



REVISTA
LATINOAMERICANA
DE HERPETOLOGÍA

ANFIBIOS Y REPTILES: DIVERSIDAD E HISTORIA NATURAL
VOLUMEN 03 NÚMERO 01 MAYO 2020 ISSN: 2594-2158





REVISTA
LATINOAMERICANA
DE HERPETOLOGÍA



SOCIEDAD
HERPETOLOGICA
MEXICANA
ASOCIACIÓN CIVIL

Es un publicación de la

CONSEJO DIRECTIVO 2019-2020

Presidente

Dr. Híbraim Adán Pérez Mendoza
Universidad Nacional Autónoma de México

Vicepresidente

Dr. Óscar A. Flores Villela
Universidad Nacional Autónoma de México

Secretario

Dra. Ana Bertha Gatica Colima
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Tesorero

Dra. Anny Peralta García
Conservación de Fauna del Noroeste

Vocal Norte

Dr. Juan Miguel Borja Jiménez
Universidad Juárez del Estado de Durango

Vocal Centro

M. en C. Ricardo Figueroa Huitrón
Universidad Nacional Autónoma de México

Vocal Sur

M. en C. Marco Antonio López Luna
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

COMITÉ EDITORIAL

Editor-en-Jefe

Dra. Leticia M. Ochoa Ochoa

Senior Editors

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

Editores asociados

M. en C. Uri Omar García Vázquez
Dr. Oscar A. Flores Villela
Dra. Irene Goyenechea Mayer Goyenechea
Dr. Rafael Lara Rezéndiz
Dr. Norberto Martínez Méndez
Dra. Nancy R. Mejía Domínguez
Dr. Jorge E. Morales Mavil
Dra. Anny Peralta García
Dr. Híbraim A. Pérez Mendoza
Dr. Jacobo Reyes Velsco
Dr. César A. Ríos Muñoz
Dr. Marco A. Suárez Atilano
Dra. Ireri Suazo Ortuño
Dr. Julián Velasco Vinasco
M. en C. Marco Antonio López Luna
Dr. Adrián García Rodríguez

English style corrector

M. en C. Brett Butler

Diseño editorial

Lic. Andrea Vargas Fernández
M. en A. Rafael de Villa Magallón

CONTENIDO

EDITORIAL

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 5

CÉSAR A. RÍOS-MUÑOZ, DEBORAH V. ESPINOSA-MARTÍNEZ Y KATIA M. VEGA-FLORES

ARTÍCULO DE REVISIÓN

LA FILOGENÓMICA COMO HERRAMIENTA FUNDAMENTAL EN EL ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN BIOLÓGICA 33

TONATIUH RAMÍREZ-REYES

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

OBSERVACIONES SOBRE COMPORTAMIENTO Y REPRODUCCIÓN DE *TRIPRION SPINOSUS* (ANURA: HYLIDAE) EN CAUTIVERIO 49

NELSON M. CERÓN DE LA LUZ, ÁNGEL IVÁN CONTRERAS CALVARIO Y FELIPE A. LARA HERNÁNDEZ

ANFIBIOS Y REPTILES DEL CENTRO EDUCATIVO HOBONIL, TZUCACAB, YUCATÁN, MÉXICO 53

PEDRO E. NAHUAT-CERVERA, SILVIA HERNÁNDEZ-BETANCOURT Y LUIS F. DÍAZ-GAMBOA

ANFIBIOS Y REPTILES DE LA COLONIA AGRÍCOLA RINCÓN DE LAS FLORES, TEZONAPA, VERACRUZ, MÉXICO 66

VÍCTOR VÁSQUEZ-CRUZ Y LUIS CANSECO-MÁRQUEZ²

DETECCIÓN DE *BATRACHOCHYTRIUM DENDROBATIDIS* (CHYTRIDIOMYCOTA) EN LOCALIDADES DEL VALLE DEL CAUCA POR TÉCNICA DE PCR 81

RONALD ANDRÉS VIÁFARA VEGA, FERNANDO CASTRO HERRERA Y HEIBER CÁRDENAS HENAO

NOTAS CIENTÍFICAS

COMPORTAMIENTO ARBÓREO DEL SAPO DE CAÑA MESOAMERICANO (*RHINELLA HORRIBILIS*) EN COQUIMATLÁN, COLIMA, MÉXICO..... 90

DAMIAN BERRA-ALANIS

DEPREDACIÓN DEL SAPO, EN PELIGRO CRÍTICO, *INCILIUS CRISTATUS* (ANURA: BUFONIDAE) POR *THAMNOPHIS SUMICHRASTI* (SQUAMATA: NATRICIDAE) EN VERACRUZ, MÉXICO 93

NELSON MARTÍN CERÓN-DE LA LUZ, VÍCTOR VÁSQUEZ-CRUZ, LUIS CANSECO-MÁRQUEZ Y FELIPE A. LARA-HERNÁNDEZ

NUEVO REGISTRO EN LA DIETA DE LA BEJUQUILLO PARDA *OXYBELIS AENEUS* (SERPENTES: COLUBRIDAE) 98

OSCAR CID-MORA Y VÍCTOR VÁSQUEZ-CRUZ

CONFIRMACIÓN DE LA PRESENCIA DE LA SERPIENTE *PITUOPHIS CATENIFER* (BLAINVILLE, 1835) EN EL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO 101

LEONARDO FERNÁNDEZ-BADILLO, GONZALO HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, RAÚL VALENCIA-HERVERTH, IRENE GOYENECHEA Y CLAUDIO A. MENDOZA PAZ

LA RANA LECHERA (*TRACHYCEPHALUS TYPHONIUS*) EN COSTA RICA: REGISTRO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO GRANDE DE TERRABA A TRAVÉS DE INVENTARIOS PARTICIPATIVOS DE BIODIVERSIDAD..... 105

DIEGO A. GÓMEZ-HOYOS, WILLIAM HERRERA MOLINA, KAROL ARIAS MARÍN, RAFAEL MÉNDEZ-ARRIETA Y ADAMS MÉNDEZ-ARRIETA

AFECCIÓN INCIDENTAL POR RED DE PESCA EN *MASTICOPHIS FULIGINOSUS* (COLUBRIDAE) EN UNA ZONA DE MARISMA DE BAJA CALIFORNIA 108

HIRAM RAFAEL MORENO-HIGAREDA, FERNANDA J. MANRRIQUEZ-GÓMEZ, JORGE H. VALDEZ-VILLAVICENCIO Y GORGONIO RUIZ-CAMPOS

NOTES ON THE DIET OF *CROTALUS INTERMEDIUS* TROSCHEL, 1865 111

TRISTAN D. SCHRAMER, YATIN KALKI, TAYLOR R. WEST AND DANIEL B. WYLIE

FIRST RECORD OF NECROPHILIA IN THE BAJA CALIFORNIA SPINY LIZARD, *SCELOPORUS ZOSTEROMUS* (PHRYNOSOMATIDAE) **116**
JORGE H. VALDEZ-VILLAVICENCIO AND ANNY PERALTA-GARCÍA

NOTAS DE DISTRIBUCIÓN

REDESCUBRIMIENTO Y EXTENSIÓN DEL RANGO DE DISTRIBUCIÓN DE LA CUILISA, *BOLITOGLOSSA HERMOSA* PAPENFUSS, WAKE, AND ADLER 1984 (CAUDATA: PLETHODONTIDAE) EN EL ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO **118**
IVÁN T. AHUMADA-CARRILLO, CHRISTOPH I. GRÜNWARD, JASON M. JONES, RICARDO RAMÍREZ-CHAPARRO, KAREN I. MORALES-FLORES, CARLOS MONTAÑO Y HECTOR FRANZ-CHÁVEZ

NUEVOS REGISTROS EN LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE *OPHRACUS SMARAGDINUS* (GRÜNWARD, JONES, FRANZ-CHÁVEZ Y AHUMADA-CARRILLO, 2015) (VIPERIDAE) EN LA REGIÓN DE LAS ALTAS MONTAÑAS, VERACRUZ, MÉXICO **121**
JORGE LUIS CASTILLO JUÁREZ, ÁNGEL IVÁN CONTRERAS CALVARIO, LAURA PAMELA TAVAL VELAZQUEZ Y MAURICIO SÁNCHEZ EUGENIO

KINOSTERNON INTEGRUM (KINOSTERNIDAE) **124**
FABIO G. CUPUL-MAGAÑA, ARMANDO H. ESCOBEDO-GALVÁN Y MARCO ANTONIO LÓPEZ-LUNA

PLESTIODON PARVIAURICULATUS (SQUAMATA: SCINCIDAE) **126**
JESÚS A. LOC-BARRAGÁN, CHRISTOPH I. GRÜNWARD, URI O. GARCÍA-VÁZQUEZ, AND CARLOS J. PAVÓN-VÁZQUEZ

SONORA MOSAUERI (SQUAMATA: COLUBRIDAE) ... **127**
EDITH A. NAVARRO-TIZNADO, NORMA S. GONZÁLEZ-GUTIÉRREZ Y JORGE H. VALDEZ-VILLAVICENCIO

FIRST RECORD OF *ATRACTUS MANIZALESSENSIS* PRADO, 1940 (SQUAMATA: COLUBRIDAE: DIPSADINAE) FROM THE DEPARTMENT OF ANTIOQUIA, COLOMBIA ... **128**
LUIS ENRIQUE VERA-PÉREZ

PERSPECTIVA

LA COLECCIÓN DE SONIDOS DE ANUROS DEL MUSEO DE ZOOLOGÍA "ALFONSO L. HERRERA" DE LA FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM **132**
TANIA VERÓNICA ZAMUDIO-TORRES, DIANA LAURA FUENTES-DE LA ROSA Y SAMANTHA ORDÓÑEZ-FLORES

ANUNCIO

AVISO SOBRE LA REUNIÓN NACIONAL DE HERPETOLOGÍA **141**



ISSN: 2594-2158 Volumen 03, Número 01, Mayo 2020

Foto de portada: *Drymobius margaritiferus*, Nahá, Chiapas, México, por Brett Butler.

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

Contacto: revista.latin.herpetologia@gmail.com

Revista Latinoamericana de Herpetología, año 3, no. 1, mayo 2020, 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.fcencias.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.

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

WHY GEOGRAPHY MATTERS: SOURCES AND CONSIDERATIONS OF ENVIRONMENTAL INFORMATION IN THE PROCESS OF ECOLOGICAL NICHE AND/OR SPECIES DISTRIBUTION MODELLING

CÉSAR A. RÍOS-MUÑOZ^{1,2}, DEBORAH V. ESPINOSA-MARTÍNEZ^{3*} Y KATIA M. VEGA-FLORES⁴

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

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

³Laboratorio de Arqueozoología, Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Moneda 16 Centro, 06060, Ciudad de México.

⁴Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, Ciudad de México.

*Correspondence: dvem@ciencias.unam.mx

Las condiciones o variables ambientales juegan un papel importante en la delimitación de la distribución de las especies, sobre todo cuando nos referimos a escalas regionales, continentales y/o globales (Peterson et al., 2011). Estas condiciones son usadas como predictores en el proceso del modelado de nichos ecológicos (MNE) y/o modelado de distribución de especies (MDE), ya que junto con los datos biológicos son los elementos básicos necesarios para su elaboración (Ríos-Muñoz & Espinosa-Martínez, 2019a, b).

El uso de diferentes variables ambientales recrea la representación del nicho ecológico de las especies, ya que funcionan como parte de las dimensiones del espacio *n*-dimensional mencionado por Hutchinson (1957). Además, es importante considerar que no todas las variables tienen la misma importancia para todas las especies (Leibold, 1995), por lo que un conocimiento de la historia natural de las especies siempre es importante. Debido a la naturaleza del proceso de MNE/

MDE, las variables ambientales se manejan como coberturas geográficas en formato raster para los sistemas de información geográfica (SIG), por lo que es necesario conocer las fuentes y la calidad de la información. De esta manera, al igual que en la editorial anterior, referente a los datos biológicos (Ríos-Muñoz & Espinosa-Martínez, 2019a), en esta editorial mencionaremos algunas fuentes y consideraciones de la información ambiental para el proceso de MNE/MDE.

FUENTES DE INFORMACIÓN

La información ambiental puede provenir de diferentes fuentes, por lo que hay que considerar que es posible clasificarlas dependiendo de su utilidad (e.g. Rodríguez et al., 2007), por su fuente o por las unidades que manejan (Peterson et al., 2011). Por esta razón, hemos clasificado las fuentes con base en el tipo de información que contienen las coberturas, con la finalidad de que puedan ser utilizadas en el proceso de los MNE/MDE o para

Table 1. Environmental variables classification based on the type of information (detailed sites are shown in appendix 1).**Tabla 1.** Clasificación de variables ambientales con base en el tipo de información (los sitios detallados aparecen en el apéndice 1).

