comparative Osteology and Evolution of the Lungless Salamanders, Family Plethodontidae", publicado en 1966). Los anfibios, y en particular las salamandras de la familia Plethodontidae, serían el enfoque de Dave a partir de ese momento.

Es imposible escribir una reseña de la vida de Dave sin mencionar a su esposa, Marvalee Wake, con quién se casó en

1962 (Fig. 2). Marvalee, especialista mundial del más extraño grupo de anfibios (los cecilidos), fue siempre, además de su pareja de vida, un par académico con quien discutir y evaluar ideas. Juntos, Marvalee y David publicaron una serie de trabajos, principalmente sobre la morfología y desarrollo de cecilidos y salamandras (ej. Wake & Wake, 2000; Wake et al., 1983). En

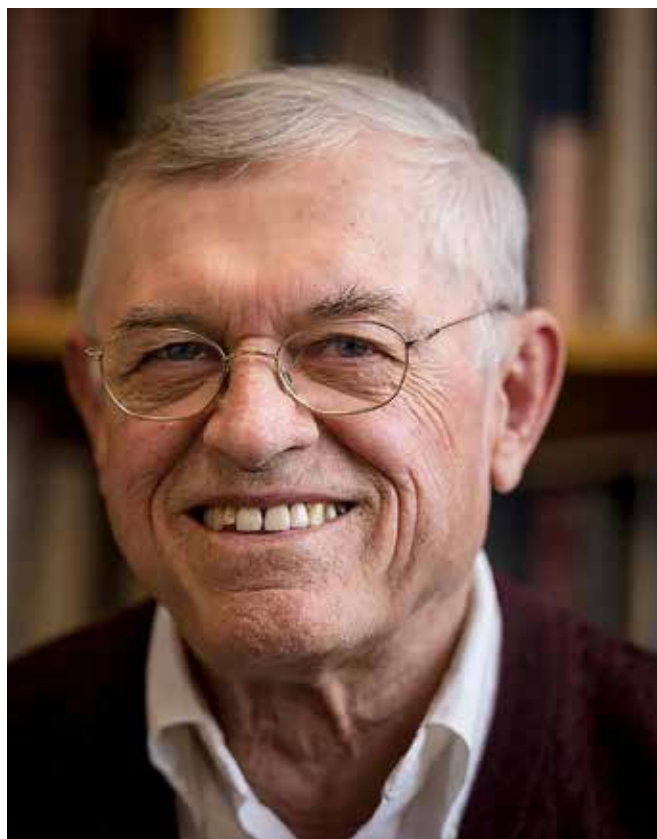


Figure 1. Dr. David B Wake. From the archives of the Wake family.

Figura 1. Dr. David B Wake. De los archivos de la familia Wake.

términos de aportes científicos a la batracología, la pareja Wake-Wake solo encuentra un equivalente académico de similar magnitud en sus colegas y amigos, Bill Duellman y Linda Trueb.

Dave se unió como investigador a la Universidad de Chicago en 1964, pero fue invitado a formar parte del Departamento de Zoología de University of California en Berkeley en 1969 como profesor asociado y curador asociado de herpetología en el renombrado Museum of Vertebrate Zoology (MVZ). Durante su trayectoria profesional, publicó más de 400 artículos, 160 desde su jubilación en 2003, cuando se convirtió en profesor de la Escuela de Graduados. Tras jubilarse y tomar la posición de profesor emérito en 2016, Dave recibió la Berkeley Citation, el más alto honor de la Universidad de California para un miembro de su comunidad. También fue miembro de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos y la Sociedad Filosófica Estadounidense y la Academia Estadounidense de Artes y Ciencias. Entre sus honores se encuentran la Medalla Fellows de la Academia de Ciencias de California, la Medalla Joseph Leidy de la Academia de Ciencias Naturales de Filadelfia y la Medalla Grinnell del MVZ. Se desempeñó como presidente

de la Sociedad para el Estudio de la Evolución, la Sociedad Estadounidense de Naturalistas y la Sociedad Estadounidense de Zoólogos.

Dave fue una figura destacada en biología evolutiva y herpetología con una combinación de agudeza intelectual, integridad ética, impulso y pasión por compartir. David fue el principal experto mundial en salamandras y uno de los primeros en advertir sobre una disminución precipitada de las poblaciones de ranas, salamandras y otros anfibios en todo el mundo. Observó, de primera mano, las catastróficas declinaciones de salamandras en varias localidades de México (Parque Nacional El Chico, Puerto del Aire, Cerro San Felipe). Más aún, su capacidad de integración, su inmejorable memoria y su gran capacidad de síntesis ubicó a Dave como líder en el campo de la biología evolutiva. Tenía una visión de la ciencia centrada en el taxón, con las salamandras pletodóntidas en el centro de todo lo que hacía. Utilizó el conocimiento generado de las salamandras y no tuvo reparo en adoptar nuevas tecnologías, para generar algunas de las ideas más evocadoras sobre el cambio evolutivo en salamandras.