Categorías de las variables*	Descripción de la categoría
1. Climáticas	Contienen datos referentes a las condiciones atmosféricas, terrestres o marinas derivadas de información de precipitación, temperatura, radiación solar y velocidad de viento.
2. Pigmentos	Incluye información sobre el color del océano derivada de la concentración de clorofila.
3. Salinidad	Se refiere a datos de la proporción de sales disueltas en el agua de mar (e.g. NaCl).
4. Nutrientes inorgánicos	Información relacionada con la cantidad de nutrientes inorgánicos disueltos en el océano (fosfatos, nitratos y silicatos).
5. Relieve e hidrología	Abarca información que describe y/o representa la disposición de la superficie terrestre.
6. Edafología	Se refiere a información derivada de las propiedades de los suelos.
7. Uso de suelo, cobertura vegetal, áreas naturales protegidas e incendios	Contiene información relacionada con la cobertura vegetal y su dinámica, y los esfuerzos para la conservación de la biodiversidad.
8. Impacto antropogénico	Abarca información que representa el efecto que produce la actividad humana sobre el ambiente.
9. Múltiples	Se refiere a fuentes de información que contienen más de una categoría previamente descritas.

*El número asignado a cada una de las categorías de las variables corresponde a la numeración presentada en el Apéndice 1.

su análisis posterior de los modelos en un SIG (Tabla 1; Apéndice 1). Vale la pena señalar que no se trata de una clasificación exhaustiva de las variables ambientales y que existen algunas fuentes que son exclusivas para México, como la información contenida en el Portal de Geoinformación del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>) y la información del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, <https://www.inegi.org.mx/>). Existen diferentes proyectos con información disponible (ver Apéndice 1). Sin embargo, es importante considerar que algunos de estos proyectos pueden estar sujetos a nuevas actualizaciones y, por lo tanto, podrían generar nuevas variables o cambiar de página web.

INFORMACIÓN PROPIA PARA GENERACIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES

Existe la posibilidad de que se disponga de información propia o, sea necesario contar con un tamaño de celda particular que refleje las condiciones a microescala, en cuyo caso será necesario contar con información ambiental del área de estudio. Para poder llevar a cabo el proceso, es necesario tener un conocimiento más allá de la toma de datos de las variables, sobre todo en la forma

en la que deben ser interpolados para obtener la resolución que se requiere. Tal es el caso de Contreras et al. (2009) quienes realizaron la toma de datos de 11 variables fisicoquímicas de agua e hicieron la interpolación de dichos datos para generar variables ambientales para poder crear un MDE más preciso de *Ambystoma mexicanum*.

CONSIDERACIONES EN EL USO DE LA INFORMACIÓN AMBIENTAL

Datum, elipsoide y sistemas de coordenadas

Cuando se ocupa información geográfica es necesario considerar algunos aspectos cartográficos como el datum, los elipsoides y los sistemas de coordenadas. El datum es un conjunto de puntos de referencia tomados sobre la superficie terrestre que permite la representación de un modelo de la forma geoide de la Tierra (elipsoide o esferoide) lo más realista posible (Snyder, 1987; Janssen, 2009). El uso de diferentes datums y elipsoides pueden hacer que un mismo punto en la superficie terrestre tenga dos coordenadas diferentes, por lo que se recomienda hacer transformaciones para que el tipo de coordenadas se encuentre con la misma información antes de realizar cualquier análisis (Hager et al., 1990).

Los sistemas de coordenadas son un sistema de referencia que permite la ubicación espacial. Están basados en tres dimensiones, que en conjunto permiten visualizar, medir y analizar la posición de alguna entidad en, debajo o sobre la superficie terrestre a partir de la posición relativa con respecto al centroide del elipsoide utilizado (Janssen, 2009; Quattrocchi et al., 2017). Existen sistemas de coordenadas no proyectados como el sistema de coordenadas geográficas que se expresa por lo general en sistema sexagesimal (grados, minutos y segundos), o sistemas de coordenadas proyectados (e.g. con tipos de proyección cónica, plana o cilíndrica), que consideran la deformación de la Tierra al representarla en dos dimensiones, tal es el caso del sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) que se basa en un sistema de proyección cilíndrica y considera la deformación que existe al aproximarse a los polos creando una representación con base en líneas equidistantes (Deetz & Adams, 1950; Navarro-Parraud & Legorreta-Paulin, 1998). Vale la pena mencionar que para elegir una proyección cartográfica se debe tener en cuenta el área de interés o de estudio, lo que depende de la pregunta de investigación y, por lo tanto, de la ubicación del área en la representación cartográfica (Snyder, 1987).

Formatos, resolución espacial y tipo de información

El manejo de coberturas en un sistema de información geográfica puede hacerse a través de dos tipos en general, formatos vector y raster. El formato vector está formado a partir de puntos, líneas o polígonos que representan la información de interés, mientras que el formato raster está formado por celdas con valores diferenciales que representan la información (Navarro-Parraud & Legorreta-Paulin, 1998) (Fig. 1). En el proceso de MNE/MDE se utilizan mapas en formatos raster (e.g. ASCII, BIL en el SIG) aunque es posible utilizar mapas en formato vector transformados al formato raster dependiendo de la información que contengan.

Debido a que los mapas raster son conjuntos de celdas, el tamaño de la celda se convierte en un parámetro importante a considerar, ya que conformará el número de celdas necesarias para representar el área de estudio (Fig. 2). Es necesario considerar que la representación del área de estudio, junto con el tamaño de celda que se escoja, deben coincidir con la resolución espacial del fenómeno biológico que se pretende analizar (Peterson et al., 2011). Esto influye también en la representación que puedan tener los datos biológicos, pues la mayor parte de los algoritmos de modelado consideran la presencia de un registro

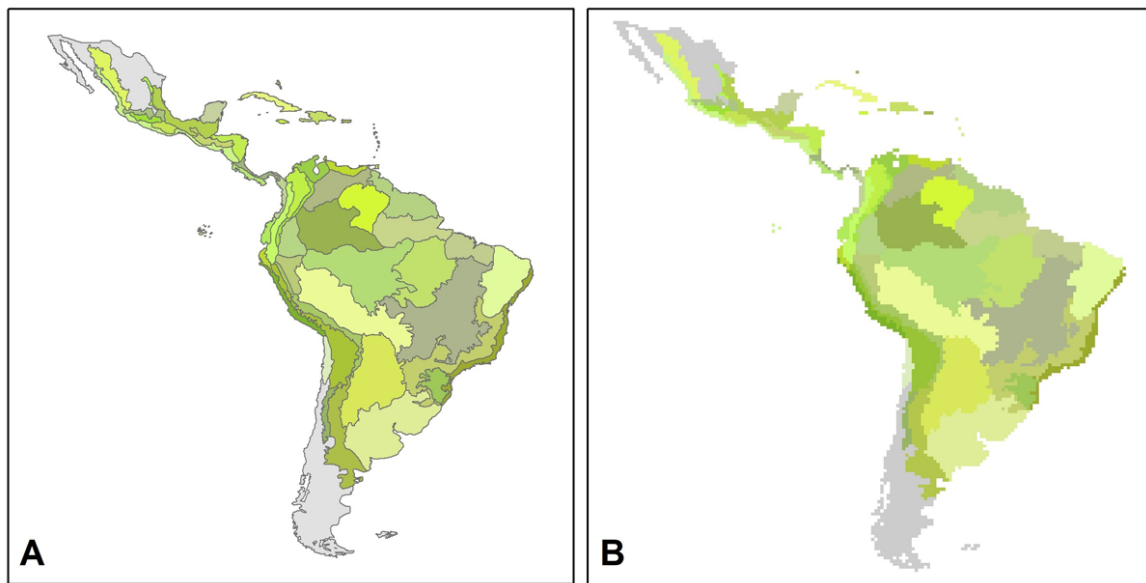


Figure 1. Comparison of formats based on the regionalization of the Neotropics of Morrone (2014). A) Map in vector format of Löwenberg-Neto (2014). B) Raster format converted from vector format with 0.5° cell size.

Figura 1. Comparación de formatos con base en la regionalización del Neotrópico de Morrone (2014). A) Mapa en formato vector de Löwenberg-Neto (2014). B) Formato raster convertido a partir del formato vector con tamaño de celda de 0.5° .

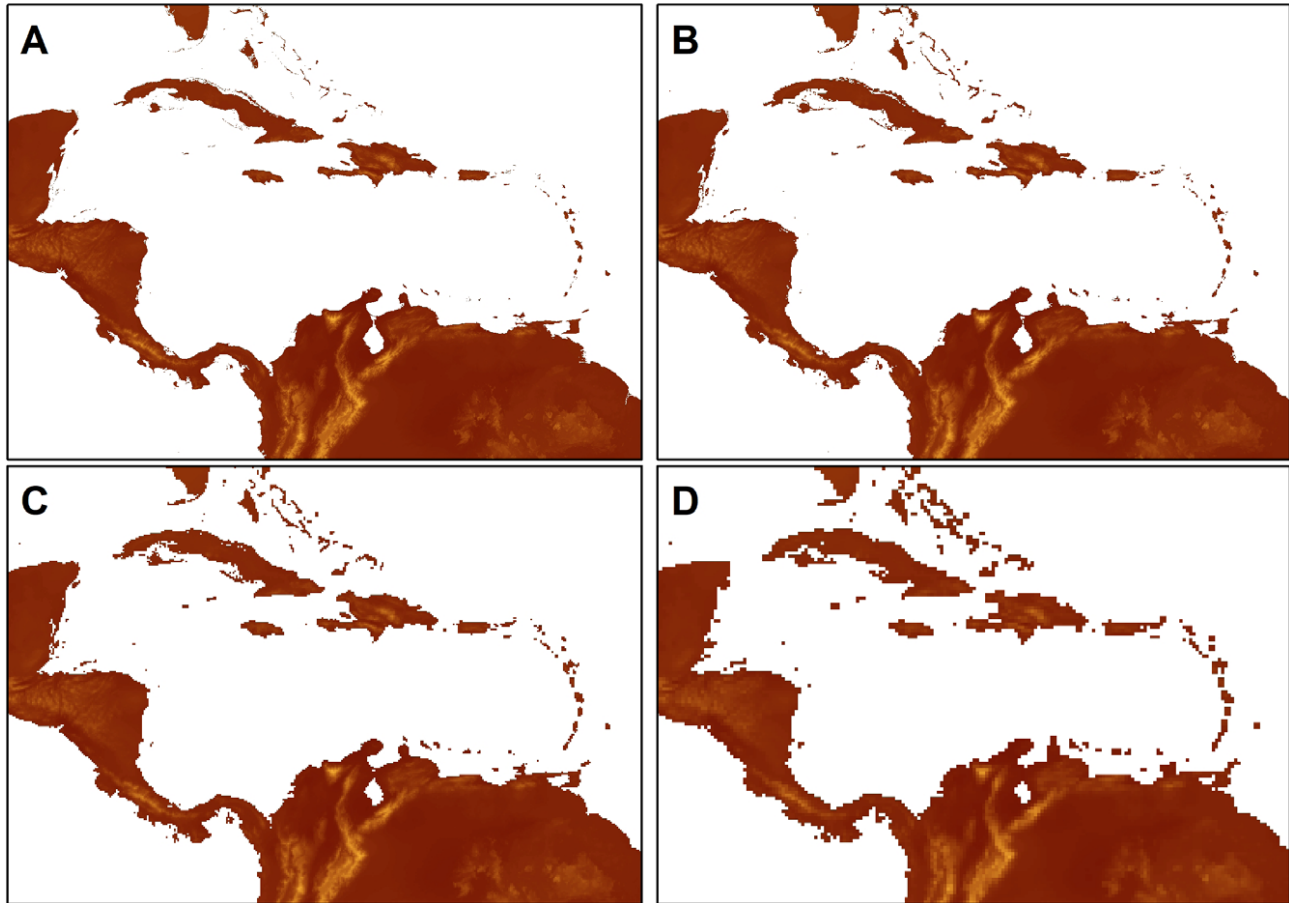


Figure 2. Comparison of layers with different resolution from the same source of information. The layer represents annual mean temperature for the Caribbean region at different cell sizes: A) 30° (~1 km), B) 2.5' (~5 km), C) 5' (~10 km) and D) 10' (~20 km). Coastlines are totally modified when resolution changes.

Figura 2. Comparación de coberturas con diferente resolución provenientes de la misma fuente de información. La cobertura representa la temperatura media anual para la región del Caribe en donde se representa a diferentes tamaños de celda: A) 30° (~1 km), B) 2.5' (~5 km), C) 5' (~10 km) y D) 10' (~20 km). La línea costera se modifica por completo al modificar la resolución.

por celda (datos espacialmente únicos en cada pixel) y el uso de tamaños de celda grandes podría hacer que en una celda haya más de un registro, lo que reduciría el número de registros de datos biológicos (Peterson et al., 2011).

La forma de representar la información en las coberturas ambientales también puede ser diferente, por lo que es posible encontrar datos continuos, que son los que tienen unidades de medición como temperatura (° C), precipitación (mm) y altitud (msnm), o datos categóricos, que son representaciones de entidades completas agrupadas bajo una categoría, como la regionalización biogeográfica del Neotrópico (Morrone et al., 2014; digitalizada por Löwenberg-Neto, 2014) (Fig. 1). Algunos

algoritmos de modelado tienen la capacidad de trabajar con información categórica (e.g. Maxent), aunque es necesario evaluar si es importante para el análisis que se realizará. En la representación de los datos continuos, existe la posibilidad de tener información que incluya puntos decimales (*floating*) o que representen números enteros (*integer*). Esto es esencial saberlo, ya que hay conjuntos de coberturas que usan uno u otro sistema, por ejemplo, las coberturas del proyecto de climatologías a alta resolución para las áreas terrestres de la Tierra (CHELSA por sus siglas en inglés, Karger et al., 2017) tienen el conjunto de coberturas bioclimáticas con valores enteros al haber multiplicado los valores de temperatura original por 10 para evitar el punto decimal, en cambio coberturas como las de

ecoClimate (Lima-Ribeiro et al., 2015, 2020) presentan valores con decimales.

Calidad de la información

La calidad de la información ambiental depende por completo de sus fuentes y aunque es posible encontrar las coberturas generadas con los mismos métodos (e.g. variables bioclimáticas de diferentes proyectos, Hijmans et al., 2005; Téllez et al., 2011; Cuervo-Robayo et al., 2014), las fuentes de información y el proceso de depuración puede ser diferente (además de la temporalidad de la información que será tratada más adelante). Por ejemplo, para la cobertura de temperatura media anual se utilizaron 24 542 estaciones ya depuradas a nivel mundial para Worldclim 1.4 (Hijmans et al., 2005), mientras que Téllez et al. (2011) utilizó 4262 en un área que va del sur de Estados Unidos al norte de Centroamérica y Cuervo-Robayo et al. (2014) que corresponde a las coberturas más actualizadas para la misma región, utilizaron más de 5000. En este caso la densidad de estaciones meteorológicas también juega un papel importante ya que existen zonas que cuentan con menor cantidad, además de que al limitarse geográficamente, el proceso de depuración de Téllez et al. (2011) y Cuervo-Robayo et al. (2014) fue más preciso que el realizado con una cantidad mayor de datos a nivel mundial (Hijmans et al., 2005), por lo que es importante notar que las diferencias pueden llegar hasta $\pm 10.9^\circ \text{C}$ en la temperatura media anual en México (Fig. 3). Es fundamental que los usuarios conozcan los metadatos de las variables a utilizar con la finalidad de que conozcan cómo fueron creadas para que decidan si son útiles o no para los análisis que pretenden realizar (Peterson et al., 2011).

Temporalidad

La información geográfica, en general, está creada con base en datos primarios que tienen una temporalidad definida. Por esta razón es necesario considerar que no toda la información disponible puede ser utilizada de la misma manera. Existe información de escenarios climáticos desarrollados en tiempo presente con diferentes temporalidades, incluso de una misma fuente de información, por ejemplo los datos bioclimáticos de ecoClimate (Lima-Ribeiro et al., 2015, 2020) incluyen un periodo histórico (1900-1949) y un periodo moderno (1950-1999), mientras que Worldclim en su versión 1.4 incluye datos de ~1960-1990 (Hijmans et al., 2005) y en su versión 2.1 tiene datos de 1970 al 2000 (Fick & Hijmans, 2017). Estas diferencias no sólo existen en grandes grupos de datos climatológicos presentes, sino que pueden existir en escenarios temporales de cambio climático ya sea al futuro o al pasado (e.g. reconstrucciones paleoclimáticas) y que han sido utilizados para proyectar el nicho ecológico de las especies bajo las condiciones actuales (e.g. Ochoa-Ochoa et al.,

2012; Cruz-Silva et al., 2012). Algunas fuentes de información también cuentan con datos mensuales que incluso han sido utilizados para identificar modificaciones en la distribución a lo largo del año (Encarnación-Luévano et al., 2011). La correspondencia temporal entre las coberturas ambientales y los datos biológicos es fundamental para una interpretación adecuada del modelo y va también a depender del objetivo de estudio (Peterson et al., 2011).

RECOMENDACIONES ACERCA DE LA INFORMACIÓN AMBIENTAL

Existen diferentes recomendaciones en el uso de la información ambiental de acuerdo con distintos autores. Algunas de estas recomendaciones son evitar el uso de variables redundantes y considerar la existencia de la autocorrelación espacial como un posible sesgo. Algunos autores han descartado variables debido a que generan anomalías espaciales (Escobar et al., 2014) y otros han reportado que el uso de variables redundantes tiene poco impacto en la representación de los MNE/MDE, a pesar de esto, sugieren cuantificar y reportar el grado de redundancia de las variables (Feng et al., 2019).

Identificación de variables correlacionadas

Uno de los métodos que ha sido utilizado para evitar información redundante, ha sido eliminar las variables correlacionadas con base en el uso del coeficientes de correlación (e.g. Spearman, Pearson) directamente sobre las variables ambientales como una forma de aproximarse a la identificación de la colinealidad entre las variables (Dormann et al., 2013). Varios trabajos han utilizado diferentes valores del coeficiente de correlación de Pearson como umbral, en general, considerando que las variables con valores > 0.75 (Rissler & Apodaca, 2007) y > 0.85 (Elith et al., 2006, 2010; Sánchez-Ramos et al., 2018) representan información correlacionada. La tendencia general es escoger sólo una variable del conjunto que esté por arriba de ese umbral (Fig. 4). Es importante mencionar, que no existe una regla para determinar el valor umbral, por lo que queda al criterio del investigador.

Identificación de variables multicolineales

Otra forma que ha sido utilizada es el uso de pruebas de multicolinealidad, como el Factor de Inflación de Varianza (Variance Inflation Factor, VIF) (Naimi et al., 2014). El VIF es calculado con base en el cuadrado del coeficiente de correlación múltiple entre las variables y se ha interpretado que valores $\text{VIF} > 10$ presentan una señal de colinealidad (Dormann et al., 2013; Naimi et al., 2014; Tytar et al., 2015). Al utilizar diferentes variables, se ha optado por realizar el VIF en una forma gradual

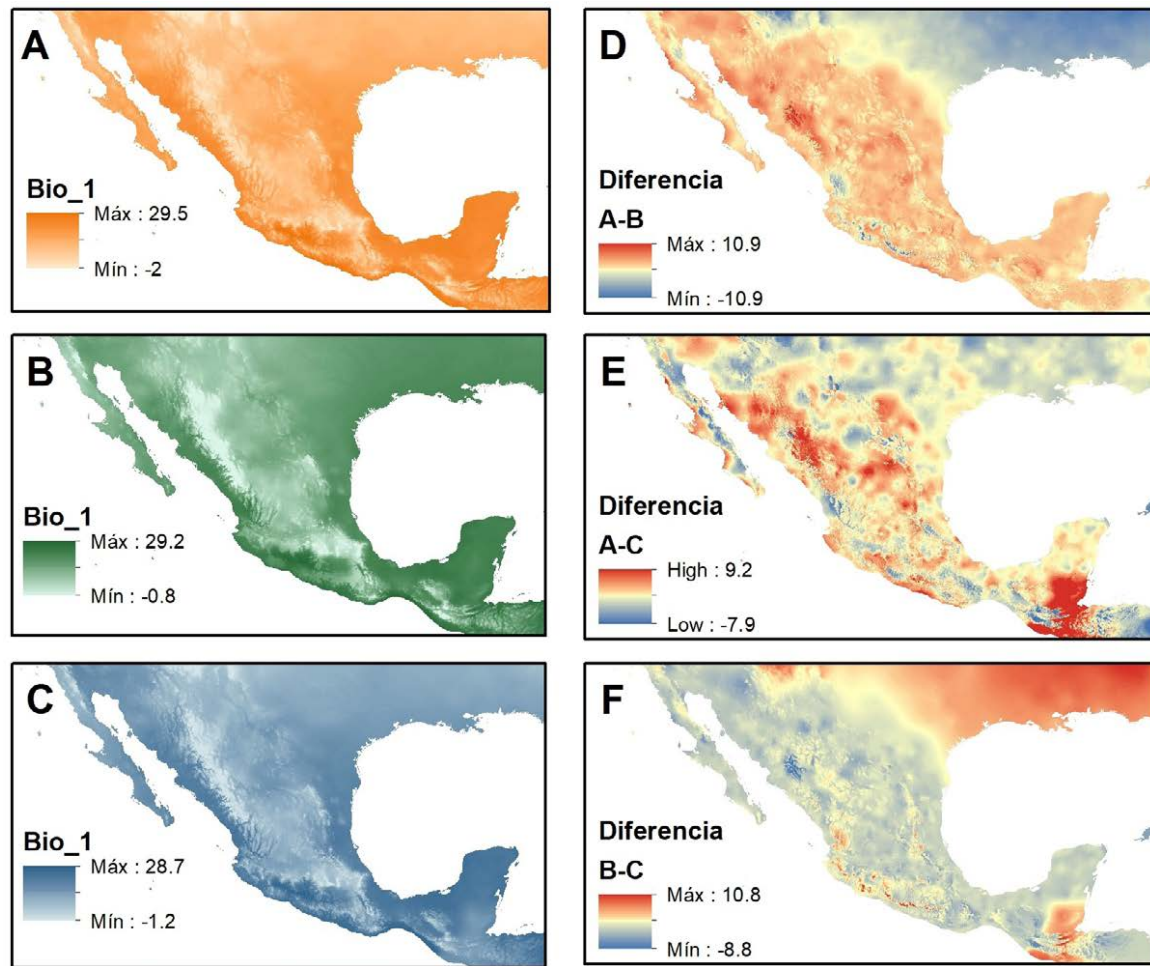


Figure 3. Comparison of the annual mean temperature layers (Bio 1) for Mexico from different sources. A) WorldClim 1.4 (Hijmans et al., 2005). B) Téllez et al. (2011). C) Cuervo-Robayo et al. (2014). E) Diferencia between WorldClim 1.4 and Téllez et al. (2011). F) Diferencia between WorldClim 1.4 and Cuervo-Robayo et al. (2014). G) Diferencia between Téllez et al. (2011) y Cuervo-Robayo et al. (2014). Maximum and minimum values represent ° C. Even if they represent the same layer there are differences up to $\pm 10.9^{\circ}\text{C}$ due to the sources of information and the cleaning process of the data.

Figura 3. Comparación de coberturas de temperatura media anual (Bio 1) para México de diferentes fuentes. A) WorldClim 1.4 (Hijmans et al., 2005). B) Téllez et al. (2011). C) Cuervo-Robayo et al. (2014). E) Diferencia entre WorldClim 1.4 y Téllez et al. (2011). F) Diferencia entre WorldClim 1.4 y Cuervo-Robayo et al. (2014). G) Diferencia entre Téllez et al. (2011) y Cuervo-Robayo et al. (2014). Los valores máximos y mínimos representan ° C. A pesar de que se trata de la misma cobertura existen diferencias de hasta $\pm 10.9^{\circ}\text{C}$ debido a las fuentes de información y al proceso de limpieza de los datos.

o iterativa para excluir todas las variables con valores de VIF > 10 (Naimi et al., 2014). Aunque este valor es arbitrario, ha sido utilizado como una forma de evitar variables con información redundante.