Figure 2. David and Marvalee Wake at a National Academy of Sciences induction ceremony in 2018. Photo by David Hillis.

Figura 2. David y Marvalee Wake en la ceremonia de inducción de la Academia de Ciencias de Estados Unidos en el 2018. Foto de David Hillis.



Figure 3. David B. Wake with a bromeliad looking for salamanders in Veracruz, Mexico in 2003. Photo taken by James Hanken, from MVZ Archives, image no. 11806.

Figura 3. David B. Wake con una bromelia buscando salamandras en Veracruz, México en 2003. Foto tomada por James Hanken, imagen de los Archivos del MVZ imagen no. 11806.

Dave era extremadamente abierto y receptivo. Se vio rodeado de todo tipo de gente, valorando a cada persona independientemente de su género, raza o origen. Siempre mostró su preocupación por el desarrollo de las mujeres y sobre todo cuando eran madres. Le escuchamos decir en diferentes ocasiones “yo quiero y respeto a las personas por lo que son cuando están en el museo, como colegas, como estudiantes, lo que hagan fuera de este sitio no es mi problema” y así nos aceptó y nos respetó a todos.

A Dave le gustaba mucho América Latina, y disfrutaba enormemente de sus parajes, gastronomía, cultura, y sobre todo de viajar por el campo buscando salamandras. Siempre lo recordaremos sonriendo comiendo en la casa de la familia Cerón mostrando su admiración por Don Carlos y Don Miguel, quienes se sabían los nombres científicos de las salamandras; yo (GPO) siempre recordaré su cara pasiva, disculpándose y casi sonriendo cuando nos detuvieron en Comaltepec Oaxaca por andar buscando salamandras sin haber pedido permiso. Así era Dave, un grande de la ciencia, pero extremadamente humilde y agradecido como persona.

Todos los que lo conocimos sentimos una enorme tristeza por la partida de este ser excepcional. El legado académico de Dave incluye 47 estudiantes graduados, 34 posdoctorados y un sinnúmero de colegas. Nuestro sentido pésame va para todos ellos y para su familia, en especial a su esposa Marvalee y su hijo Tom.

OBRAS SELECCIONADAS*

*David Wake ha producido cientos de artículos científicos. A continuación únicamente incluimos los trabajos que, a nuestro parecer, han tenido un mayor impacto en las ciencias. Para las personas interesadas en revisar en detalle la producción científica de Dave, recomendamos visitar la siguiente página: <https://wakelab.berkeley.edu/publications/>

1960s

Wake, D.B. & A.G. Kluge. 1961. The Machris expedition to Tchad, Africa: amphibians and reptiles. *Contributions in Science, Natural History Museum of Los Angeles County* 40:1-12.

Wake, D.B. 1963. Comparative osteology of the plethodontid salamander genus *Aneides*. *Journal of Morphology* 113: 77-118.

Wake, D.B. 1966. Comparative osteology and evolution of the lungless salamanders, family Plethodontidae. *Memoirs of the Southern California Academy of Science* 4:1-111.

Wake, D.B. & I.G. Dresner. 1967. Functional morphology and evolution of tail autotomy in salamanders. *Journal of Morphology* 122:265-306.

1970s

Wake, D.B. 1970. The abundance and diversity of tropical salamanders. *American Naturalist* 104:211-213.

Lombard, R.E. & D.B. Wake. 1976. Tongue evolution in the lungless salamanders, Family Plethodontidae. I. Introduction, theory and a general model of dynamics. *Journal of Morphology* 148:265-286.

Lombard, R.E. & D.B. Wake. 1977. Tongue evolution in the lungless salamanders, Family Plethodontidae. II. Function and evolutionary diversity. *Journal of Morphology* 153:39-80.

Alberch, P., S.J. Gould, G.F. Oster & D.B. Wake. 1979. Size and shape in ontogeny and phylogeny. *Paleobiology* 5: 296-317.

1980s

Wake, D.B., G. Roth & M.H. Wake. 1983. Tongue evolution in lungless salamanders, Family Plethodontidae. III. Patterns of peripheral innervation. *Journal of Morphology* 178: 207-224.

Wake, D.B. & M.H. Wake. 1985. Vertebral development in gymnophione amphibians: resegmentation and homology. *American Zoologist* 25:93A.

Wake, D.B. & G. Roth. 1989. Paedomorphosis: new evidence for its importance in salamander evolution. *American Zoologist* 29:134A.

Wake, D.B. & A. Larson. 1987. Multidimensional analysis of an evolving lineage. *Science* 238:42-48.

Roth, G., and D.B. Wake. 1989. Conservatism and innovation in the evolution of feeding in vertebrates, pp. 7-21. In: *Complex Organismal Functions: Integration and Evolution in Vertebrates* (D.B. Wake and G. Roth, eds.). John Wiley & Sons, Chichester.