Análisis de componentes principales de las variables

El análisis de componentes principales (PCA por su siglas en inglés) es un método multivariado que transforma un conjunto de variables correlacionadas en nuevas variables (componentes)

no correlacionadas (Janžekovič & Novak, 2012). Esto asegura la independencia de las variables utilizadas en el proceso de modelado, ya que cada componente sintetiza la máxima variabilidad residual contenida en las coberturas originales, además de que se cuantifica el grado de contribución que aporta cada variable original (*loading values*) (Pla & de Miranda, 1986; Peterson et al., 2011). Algunos autores han utilizado el PCA como una forma de contar con variables no correlacionadas para el proceso de MNE/MDE, aunque la interpretación de

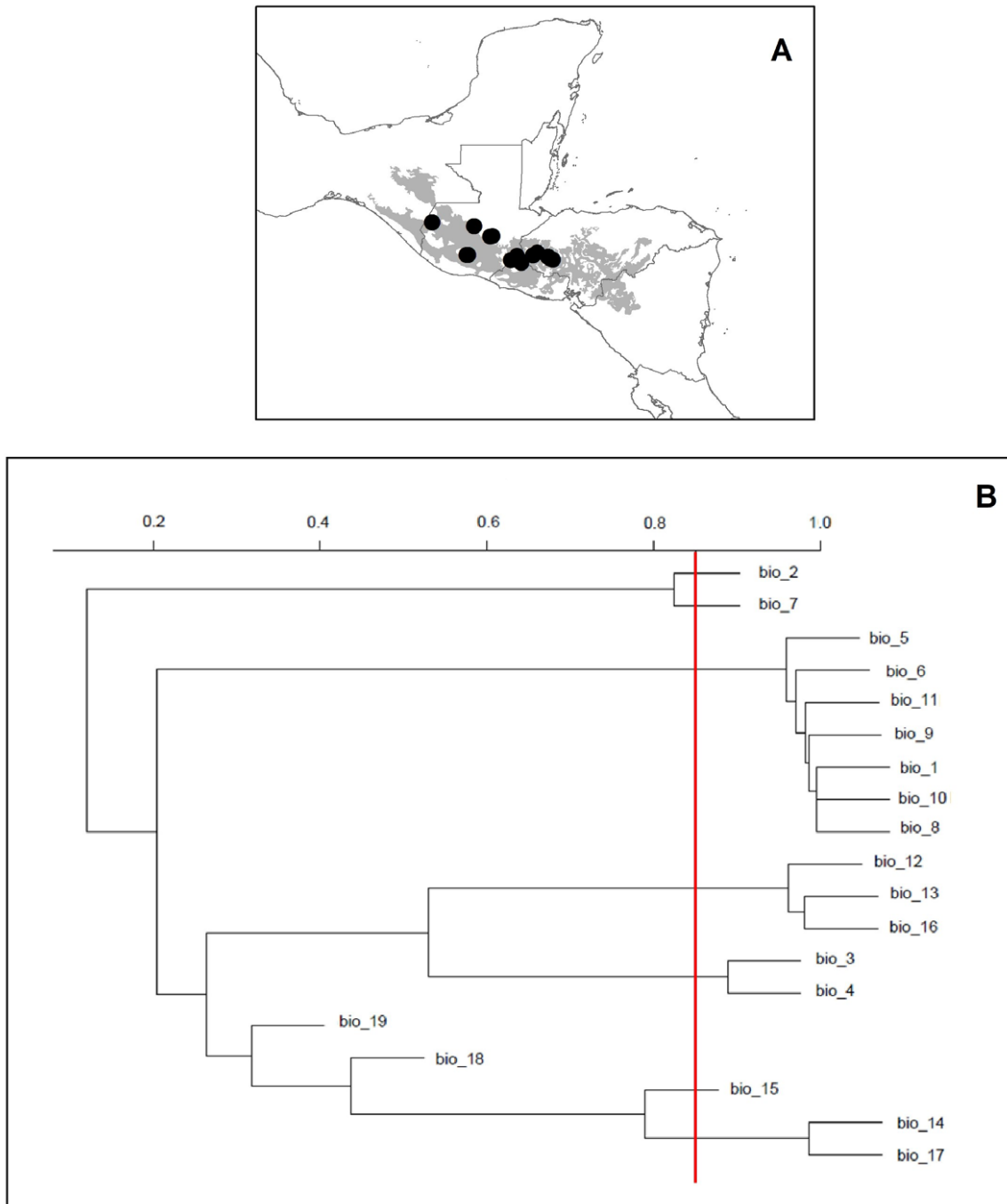


Figure 4. Correlation analysis for the ecoregions of *Incilius ibarrai*. A) Black dots indicate the presence records of *Incilius ibarrai*, in grey area marked the ecoregions corresponding to the area considered for the correlation analysis. B) Phenogram of UPGMA based on the Pearson correlation coefficient, for the 19 bioclimatic layers for the ecoregions where *Incilius ibarrai* is present. The red line is the threshold of 0.85, values above represent variables highly correlated.

Figura 4. Análisis de correlación para las ecorregiones de *Incilius ibarrai*. A) Los puntos negros indican registros de presencia de *Incilius ibarrai*, en gris se marcan las ecorregiones que corresponden al área que se tomará en cuenta para hacer el análisis de correlación. B) Fenograma de UPGMA con base en el coeficiente de correlación de Pearson de 19 variables bioclimáticas para las ecorregiones con presencia de *Incilius ibarrai*. La línea roja es un valor umbral de 0.85 los valores por encima de esta representan variables con alta correlación.

los componentes no es tan sencilla, incluso hay trabajos en los que los aportes de cada variable han sido utilizados para poder analizar coberturas en otros escenarios temporales (e.g. Yañez-Arenas et al., 2016). Es importante mencionar que si las variables originales no están correlacionadas el PCA no ofrece ninguna ventaja (Pla & de Miranda, 1986).

Autocorrelación espacial

Es necesario tener en cuenta que así como las variables ambientales pueden contener información redundante, se ha visto que los datos biológicos (registros de las especies) y las variables ambientales presentan autocorrelación espacial (Sokal & Oden, 1978a, b; Legendre, 1993; Griffith, 1996, 2003; Rossi & Quénéhervé, 1998; Diniz-Filho et al., 2003; Veloz, 2009; de Oliveira et al., 2014). La autocorrelación espacial está definida como la correlación que existe entre los valores de una sola variable debido a la proximidad que éstos presentan en el espacio geográfico, esto quiere decir, que existe dependencia entre los valores de una variable en ubicaciones o localidades que son vecinas, es por ello que una variable tomará valores similares cuando las localidades se encuentren a una distancia corta (autocorrelación positiva) y valores diferentes a distancias largas (autocorrelación negativa) (Legendre, 1993; Griffith, 1996, 2003). También se ha observado que se pueden tener autocorrelaciones positivas con datos que presentan distancias largas o negativas en distancias cortas, las cuales se deben a la representación geográfica de la información ambiental (Legendre & Fortin, 1989; Rossi & Quénéhervé, 1998).

Para determinar la autocorrelación espacial de los datos, se han utilizado diferentes métodos. Uno de los más utilizados es el Coeficiente I de Moran (CM), el cual implica un cálculo de los productos cruzados de los valores de la media ajustada a los vecinos geográficos, es decir, covariación. Los valores que se calculan con el CM varían entre -1 a 1, que indican independencia o similitud total de los datos respectivamente, los valores que sean iguales a 0 indican un patrón espacial aleatorio (Griffith, 1996, 2003). Para hacer el cálculo de la autocorrelación espacial de una serie de datos, es posible generar varias matrices de distancias geográficas y obtener los valores de CM para una misma variable, lo que permite evaluar el comportamiento de la autocorrelación en función de la distancia espacial y generar un correlograma espacial en la que se observa el patrón espacial de los datos (Diniz-Filho et al., 2003). La utilización de este coeficiente no sólo se ha empleado para determinar la distancia en la que los datos dejan de presentar autocorrelación espacial en análisis geográficos, sino que también se ha utilizado para señalar cómo, la corrección de la autocorrelación puede mejorar

la precisión de los MNE/MDE y actuar de manera diferente en el espacio geográfico y en el ecológico (de Oliveira et al., 2014). Incluso, se ha utilizado junto con otros métodos (e.g. prueba de Mantel) en estudios en los que se combinan los MNE con datos de diversidad genética, para observar el efecto que puede tener la autocorrelación espacial en procesos ecológicos y evolutivos (Diniz-Filho et al., 2016).

Otra forma con la cual se ha evaluado el efecto que tiene la autocorrelación espacial a la hora de realizar MNE/MDE, es haciendo un filtrado espacial de los datos y posteriormente comparando los resultados obtenidos. Este filtrado se puede hacer de diferentes maneras, una opción es la propuesta por Veloz (2009), quien parte de datos únicamente de presencias y evalúa las distancias en las que los datos dejan de ser similares a partir del cálculo de semivariogramas, los cuales modelan la varianza entre pares de puntos en función de la distancia a la cual la semivarianza alcanza un umbral (intervalo) que indica la independencia espacial de los datos. Otra forma, es filtrando los datos a partir de la eliminación al azar de algunas localidades que se encuentren a una distancia determinada *a priori* considerando la heterogeneidad geográfica (e.g. zonas montañosas) que presente el área de estudio o a partir de la implementación de un generador de matrices de distancia geográfica (Boria et al., 2014).

Debido a la necesidad que actualmente se tiene de obtener un MNE/MDE que no presente un ajuste a los datos de inicio como resultado de la presencia de autocorrelación espacial, algunos autores han diseñado herramientas enfocadas en el tratamiento de los datos de entrada para la obtención de MNE/MDE. Muscarella et al. (2014) desarrollaron un paquete en R llamado ENMeval el cual crea un conjunto de datos para la validación cruzada de K iteraciones utilizando diferentes métodos para particionar los datos de ocurrencia, posteriormente, se construye una serie de modelos candidatos usando Maxent con una serie de configuraciones determinadas por el usuario y por último, se proporcionan diversas medidas de evaluación que permitan seleccionar la configuración óptima del modelo. Posteriormente, Aiello-Lammens et al. (2015) proponen que es necesario realizar un adelgazamiento de los datos de entrada a partir de un método que permitan reducir el efecto que tiene el sesgo de muestreo en el MDE/MDE y no solo hacerlo de manera manual, por lo que desarrollan un paquete en R llamado spThin, el cual genera un conjunto de datos que presenta el número máximo de registros para una distancia de adelgazamiento dada, cuando se ejecuta una serie suficiente de iteraciones.

Evaluación de las variables ambientales

Recientemente se ha recomendado hacer un análisis de selección de la información ambiental con la finalidad de seleccionar el mejor conjunto de variables que puede estar asociado con los datos biológicos, teniendo un mejor resultado en el proceso de modelado (Cobos et al., 2019). Sin duda, la evaluación de las variables se ha hecho mediante procesos heurísticos como una forma de descartar aquellas que no representen información para la especie. El proceso que proponen Cobos et al. (2019) es un proceso exhaustivo en el que se consideran las variables y el conjunto de datos biológicos con el algoritmo Maxent. El proceso consiste en generar diferentes modelos con los diferentes conjuntos de coberturas y parámetros para el algoritmo para que pueda ser evaluado por medio del Criterio de Información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc por sus siglas en inglés). Aunque representa una manera novedosa de evaluar las variables ambientales y los datos biológicos, han habido críticas para su utilización ya que los modelos con valores más bajos de AICc presentan valores altos en errores omisión y comisión (Velasco & González-Salazar, 2019).

Así como la información biológica es fundamental para el proceso de modelado, la información ambiental también lo es. Es por ello, que es necesario considerar que existen factores que pueden alterar el resultado de los MNE/MDE. Además, que es importante detenerse a pensar qué es lo que se requiere, qué es lo más conveniente y considerar cómo debe de usarse toda esta información, evitando así el uso de procesos automatizados sólo porque están disponibles.

Agradecimientos.— A la Dra. Leticia M. Ochoa Ochoa por su invitación para participar en esta serie de editoriales sobre MNE/MDE. A Salvador Hernández Rubio por su ayuda con la información de la distribución de *Incilius ibarraei*.

LITERATURA CITADA

- Aiello-Lammens, M.E., R.A. Boria, A. Radosavljevic, B. Vilela & R.P. Anderson. 2015. spThin: a R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography* 38:541-545.
- Boria, R.A., L.E. Olson, S.M. Goodman & R.P. Anderson. 2014. Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. *Ecological Modelling* 275:73-77.
- Cobos, M.E., A.T. Peterson, L. Osorio-Olvera & D. Jiménez-García. 2019. An exhaustive analysis of heuristic methods for variable selection in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Informatics* 53:100983.
- Contreras, V., E. Martínez-Meyer, E. Valiente & L. Zambrano. 2009. Recent decline and potential distribution in the last remnant area of the microendemic Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *Biological Conservation* 142:2881-2885.
- Cruz-Silva, J.A. 2012. Reconstrucción paleoambiental del Pleistoceno final usando modelos de nicho ecológico inferidos con vertebrados: el caso de la cueva de San Josecito, Nuevo León. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cuervo-Robayo, A.P., O. Téllez-Valdés, M.A. Gómez-Albores, C.S. Venegas-Barrera, J. Manjarrez & E. Martínez-Meyer. 2014. An update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology* 34:2427-2437.
- de Oliveira, G., T.F. Rangel, M.S. Lima-Ribeiro, L.C. Terribile & J.A.F. Diniz-Filho. 2014. Evaluating, partitioning, and mapping the spatial autocorrelation component in ecological niche modeling: a new approach based on environmentally equidistant records. *Ecography* 37:637-647.
- Deetz, C.H. & O.S. Adams. 1950. Elementos de proyección de mapas y su aplicación a la construcción de mapas y cartas. Government Print office, Washington, D.C., USA.
- Diniz-Filho, J.A.F., L.M. Bini & B.A. Hawkins. 2003. Spatial autocorrelation and red herrings in geographical ecology. *Global Ecology & Biogeography* 12:53-64.
- Diniz-Filho, J.A.F., A.C.O.F. Barbosa, R.G. Collevatti, L.J. Chaves, L.C. Terribile. M.S. Lima-Ribeiro & M.P.C. Telles. 2016. Spatial autocorrelation analysis and ecological niche modelling allows inference of range dynamics driving the population genetic structure of a Neotropical savanna tree. *Journal of Biogeography* 43:167-177.
- Dormann, C.F., J. Elith, S. Bacher, C. Buchmann, G. Carl, G. Carré, J.R.G. Marquéz, B. Gruber, B. Lafourcade, P.J. Leitão, T. Münkemüller, C. McClean, P.E. Osborne, B. Reineking, B. Schröder, A.K. Skidmore, D. Zurell & S. Lautenbach. 2013. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography* 36:27-46.
- Elith, J., C.H. Graham, R.P. Anderson, M. Dudik, S. Ferrier, A. Guisan, R.J. Hijmans, F. Huettmann, J.R. Leathwick, A. Lehmann,

- J. Li, L.G. Lohmann, B.A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J.M.M. Overton, A.T. Peterson, S.J. Phillips, K. Richardson, R. Scachetti-Pereira, R.E. Schapire, J. Soberon, S. Williams, M.S. Wisz & N.E. Zimmermann. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29:129-151.
- Elith, J., M. Kearney & S. Phillips. 2010. The art of modelling range-shifting species. *Methods in Ecology and Evolution* 1:330-342.
- Encarnación-Luévano, A., O.R. Rojas-Soto & J.J. Sigala-Rodríguez. 2013. Activity response to climate seasonality in species with fossorial habits: A niche modeling approach using the lowland burrowing treefrog (*Smilisca fodiens*). *PLoS ONE* 8:e78290.
- Escobar, L.E., A. Lira-Noriega, G. Medina-Vogel & A.T. Peterson. 2014. Potential for spread of the white-nose fungus (*Pseudogymnoascus destructans*) in the Americas: use of Maxent and NicheA to assure strict model transference. *Geospatial Health* 9:221-229.
- Feng, X., D.S. Park, Y. Liang, R. Pandey & M. Papeş. 2019. Collinearity in ecological niche modeling: Confusions and challenges. *Ecology and Evolution* 9:10365-10376.
- Fick, S.E. & R.J. Hijmans. 2017. WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37:4302-4315.
- Griffith, D.A. 1996. Spatial autocorrelation and eigenfunctions of the geographic weights matrix accompanying geo-referenced data. *The Canadian Geographer* 40:351-367.
- Griffith, D.A. 2003. Spatial autocorrelation and spatial filtering: gaining understanding through theory and scientific visualization. Springer-Verlag, Berlín, Alemania.
- Hager, J.W., F.L. Larry, S.S. Jacks & D.R. Hill. 1990. Datums, Ellipsoids, Grids, and Grid Reference Systems. Defense Mapping Agency, Washington, D.C., USA.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones & A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25:1965-1978.
- Hutchinson, G.E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 22:415-427.
- Janssen, V. 2009. Understanding Coordinate Systems, Datums and Transformations in Australia. Pp. 697-715. En B. Ostendorf, P. Baldock, D. Bruce, M. Burdett & P. Corcoran (Eds.), *Proceedings of the Surveying & Spatial Sciences Institute Biennial International Conference 2009*, Surveying and Spatial Sciences Institute, Adelaide, Australia.
- Janžekovič, F. & T. Novak. 2012. PCA—A Powerful Method for Analyze Ecological Niches. Pp. 127-142. En P. Sanguansat (Ed.), *Principal Component Analysis: Multidisciplinary Applications*. InTech, Rijeka, Croacia.
- Karger, D.N., O. Conrad, J. Böhner, T. Kawohl, H. Kreft, R.W. Soria-Auza, N.E. Zimmermann, H.P. Linder & M. Kessler. 2017. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data* 4:170122.
- Legendre, P. 1993. Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm?. *Ecology* 74:1659-1673.
- Legendre, P. y M.J. Fortin. 1989. Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio* 80:107-138.
- Leibold, M.A. 1995. The Niche concept revisited: mechanistic models and community context. *Ecology* 76:1371-1382.
- Lima-Ribeiro, M.S., S. Varela, J. González-Hernández, G. de Oliveira, J.A.F. Diniz-Filho & L.C. Terribile. 2015. ecoClimate: a database of climate data from multiple models for past, present, and future for Macroecologists and Biogeographers. *Biodiversity Informatics* 10:1-21.
- Lima-Ribeiro, M.S., S. Varela, J. González-Hernández, G. de Oliveira, J.A.F. Diniz-Filho, A.T. Peterson & L.C. Terribile. 2020. The ecoClimate Database. <http://ecoclimate.org>, [Consultado en Abril 2020].
- Löwenberg-Neto, P. 2014. Neotropical region: a shapefile of Morrone's (2014) biogeographical regionalisation. *Zootaxa* 3802:300.
- Morrone, J.J. 2014. Biogeographical regionalisation of the Neotropical region. *Zootaxa* 3782:1-110.
- Muscarella, R., P.J. Galante, M. Soley-Guardia, R.A. Boria, J.M. Kass, M. Uriarte & R.P. Anderson. 2014. ENMeval: An R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for MAXENT ecological niche models. *Methods in Ecology and Evolution* 5:1198-1205.

- Naimi, B., N.A.S. Hamm, T.A. Groen, A.K. Skidmore & A.G. Toxopeus. 2014. Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? *Ecography* 37:191-203.
- Navarro Parraud, M.d.C. & G. Legorreta Paulin. 1998. *Sistemas de Información Geográfica: Teoría introductoria y ejercicios con AutoCAD e IDRISI*. Publicaciones Docentes del Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera", Facultad de Ciencias, UNAM, D.F., México.
- Ochoa-Ochoa, L.M., P. Rodríguez, F. Mora, O. Flores-Villela & R.J. Whittaker. 2012. Climate change and amphibian diversity patterns in Mexico. *Biological Conservation* 150:94-102.
- 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, New Jersey, USA.
- Pla, L.E. & F. de Miranda. 1986. *Análisis multivariado: método de componentes principales*. Secretaría General de la Organización de Estados Americanos, Washington, D.C., USA.
- Quattrocchi, D.A., E.A. Wentz, N. Siu-Ngan Lam & C.W. Emerson. 2017. *Integrating scale in remote sensing and GIS*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- 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.
- Rissler, L.J. & J.J. Apodaca. 2007. Adding more ecology into species delimitation: Ecological niche models and phylogeography help define cryptic species in the Black Salamander (*Aneides flavipunctatus*). *Systematic Biology* 56:924-942.
- Rodríguez, J.P., L. Brotons, J. Bustamante & J. Seoane. 2007. The application of predictive modelling of species distribution to biodiversity conservation. *Diversity and Distributions* 13:243-251.
- Rossi, J.P. & P. Quénéhervé. 1998. Relating species density to environmental variables in presence spatial autocorrelation: a study case on soil nematodes distribution. *Ecography* 21:117-123.
- Sánchez-Ramos, L.E., A. Gordillo-Martínez, C.R. Gutiérrez-Arellano, T. Kobelkowsky-Vidrio, C.A. Ríos-Muñoz & A.G. Navarro-Sigüenza. 2018. Bird diversity patterns in the Nuclear Central American Highlands: a conservation priority in the northern Neotropics. *Tropical Conservation Science* 11:1-17.
- Snyder, J.P. 1987. *Map Projections-A working manual*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1395. Washington, D.C., USA.
- Sokal, R.R. & N.L. Oden. 1978a. Spatial autocorrelation in biology. 1. Methodology. *Biological Journal of Linnean Society* 10:199-228.
- Sokal, R.R. & N.L. Oden. 1978b. Spatial autocorrelation in biology. 2. Some biological implications and four applications of evolutionary and ecological interest. *Biological Journal of Linnean Society* 10:229-249.
- Téllez, O., M.A. Hutchinson, H.A. Nix & P. Jones. 2011. Desarrollo de coberturas digitales climáticas para México. Pp. 67-70. En G. Sánchez Rojas, C. Ballesteros Barrera & N.P. Pavón (Eds.), *Cambio Climático. Aproximaciones para el estudio de su efecto en la biodiversidad*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo, México.
- Tytar, V., S. Mezhzherin & L. Sobolenko. 2015. Using ecological niche modeling for biodiversity conservation guidance in the Western Podillya (Ukraine): Amphibians. *Vestnik Zoologii* 49:135-144.
- Velasco, J.A. & C. González-Salazar. 2019. Akaike information criterion should not be a "test" of geographical prediction accuracy in ecological niche modelling. *Ecological Informatics* 51:25-32.
- Veloz, S.D. 2009. Spatially autocorrelated sampling falsely inflates measures of accuracy for presence-only niche models. *Journal of Biogeography* 36:2290-2299.
- Yañez-Arenas, C., A.T. Peterson, K. Rodríguez-Medina & N. Barve. 2016. Mapping current and future potential snakebite risk in the new world. *Climatic Change* 134:697-711.

APÉNDICE 1. FUENTES DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE ACUERDO CON LA CLASIFICACIÓN PROPUESTA

CÉSAR A. RÍOS-MUÑOZ, DEBORAH V. ESPINOSA-MARTÍNEZ Y KATIA M. VEGA-FLORES

Recopilación de fuentes basada en una compilación propia más referencias de Rodríguez et al. (2007), la base de datos de variables de Cuervo-Robayo (2019, Marzo 22) y de Emetere & Akinlabi (2020).

ABREVIATURAS COMUNES

CMIP: Proyecto de inter-comparación de modelos de clima acoplados (Coupled Model Intercomparison Project).

CRU-TS: Series temporales de la Unidad de Investigación Climática (Climatic Research Unit Timeseries).

GCM: Modelos generales climáticos (General climatic models).

IPCC: Panel Internacional de Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change).

MODIS: Espectroradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer).

PMIP: Proyecto de Intercomparación de Modelos Paleoclimáticos (Paleoclimate Modelling Intercomparison Project).

RCP: Trayectorias de concentración representativas (Representative Concentration Pathways).

SRTM: Misión Topográfica Shuttle Radar (Shuttle Radar Topography Mission).

SST: Temperatura Superficial del Océano (Sea Surface Temperature).

UMG: Último máximo glacial.

1. CLIMÁTICAS

1.1 AdaptWest: Current and projected climate data for North America (<https://adaptwest.databasin.org/pages/adaptwest-climatena>). Incluye 27 variables bioclimáticas y 48 variables mensuales para los periodos 1961-1990 y 1981-2010, además de escenarios de predicción para 2020, 2050, 2080 en dos RCP de ocho GCM para Norteamérica (Wang et al., 2016).

1.2 Center for Environmental Data Analysis (CEDA): Climatic Research Units Time-Series (CRU TS) v3.26 (<https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/7ad889f2cc1647efba7e6a356098e4f3?>). Comprende

variables con variaciones climáticas mensuales (1901-2017), con una escala casi global (excluyendo la Antártida) y una resolución espacial de 0.5° (Harris et al., 2014; Harris & Jones, 2019).

1.3 Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS): Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations v2.0 (<https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>). Incluye variables relacionadas a las estimaciones de precipitación a partir del uso de pluviómetros y observaciones satelitales (1981-presente), con una escala casi global y una resolución de 0.05° (Funk et al., 2014).

1.4 ClimateSA: historical and projected climate data for Mexico, Central and South America v1.12 (<https://sites.ualberta.ca/~ahamann/data/climatesa.html>). Software que permite estimar más de 50 variables mensuales, estacionales o anuales a partir de datos CRU-TS 3.22 desde 1901 actualizados a 2013. Datos de proyecciones futuras están basados en 15 GCM del conjunto de datos del multimodelo CMIP5 correspondiente al IPCC5 para las RCP de los años 2020, 2050 y 2080. La información se encuentra disponible para México, Centro y Sudamérica (Hamann et al., 2013).

1.5 Climatologies at high resolution for the Earth's land surface areas (CHELSA) v1.2 (<http://chelsa-climate.org/>). Incluye variables climáticas (precipitación y temperatura) mensuales para la superficie terrestre (1979-2013), con una escala casi global (84° N a 90° S) y una resolución espacial de 30" (Karger et al., 2017).

1.6 CliMond: Global climatologies for bioclimatic modelling v1.2 (<https://www.climond.org/>). Incluye 35 variables bioclimáticas del periodo 1961-1990 y escenarios futuros (IPCC5) incluyendo varios GCMs para el área terrestre al 2030, 2050, 2070, 2080, 2090 y 2100, con una escala casi global (excluyendo la Antártida) y una resolución espacial de 10' y 30' (Kriticos et al., 2012).