Wake, D.B. & G. Roth. 1989. The linkage between ontogeny and phylogeny in the evolution of complex systems, pp. 361-377. En D.B. Wake & G. Roth (eds.), *Complex Organismal Functions: Integration and Evolution in Vertebrates*. John Wiley & Sons, Chichester.

1990s

Blaustein, A.R., D.B. Wake. 1990. Declining amphibian populations: a global phenomenon? *Trends in Ecology and Evolution* 5: 203-204.

Wake, D.B. 1991. Homoplasy: the result of natural selection, or evidence of design limitations? *American Naturalist* 138: 543-567.

Wake, D.B. 1991. Declining amphibian populations. *Science* 253:860.

Moritz, C., C.J. Schneider & D.B. Wake. 1992. Evolutionary relationships within the *Ensatina eschscholtzii* complex confirm the ring species interpretation. *Systematic Biology* 41:273-291.

Hanken, J. & D.B. Wake. 1993. Miniaturization of body size: organismal consequences and evolutionary significance. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 24: 501-19.

Blaustein, A.R., D.B. Wake & W.P. Sousa. 1994. Amphibian declines: judging stability, persistence, and susceptibility of populations to local and global extinctions. *Conservation Biology* 8: 60-71.

Wake, D.B. 1998. Action on amphibians. *Trends in Ecology and Evolution* 13:379-380.

2000s

Wake, M. H., D.B. Wake. 2000. Developmental morphology of early vertebrogenesis in caecilians (Amphibia: Gymnophiona): resegmentation and phylogenesis. *Zoology* 103:68-88.

Wake, M.H. & D.B. Wake. 2000. Developmental morphology of early vertebrogenesis in caecilians (Amphibia: Gymnophiona): resegmentation and phylogenesis. *Zoology* 103:68-88.

Parra-Olea, G., M. Garcia-Paris & D.B. Wake. 2004. Molecular diversification of salamanders of the tropical American genus *Bolitoglossa* (Caudata: Plethodontidae) and its evolutionary and biogeographical implications. *Biological Journal of the Linnean Society* 81:325-346.

Min, M.S., S.Y. Yang, R.M. Bonett, D.R. Vieites, R.A. Brandon & D.B. Wake. 2005. Discovery of the first Asian plethodontid salamander. *Nature* 435:87-90.

Wake, D.B. 2007. Climate change implicated in amphibian and lizard declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104:8201-8202.

Wake, D.B. & V. T. Vredenburg. 2008. Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105:11466-11473.

Wake, D.B. 2009. What salamanders have taught us about evolution. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 40:333-352.

Rovito, S.M., G. Parra-Olea, C.R. Vasquez-Almazan, T.J. Papenfuss & D.B. Wake. 2009. Dramatic declines in neotropical salamander populations are an important part of the global amphibian crisis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106: 3231-3236.

Rovito, S.M., G. Parra-Olea, C.R. Vasquez-Almazan, T.J. Papenfuss & D.B. Wake. 2009. Dramatic declines in neotropical salamander populations are an important part of the global amphibian crisis. *Proceedings of the National Academy of Science* 106:3231-3236.

2010s

Cheng, T.L., S.M. Rovito, D.B. Wake & V. T. Vredenburg. 2011. Coincident mass extirpation of neotropical amphibians with the

emergence of the infectious fungal pathogen *Batrachochytrium dendrobatidis*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 108: 9502-9507.

Wake, D.B., M.H. Wake & C.D. Specht. 2011. Homoplasy: from detecting pattern to determining process and mechanism of evolution. Science 331: 032-1035

Wake, D.B. 2012. Facing extinction in real time. Science 335:1052-1053.

Kuchta, S.R. & D.B. Wake. 2016. Wherefore and Whither the Ring Species? Copeia 104:189-201.

Yap, T.A., M.S. Koo, R.F. Ambrose, D.B. Wake & V.T. Vredenburg. 2015. Averting a North American biodiversity crisis. Science 349:481-482.

Feng Y-J, D.C. Blackburn, D. Liang, D.H. Hillis, D.B. Wake, D.C. Cannatella & P. Zhang. 2017. Phylogenomics reveals rapid, simultaneous diversification of three major clades of Gondwanan

frogs at the Cretaceous-Paleogene boundary. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 114:E5864-E5870.

2020s

D.B. Wake. 2020. A surprising fossil vertebrate. Science 370: 654-655.

*Para más información sobre la vida de David B. Wake, recomendamos leer:

Biography of David Burton Wake— Staub N., R.L. Mueller 2017. Copeia 105: 415-426

Agradecimientos.— Agradecemos muy sinceramente a la familia Wake, Jim Haken y David Hillis por las fotos de Dave Wake. También agradecemos Carol Spencer, Jimmy McGuire y Michelle Koo del MVZ por contribuir con la tercer foto. Finalmente estamos agradecidos con Oscar Flores-Villela por sus comentarios al texto y su colaboración.