1.7 Daily Surface Weather Data on a 1-km Grid for North America (Daymet) v3.4 (https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dataset_lister.pl?p=32). Incluye estimaciones de parámetros meteorológicos diarios, mensuales y anuales desde 1980 hasta el año completo más reciente para Norteamérica (incluido Puerto Rico y Hawái), con una resolución espacial de 1 km² (Thornton et al., 2016a, b, c).

1.8 Downscaled and debiased climate simulations for North America from 21,000 years ago to 2100AD (<https://datadryad.org/stash/dataset/doi:10.5061/dryad.1597g>). Incluye información de simulaciones climáticas para Norteamérica desde hace 21 000 años (UMG) hasta proyecciones futuras hasta el año 2100, con una resolución de 0.5° (Lorenz et al., 2016a, b).

1.9 ecoClimate (<https://www.ecoclimate.org/>). Incluye variables climáticas mensuales (precipitación y temperatura) basadas en los modelos climáticos CMIP5 y PMIP3. Se incluyen proyecciones para el presente (-1760, 1900-1949, 1950-1999), el pasado (Plioceno, Holoceno medio y UMG) y para el futuro (2080-2100). Para las proyecciones a futuro se incluyen cuatro escenarios (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5). Todos presentan una escala global y una resolución de 0.5° (Lima-Ribeiro et al., 2015, 2020).

1.10 Ecospat - Spatial Ecology Group: Bioclim variables for Southern South America (<https://www.unil.ch/ecospat/home/menuguid/ecospat-resources/data.html>). Incluye 19 variables bioclimáticas para el periodo 1950-2000 para el Sur de Sudamérica (incluyendo Chile, Bolivia, Perú y Argentina), con una resolución espacial de 1 km (Plissock et al., 2014).

1.11 Global Integrated Drought Monitoring and Prediction System (GIDMaPS) Data Sets (https://figshare.com/collections/Global_Integrated_Drought_Monitoring_and_Prediction_System_GIDMaPS_Data_Sets/853801). Abarca variables de múltiples indicadores de sequía, derivada de datos de precipitación y humedad del suelo. Este conjunto de datos incluyen datos históricos y predicciones probabilísticas de sequías de diferentes fuentes y diferentes periodos (1980-presente, 1979-presente, 1949-presente), basados en una escala casi global y una resolución de 2/3° x 1/2°, 0.125°, 0.5°, 2.5° y 1° (Hao et al., 2014).

1.12 Group for High Resolution Sea Surface (GHRSSST) Level 4 MUR Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis v4.1 (<https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/MUR-JPL-L4-GLOB-v4.1>). Contiene variables que describen la SST para el periodo 2002-presente, con una escala global y una resolución espacial de 1 km². El análisis L4 Multiscale Ultrahigh Resolution (MUR) está basado en observaciones nocturnas de SST y GHRSSST L2P de

varios instrumentos: MODIS, AMSRE, entre otros (JPL MUR MEaSURES Project, 2015).

1.13 Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature (HadISST) v1.1 (<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/sst-data-hadisst-v11>). Engloba variables climáticas (SST y cobertura de hielo marino) para el periodo 1870-2015, con una escala global y una resolución de 1°. Los datos incluidos en este portal se derivaron del Research Data Archive (Hadley Centre for Climate Prediction and Research, 2006).

1.14 Köppen-Geiger climate classification maps (<http://www.gloh2o.org/koppen/>). Incluye variables climáticas basadas en la clasificación de Köppen-Geiger para las condiciones históricas actuales (1980-2016) y condiciones climáticas proyectadas hacia el futuro (2071-2100), con una escala global y una resolución espacial de 1 km² (Beck et al., 2018).

1.15 MERRAclim v2 (<https://datadryad.org/stash/dataset/doi:10.5061/dryad.s2v81>). Incluye 19 variables bioclimáticas de las décadas de los 1980's, 1990's, 2000's. Son obtenidas a partir de datos de temperatura y humedad máxima, media y mínima. Tienen escala global con una resolución 10', 5' y 2.5' (Vega et al., 2017, 2018).

1.16 microClim: Global estimates of hourly microclimate based on long-term monthly climate averages (https://figshare.com/collections/microclim_Global_estimates_of_hourly_microclimate_based_on_long_term_monthly_climate_averages/878253). Incluye estimaciones de las condiciones microclimáticas a nivel mensual para el periodo 1961-1990, con una escala casi global (no considera las zonas polares) y una resolución espacial de ~15 km (Kearney et al., 2014).

1.17 PaleoClim (<http://www.paleoclim.org/>). Incluye 19 variables bioclimáticas proyectadas hacia el pasado (Pleistoceno y Plioceno) y para el futuro (2080-2100), con una escala global y una resolución espacial de 30°, 2.5', 5' y 10'. Las variables se derivan de los valores mensuales de temperatura y precipitación (Brown et al., 2018).

1.18 Satellite-based time-series of sea-surface temperature since 1981 for climate applications (SST CCI) v2 (https://springernature.figshare.com/articles/Metadata_record_for_Satellite-based_time-series_of_sea-surface_temperature_since_1981_for_climate_applications/9939638). Incluye variables climáticas que describen la SST para el periodo de 1981-2016, con una escala global y una resolución de 0.05° (Merchant et al., 2019a, b).

1.19 Superficies climáticas para México (<http://idrisi.uaemex.mx/distribucion/superficies-climaticas-para-mexico>, <https://drive.google.com/drive/u/o/folders/1AZWY8TtXSdrB15g4ZELuRZUMXPOCm1UU?fbclid=IwARo3Ziuhmtc84DEk5QW5tDziGkLXd3917oVLNFctWVvTwAwVC39JXVmydpdY>). Incluye 19 variables bioclimáticas para el periodo 1910-2009 para México (sur de Estados Unidos al norte de Centroamérica), con una resolución espacial ~ 1 km y 90 m (Cuervo-Robayo et al., 2014).

1.20 TerraClimate (<http://www.climatologylab.org/terraclimate.html>). Contiene dos conjuntos de datos: 1) datos de clima primarios (temperatura máxima y mínima, presión de vapor, precipitación acumulada, radiación de onda corta superficial, velocidad de viento), y 2) Variables derivadas (Evapotranspiración de referencia de Penman-Montieth, escorrentía, evapotranspiración actual, déficit climático de agua, humedad del suelo, equivalencia de nieve y agua, índice de severidad de sequía de Palmer, déficit de presión de vapor). La información corresponde al periodo 1958-2015, con una escala global y una resolución espacial de 0.04° (Abatzoglou et al., 2018).

1.21 WorldClim (<https://worldclim.org>). Existen dos versiones: 1.4 y 2.1 por la diferencia en la temporalidad de los datos disponibles (1960-1990 y 1970-2000). La versión 1.4 (no incluye la Antártida) incluye coberturas de temperatura, precipitación y 19 variables bioclimáticas, además de coberturas de escenarios de cambio climático con datos del CMIP5. Las coberturas a futuro son las proyecciones climáticas del IPCC5 de los modelos climáticos globales para cuatro RCPs para el 2050 y 2070. Las coberturas paleoclimáticas para el Holoceno medio son de nueve GCMs, tres para el UMG y uno para el último interglacial, estos dos últimos para el Pleistoceno. La versión 2.1 tiene una escala global e incluye la información de temperatura, precipitación (mensual y agrupada para el periodo), radiación solar, velocidad de viento y presión de vapor de agua, las 19 coberturas bioclimáticas y elevación. Además, incluye escenarios de cambio climático a futuro con base en datos del CMIP6 de nueve modelos climáticos globales para los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100 y cuatro trayectorias socioeconómicas compartidas. También se incluyen los datos mensuales para cada periodo de 20 años. Ambas versiones están disponibles con diferentes resoluciones espaciales 30", 2.5', 5' y 10' (Hijmans et al., 2005; Fick & Hijmans, 2017).

2. PIGMENTOS

2.1 NASA Ocean Color (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>). Contiene información sobre el color del océano, la cual es obtenida por el

Ocean Biology Processing Group (OBPG) en el NASA's Goddard Space Flight Center a partir de información satelital de diferentes misiones: **a) SeaWiFS** lanzado por Orbital Sciences Corporation en el satélite OrbView-2 o SeaStar que recopiló información desde septiembre de 1997 hasta finales de la misión en diciembre de 2010, y que presentan una resolución de 4 km a nivel global y de 1 km a nivel local; **b) MODIS-Aqua** y **MODIS-Terra** MODIS es un instrumento que se colocó en dos satélites Terra (EOS AM) y Aqua (EOS PM) los cuales realizan un recorrido alrededor de la Tierra cada dos días de norte a sur a través del Ecuador por la mañana y de sur a norte por el Ecuador en la tarde respectivamente, los datos obtenidos juegan un papel importante en la comprensión de la dinámica global y los procesos que ocurren en tierra, océanos y atmósfera inferior; **c) VIIRS-SNPP** es un instrumento que se encuentra en una serie de naves espaciales que conforman el Sistema Conjunto de Satélites Polares (JPSS por sus siglas en inglés) incluida la Asociación Nacional de Orbital Polar Suomi (SNPP por sus siglas en inglés), VIIRS es el sucesor de MODIS para la generación de datos a partir de 22 bandas espectrales (16 de resolución moderada [750 m en el nadir], cinco bandas de resolución de imagen [375 m] y una banda día-noche [DNM]), los datos cubren un periodo desde el 2 de enero de 2012 al presente; **d) OCTS** es un instrumento que se encuentra a bordo del Satélite Avanzado de Observación de la Tierra (ADEOS por sus siglas en inglés) lanzado por la Agencia Espacial Japonesa (NASDA-National Space Development Agency) y cuenta con 12 bandas que cubren las regiones visibles, infrarrojo cercano e infrarrojo térmico, con un ancho de banda de 1400 km aproximadamente y una resolución nadir de 700 m; **e) CZCS** es el escáner de color de la zona costera y fue el primer instrumento dedicado a la medición del color del océano y volado en una nave espacial, presentó seis bandas espectrales de las cuales cinco se utilizan principalmente para el color del océano, cubre un periodo desde el 30 de octubre de 1978 hasta el 22 de junio de 1986 (NASA-GSFC-OBPG, 2014).

3. SALINIDAD

3.1 NASA EOSDIS, Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PO.DAAC): JPL SMAP Level 3 CAP Sea Surface Salinity Standard Mapped Image 8-Day Running Mean V4.3 Validated Dataset (https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/SMAP_JPL_L3_SSS_CAP_8DAY-RUNNINGMEAN_V43). Contiene información de salinidad a nivel superficial del mar con una cobertura a nivel global, una resolución temporal de ocho días desde el 31 de marzo 2015 al presente, generada en el Observatorio NASA Soil Moisture Active Passive (SMAP). Presenta una resolución de 0.6° (Fore et al., 2016; JPL, 2020).

4. NUTRIENTES INORGÁNICOS

4.1 Nutrient profiles vertical distribution (https://resources.marine.copernicus.eu/?option=com_csw&task=results?option=com_csw&view=details&product_id=MULTIOBS_GLO_BIO_NUTRIENTS_PROFILES_REP_015_009). Perfiles verticales marinos de concentración de nitratos, fosfatos y silicatos desde la superficie hasta los 8000 m de profundidad a nivel global. El cálculo se realiza para cada flotador Argo equipado con un sensor de oxígeno, aplicando un método llamado sistema de carbonato y concentración de nutrientes de las propiedades hidrológicas y oxígeno usando una red neuronal (CANYON por sus siglas en inglés) considerando la información de los últimos 30 años de la base de datos GLODAPv2 (<https://www.glodap.info/>) (Sauzede et al., 2017; Bittig et al., 2018).

5. RELIEVE E HIDROLOGÍA

5.1 ETOPO1 Global Relief Model (<https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/>). Se trata de un modelo de relieve de la Tierra, que incluye topografía y batimetría. Puede descargarse con la información de las capas de hielo en los polos o sin ellas. Ambas están disponibles con una resolución de 1' (Amante & Eakins, 2009).

5.2 EMODnet-Bathymetry (<https://www.emodnet-bathymetry.eu/data-products>). Es un modelo digital batimétrico que cubre las regiones marítimas de Europa (límites 90° N, 36° E y 15° N 43° E) y que se generó a partir de datos de levantamientos batimétricos, modelos digitales de elevación compuestos, información batimétrica derivada de datos satelitales. Los datos presentan una resolución de 1/16' (EMODnet Bathymetry Consortium, 2018).

5.3 General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO_2019): Gridded Bathymetry Data (https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/). Incluye un modelo digital batimétrico. Es un modelo general de terreno global para tierra y océano con una escala global y una resolución espacial de 15". La cuadrícula de este modelo usa como base la versión 1 del conjunto de datos SRTM15_plus y se basa en la versión 11 de SRTM30_plus. GEBCO_2019 consiste en un proyecto que tiene como objetivo recopilar todos los datos batimétricos disponibles para generar un mapa para el fondo oceánico global para el 2030 (GEBCO, 2019).

5.4 Geomorpho90m- Global high- resolution geomorphometry layers: empirical evaluation and accuracy assessment (<https://peerj.com/preprints/27595/>). Incluye variables que representan diferentes características de geomorfometría derivadas del Modelo de

Elevación Digital de el Terreno Mejorado con Eliminación de Errores múltiples (MERIT-DEM), con la finalidad de representar las variaciones topográficas a escala global, con una resolución de 3" y 7.5" (Amatulli et al., 2019).

5.5 Global Islands Explorer (GIE) (<https://rmgsc.cr.usgs.gov/gie/>). Incluye un mapa con formato vector de línea de costa global que contiene tres clases de islas: continental, islas de más de 1 km² e islas de menos de 1 km². Los datos se obtuvieron a partir de imágenes satelitales Landsat de 2014 y se encuentran disponibles a una escala global y una resolución espacial de 30 m (Sayre et al., 2019).

5.6 Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010) (https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-global-multi-resolution-terrain-elevation?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects). Contiene siete coberturas de elevación con una escala terrestre global y una resolución espacial de 30", 15" y 7.5" (Danielson & Gesch, 2011).

5.7 Global River Widths from Landsat (GRWL) (<https://zenodo.org/record/1297434#.XqMu8MgzY2x>). Incluye una base de datos de la geometría de los ríos (ancho y largo) a escala casi global (excluyendo la Antártida). Los datos se obtuvieron a partir de la recopilación de datos de 3693 estaciones de calibración y 7376 imágenes de Landsat TM (Thematic Mapper), ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) y OLI (Operational Land Imager) (Allen & Pavelsky, 2018).

5.8 Hydrological data and maps based on Shuttle Elevation Derivatives at multiple Scales (HydroSHEDS) (<https://hydrosheds.cr.usgs.gov/index.php>). Contiene información hidrográfica que incluye modelo digital de elevación, cuencas, red de ríos, dirección y acumulación de flujo. Los datos están disponibles a escala regional y casi global con una resolución espacial de 3", 15" y 30" (Lehner et al., 2008).

5.9 International Satellite Land Surface Climatology Project Initiative II (ISLSCP II): HYDRO1k Elevation-derived Products (https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsvviewer.pl?ds_id=1007). Incluye parámetros generados a partir de datos de elevación. Los datos se encuentran disponibles a escala global y una resolución espacial de 1° y 0.5° (Verdin et al., 2011).

5.10 SRTM 90m DEM Digital Elevation Database v4.1 (<https://cgiaresci.community/data/srtm-90m-digital-elevation-database-v4-1/>). Modelo digital de elevación con una resolución de 90 m. Todos los datos se pueden descargar como mosaicos de 5° x 5° (Jarvis

et al., 2008). En la página se incluyen ligas de algunos modelos digitales de elevación auxiliares de algunos países específicos.

6. EDAFOLOGÍA

6.1 Interpolation of Mexican soil properties at a scale of 1:1,000,000 (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706113002504>). Incluye nueve capas de la distribución de algunas propiedades del suelo (Ca, K, Mg, Na, C orgánico, materia orgánica, conductividad eléctrica, relación de absorción de sodio y pH) generadas a partir de 4400 muestras de suelo tomadas en territorio mexicano, con una resolución espacial de 1 km (Cruz-Cárdenas et al., 2014).

6.2 Soil Grids - global gridded soil information (<https://www.isric.org/explore/soilgrids>). Incluye modelos predictivos de siete profundidades estándar (0, 5, 15, 30, 60, 100 y 200 cm) para algunas propiedades del suelo, con una escala global y una resolución espacial de 250 m. Estos modelos se obtuvieron a partir de observaciones de perfil de suelo de la base de datos WoSIS y una serie de covariables ambientales (más de 400 capas ambientales) (e.g. clima, cobertura del suelo y morfología del terreno) (Hengl et al., 2017).

6.3 World Soil Information Service (WoSIS) (<https://www.isric.org/explore/wosis>). Incluye datos de 196 498 perfiles de suelo (las propiedades químicas y físicas del suelo, así como su clasificación: FAO, WRB y USDA) procedentes de 173 países, obteniendo aproximadamente un total de 832 mil capas del suelo u horizontes. Los datos obtenidos fueron recopilados de diferentes proveedores de datos (Batjes et al., 2017, 2020).

7. USO DE SUELO, COBERTURA VEGETAL, ECORREGIONES, ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS E INCENDIOS

7.1 CCI-LC (<http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/>). Cuenta con mapas de cobertura de suelo con una resolución espacial de 300 m, con una temporalidad que va de 1992 hasta 2015 (Defourny et al., 2012; Bontemps et al., 2013, 2015; Li et al., 2016, 2018).

7.2 CLUMondo (<https://github.com/VUEG/CLUMondo>). Está basado en la aproximación del sistema terrestre, que son sistemas socioecológicos que reflejan el uso de suelo en unidades espaciales en términos de la composición de la cobertura de suelo, configuración espacial y manejo de actividades empleadas. En contraste a las clasificaciones de cobertura de suelo, el papel de la intensidad del uso de suelo y los sistemas pecuarios son explícitos (van Vliet & Verburg, 2017).

7.3 Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (México) (http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/info_shape.htm). Incluye mapas en formato vector de las áreas naturales protegidas hasta julio 2019, zonificación primaria hasta julio 2019, regiones CONANP hasta mayo 2017, y áreas destinadas voluntariamente a la conservación para México (CONANP, 2020).

7.4 Esfuerzos sociales de Conservación (no certificados) (https://drive.google.com/drive/folders/1EuY_Yo8v7t8AYouIgc4vqLNqXOaLErmp?usp=sharing). Conjunto de bases de datos que incluyen: ordenamientos comunitarios territoriales y reservas privadas para el territorio mexicano (Bezaury-Creel et al., 2012).

7.5 Forest Observation System (FOS) (<https://www.forest-observation-system.net/>). Iniciativa internacional que tiene como objetivo establecer una base de datos de biomasa forestal *in situ* a escala casi global (excepto la Antártida) (Schepaschenko et al., 2019).

7.6 Global 1-degree Maps of Forest Area, Carbon Stocks, and Biomass, 1950-2010 (https://daac.ornl.gov/VEGETATION/guides/Global_Biomass_1950-2010.html). Contiene información sobre el área forestal a nivel mundial, reservorios de carbono y biomasa forestal con una resolución de 1° y una temporalidad de 1950 a 2010 (Hengeveld et al., 2015).

7.7 Global Fire Emissions Database (GFED) v4 (<https://www.globalfiredata.org/>). Incluye información relacionada con incendios y emisiones de carbono, gases traza y aerosoles (1997-presente), con una escala global y una resolución de 0.25°. Los datos se obtuvieron a partir de la combinación de información satelital sobre la actividad del fuego y la productividad de la vegetación para estimar el área quemada por mes y las emisiones de los incendios (Randerson et al., 2018).

7.8 Global Land Analysis & Discovery (<https://glad.umd.edu/>). Es un laboratorio del Departamento de Ciencias Geográficas de la Universidad de Maryland. Dentro de los datos que se encuentran disponibles se hallan: **a) Global 2010 Tree Cover (30 m)** (<https://glad.umd.edu/dataset/global-2010-tree-cover-30-m>) que incluye mapas que representan la extensión, pérdida y ganancia de la cobertura arbórea para el periodo 2000 a 2012. Los datos están disponibles a escala casi global (80° N a 60° S), con una resolución espacial de 30 m (Hansen et al., 2013); **b) Global land change from 1982 to 2016** (<https://glad.umd.edu/dataset/long-term-global-land-change>) cuenta con mapas que presentan cambios totales en la cobertura vegetal, suelo sin vegetación y cambio de uso de suelo para el periodo 1982-2016. Los datos se obtuvieron a partir

de observaciones satelitales diarias a partir del Radiómetro Avanzado de muy Alta Resolución (AVHRR por sus siglas en inglés) y están disponibles a escala global, con una resolución de 0.05° (Song et al., 2018).

7.9 Freshwater Ecoregions of the World (<https://www.feow.org/>). Incluye una nueva regionalización de la biodiversidad de cuerpos de agua dulce, representada en un mapa. Se basa en las distribuciones y composición de especies de agua dulce (peces y en algunos casos se incluyen invertebrados y peces de agua salobre) e incorpora, además, los principales patrones ecológicos y biogeográficos (Abell et al., 2008).

7.10 Harmonized Global Land Use for Years 1500-2100, v1 (https://daac.ornl.gov/VEGETATION/guides/Land_Use_Harmonization_V1.html). Incluye información que representa el uso de suelo y cobertura vegetal para el periodo 1500-2100 a escala global y con una resolución espacial de 0.5°. Los datos de cobertura de suelo para los años 1500-2005 se basan en HYDE 3.1 y las proyecciones a futuro para el periodo 2006-2100 se basan en cuatro escenarios del Modelo de Evaluación Integrada (IAM) (Chini, 2014).

7.11 Global Land Cover Facility (GLCF) (<https://geog.umd.edu/feature/global-land-cover-facility-%28glcf%29>). Es un proyecto de investigación desarrollado por el Departamento de Ciencias Geográficas de la Universidad de Maryland. Dentro de la información que se puede encontrar son mapas históricos de la cubierta forestal y de cambios de la cubierta forestal a nivel global y local (Kim et al., 2014; Sexton et al., 2013, 2015; Song et al., 2015).

7.12 Temporally inter-comparable maps of terrestrial wilderness and the Last of the Wild (<https://datadryad.org/stash/dataset/doi:10.5061/dryad.124fp>). Es una serie de mapas actualizados de las áreas silvestres terrestres a nivel mundial que son esenciales para monitorear los cambios en su extensión desde 1993 al 2009 (Allan et al., 2017).

7.13 Terrestrial Ecoregions of the World (<https://www.worldwildlife.org/publications/terrestrial-ecoregions-of-the-world>). Incluye una regionalización biogeográfica de la biodiversidad terrestre. Las unidades biogeográficas son ecorregiones que reflejan la distribución de una amplia gama de fauna y flora; existen 867 unidades clasificadas en 14 biomas diferentes (Olson et al., 2001).

7.14 SILVIS Lab, Spatial Analysis for Conservation and Sustainability (<http://silvis.forest.wisc.edu/>). Contiene información sobre

el uso de suelo y el efecto que este tiene en la conservación de la biodiversidad (particularmente en aves). Dentro de la información disponible se encuentra: **a) Wildland-Urban interface (WUI) Change 1990-2010** que es una serie de mapas de Estados Unidos que ilustran la ubicación de WUI en 1990, 2000 y 2010 para apoyar la consulta sobre el efecto del crecimiento poblacional en el ambiente; cuenta con dos tipos de WUIs, las primeras son las WUI de entremezcla, que son áreas en las que las viviendas y la vegetación se unen, y las segundas son las WUI de interconexión, las cuales son áreas en las que las viviendas se localizan en la vecindad de vegetación silvestre (Stewart et al., 2007; Radeloff et al., 2005, 2018); **b) Block level housing density change 1990-2010** mapas sobre el crecimiento en la densidad de viviendas en Estados Unidos entre 1990 y 2010; **c) Dynamic Habitat Indices (DHI)** contiene información sobre los índices de hábitat a nivel mundial con una resolución de 1 km calculados a partir de la información de vegetación extraída de MODIS con una temporalidad que va del 2003 hasta el 2014 (Hobi et al., 2017; Radeloff et al., 2019); **d) DHIs Clusters** son una serie de datos en los que se agrupan el DHI acumulado anual, el mínimo y la variación de la fracción de radiación fotosintéticamente activa (fPAR por sus siglas en inglés), y la latitud (Coops et al., 2018); **e) Global snow and subnivium trends** datos sobre los patrones globales de la duración del suelo cubierto de nieve y la duración del suelo congelado sin nieve con diferentes resoluciones y temporalidades (Zhu et al., 2017, 2019); **f) Carpathians historical land use** serie de datos históricos sobre el uso de suelo para la Región Cárpatos en Europa oriental (Munteanu et al., 2015; Kaim et al., 2016); **g) Impervious/tree cover change around Chicago** información de la dinámica espacio-temporal de algunos accipitridos en Chicago, Estados Unidos (McCabe et al., 2018); **h) Projections of future U.S. land cover in 2050 (NSF)** modelos de cambio de uso de suelo para Estados Unidos al 2050 (Radeloff et al., 2012; Lawler et al., 2014); **i) Climate averages and extremes data** tres escenarios climáticos para Estados Unidos de 1980-2014, 1949-2010 y 1950-2100; **j) Habitat heterogeneity texture metrics** datos de textura y verdor para Estados Unidos y la mitad de México; **k) Land-cover change maps of the Caucasus** mapas de la cobertura de suelo y cambios de uso de suelo para el Cáucaso.

7.15 World Database Protected Areas (<https://www.iucn.org/theme/protected-areas/our-work/world-database-protected-areas>). Incluye las áreas protegidas terrestres y marinas a nivel mundial. Se trata de un proyecto conjunto entre el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza manejado por el UNEP Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC) (IUCN, 2020).

8. IMPACTO ANTROPOGÉNICO

8.1 Cumulative Human Impacts to California Current Marine Ecosystems (<https://knb.ecoinformatics.org/view/doi:10.5063/F11Z42N8>).

Incluye un mapa que representa los impactos acumulativos para 19 ecosistemas marinos presentes en la corriente de California utilizando datos de 25 actividades humanas (dividido en cuatro conjuntos: cambio climático, fuentes de estrés de origen terrestre, tipo de pesca y otras actividades comerciales relacionadas con el océano) (Halpern et al., 2009).

8.2 Global Administrative Areas (GADM) (<https://gadm.org/index.html>). Incluye mapas y datos espaciales para todos los países y sus subdivisiones administrativas (GADM, 2020).

8.3 Global Map of Human Impacts to Marine Ecosystems (<https://www.nceas.ucsb.edu/globalmarine>). Contiene información sobre el impacto humano en los océanos para 2008 (18 variables) y 2013 (19 variables). Estas incluyen información sobre pesquerías, componentes inorgánicos, contaminación oceánica, fertilizantes, actividad mercantes (Halpern et al., 2008, 2015).

8.4 Global Road Maps (<https://www.global-roadmap.org/global-road-maps/>). Serie de mapas para la priorización en la construcción de carreteras a partir de una zonificación que minimice el impacto en el ambiente y al mismo tiempo beneficiar el desarrollo humano. Muestran las áreas en las que se debería de evitar la construcción de carreteras, así como también áreas en las que la construcción de carreteras podrían promover el desarrollo agrícola con costos ambientales moderados y áreas en donde la construcción de carreteras beneficiaría la agricultura, aunque con un gran impacto en el ambiente (Laurance & Balmford, 2013; Laurance et al., 2014).

8.5 Global Terrestrial Human Footprint maps for 1993 and 2009 (<https://datadryad.org/stash/dataset/doi:10.5061/dryad.052q5>). Incluye ocho variables (entornos construidos, densidad de población, infraestructura eléctrica, tierras de cultivo, tierras de pastoreo, carreteras, ferrocarriles y vías navegables) que miden las presiones humanas directas e indirectas sobre el ambiente. Los datos están disponibles para los años 1993 y 2009, con una escala global y una resolución temporal de 1 km² (Venter et al., 2016a, b).

8.6 Global Urban Sprawling Map (<https://urbanclimate.tse.ens.titech.ac.jp/2018/10/15/urban-sprawling-map/>). Incluye un modelo que proyecta el crecimiento urbano a escala global para el periodo 2020-2050, con una resolución aproximada de 1 km². Se basa en el modelo de crecimiento urbano SLEUTH y la base

de datos de la distribución poblacional de LandScan y simula el crecimiento urbano que abarcan las regiones urbanas (Zhou et al., 2019).

8.7 Gridded global datasets for Gross Domestic Product and Human Development Index over 1990-2015 (<https://datadryad.org/stash/dataset/doi:10.5061/dryad.dkijo>). Datos anuales del Producto Interno Bruto (PIB per cápita y PIB total) y el Índice de Desarrollo Humano (IDH). Los datos se encuentran disponibles para el periodo de 1990-2015 a escala global y con una resolución de 30" (Kummu et al., 2020).

8.8 Gridded Population of the World (GPW) v4 (<https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/gpw-v4/sets/browse>) Esta colección modela la distribución de la población humana a escala global y con una resolución espacial de 30". Este conjunto de datos proviene de los resultados obtenidos a partir de los censos poblacionales y de vivienda de 2010 (2005 y 2014); estos datos se fueron utilizados para producir estimaciones poblacionales para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 (CIESIN, 2018a). Dentro de esta colección se encuentran disponibles los siguientes datos: **a) Administrative Unit Center Points with Population Estimates, v4.11** datos sobre estimaciones y densidades poblacionales para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020, además, se incluyen características demográficas (edad y sexo) para el año 2010, por unidad administrativa (CIESIN, 2018b); **b) Basic Demographic Characteristics, V4.11 (2010)** incluye estimaciones de población humana por edad y sexo, como recuentos (número de personas por pixel) y densidades (número de personas por km²), basadas en los registros de censos nacionales y registros de población para el año 2010, con una resolución de 30", 2.5', 15' y 30' y de 1° (CIESIN, 2018c); **c) Data Quality Indicators, v4.11 (2010)** provee el contexto para las coberturas de conteo y densidad de población, debido a que contiene información espacial específica directamente relacionada con las causas de la distribución de la población humana (CIESIN, 2018d); **d) Population Count, v4.1 (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)** contiene información sobre estimaciones de población humana (número de personas por pixel), basadas en los registros de censos nacionales y registros de población para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 (CIESIN, 2018e); **e) Land and Water Area, v4.11 (2010)** son dos mapas que representan la superficie de tierra (área terrestre, excluyendo hielo y cuerpos de agua permanentes) y agua (incluyendo hielo y cuerpos de agua permanentes) en km² por pixel (CIESIN, 2018f); **f) National Identifier Grid, v 4.11 (2010)** es un mapa de estados-naciones para su uso en la agregación de datos de población. Este conjunto de datos se produjo a partir de registros de censos nacionales (CIESIN, 2018g); **g) UN WPP - Adjusted Population Count, v 4.11 (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)** datos sobre estimaciones de población humana (número de

personas por pixel) de acuerdo con los conteos realizados por los censos nacionales y los registros de población con respecto a la distribución relativa espacial pero ajustada, para que coincida con la revisión de 2015 de los totales de las Naciones Unidas para las Perspectivas de Población Mundial para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 (CIESIN, 2018h); **h) UN WPP - Adjusted Population Density, v 4.11 (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)** incluye estimaciones de densidad poblacional humana (número de personas por km²) basados en conteos realizados por los censos poblacionales y registros poblacionales con respecto a la distribución espacial relativa pero ajustada para que coincida con la revisión de 2015 de los totales de las Naciones Unidas para las Perspectivas de Población Mundial para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 (CIESIN, 2018i); **i) Population Density, v4.11 (2000, 2005, 2010, 2015, 2020)** incluye estimaciones de la densidad de población humana (número de personas por km²) basados en conteos realizados por los censos poblacionales y registros poblacionales para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 (CIESIN, 2018j).

8.9 Mapa de Afectación Humana (2009) (https://drive.google.com/drive/folders/1EuY_Yo8v7t8AYouIgc4vqINqXOaLErmp?usp=sharing). Archivo en formato raster que integra una representación cartográfica de la afectación humana sobre el territorio terrestre mexicano. Incluye metadatos y dos proyecciones (Bezaury-Creel & Ochoa-Ochoa, 2009).

8.10 PEST-CHEMGRIDS (<https://www.nature.com/articles/s41597-019-0169-4#Abs1>). Contiene datos de los 20 ingredientes activos de pesticidas más utilizados en seis cultivos y cuatro conjuntos de cultivos. Los datos están disponibles a una escala global y una resolución espacial de 5' proyectada para los años 2015-2025. Los datos se derivaron de las bases de datos de plaguicidas USGS/PNSP y FAOSTAT, junto con otros inventarios públicos (incluidos datos de propiedades físicas del suelo, variables hidroclimáticas, cantidades agrícolas e índices socioeconómicos) (Maggi et al., 2019).

8.11 Recent pace of change in human impact on the world's ocean (<https://knb.ecoinformatics.org/view/doi:10.5063/F12B8WBS>). Incluye el cálculo y mapas del impacto acumulativo de 14 factores estresantes relacionados con la actividad humana (incluyendo el cambio climático, la pesca, las presiones terrestres y otras actividades comerciales) y su impacto en 21 ecosistemas marinos para el periodo 2003-2013. Los datos están disponibles a escala global y con una resolución espacial de 1 km² (Halpern et al., 2019).

9. MULTIPLES

9.1 Bio-ORACLE (<http://www.bio-oracle.org/>). Contiene información de 23 variables geofísicas, bióticas y climáticas que incluyen temperatura, salinidad, nutrientes, clorofila, capa de hielo, velocidad de la corriente, fitoplancton, productividad primaria, hierro y penetración de la luz. Las variables presentan una resolución de 5' con una escala a nivel global. Tiene capas marinas a nivel superficial, en diferentes capas bentónicas, condiciones actuales y/o en escenarios futuros. Presenta un paquete llamado "sdmpredictors" con funciones en el entorno de R software para facilitar la extracción y gestión de las variables (Tyberghein et al., 2012; Assis et al., 2017).

9.2 CGIAR Consortium of Spatial Information (CGIAR-CSI). Incluye información de: **a) Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Climate Database v2** (<https://cgiarcsi.community/2019/01/24/global-aridity-index-and-potential-evapotranspiration-climate-database-v2/>) Variables climáticas relacionadas con la evapotranspiración y la aridez (1970-2000). Está basado en implementación de la ecuación de evapotranspiración de referencia de Penman-Montieth, a una escala casi global (excluyendo la Antártida) y una resolución espacial de 30" (Zomer et al., 2006, 2008; Trabucco & Zomer, 2019a); **b) Global High-Resolution Soil-Water Balance** (<https://cgiarcsi.community/data/global-high-resolution-soil-water-balance/>), corresponde a datos hidrológicos que describen la evapotranspiración y el déficit hídrico del suelo, con una escala global y una resolución espacial de 30 segundos de arco (~ 1 km). Los datos se derivaron de WorldClim y Global-PET (Trabucco & Zomer, 2019b).

9.3 Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Colombia) (<https://geoportail.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-igac>). Contiene una serie de mapas oficiales de Colombia, además de elaborar el catastro nacional de la propiedad inmueble, el inventario de las características del suelo, entre otros. El conjunto de datos se encuentra disponibles con las siguientes escalas: 1:500 000, 1:100 000 y 1:25 000 (IGAC, 2020).

9.4 Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México) (<https://www.inegi.org.mx/>). Incluye información geográfica y estadística a nivel estatal y nacional. Existe información cartográfica sobre topografía, hidrografía, hidrología, geología, fisiografía, climatología, edafología, vías de comunicación, uso de suelo y vegetación, uso potencial de suelo y humedales potenciales. La información cartográfica puede encontrarse en las escalas 1:1 000 000, 1:250 000, 1:50 000 y 1:20 000 (INEGI, 2020).

9.5 Dynamic Ecological Information Management System-Site and dataset registry (DEIMS-SDR) (<https://deims.org/>). Incluye el registro de sitios de investigación y monitoreo ambiental que permite descubrir sitios de investigación de ecosistemas a largo plazo en todo el mundo, gracias a los datos obtenidos *in situ* y a las personas o redes asociados con ellos. Este sistema proporciona una gran cantidad de información (incluyendo la ubicación de cada sitio, ecosistemas, temas de investigación, etc.) (Wohner et al., 2019).

9.6 EarthEnv (<http://www.earthenv.org/>). Es un proyecto desarrollado por expertos en biodiversidad y en teledetección para la obtención de capas casi globales con una resolución de 1 km² para realizar el monitoreo y modelación de la biodiversidad, ecosistemas y clima. Dentro de este se encuentra: **a) Near-global environmental information for freshwater ecosystems in 1 km resolution** (<http://www.earthenv.org/streams>), el cual incluye variables ambientales (entre ellas topográficas: elevación y pendiente) relacionadas a cuerpos de agua dulce, con una escala casi global (60° N a 5° S y 145° O a 180° E) y una resolución espacial de 1 km (Domisch et al., 2015); **b) Global 1, 5, 10, 100 km Topography** (<http://www.earthenv.org/topography>) que contiene información a nivel global de variables con diferentes resoluciones (1, 5, 10, 50 y 100 km) como elevación, pendiente, aspecto, este, norte, rugosidad, índice de rugosidad del terreno, índice de posición topográfica, medida de rugosidad del vector, curvatura del perfil/tangencial, derivada parcial de primer/segundo orden y 10 clases de formas geomorfológicas (Amatulli et al., 2018); **c) EarthEnv-DEM90 digital elevation model** (<http://www.earthenv.org/DEM>) es un modelo digital de elevación con resolución de 90 m (Robinson et al., 2014); **d) Global 1 km- Cloud Cover** (<http://www.earthenv.org/cloud>) con variables que describen la dinámica mensual de nubes durante un periodo de 15 años (2000-2014) a partir de dos observaciones diarias, en una escala casi global y una resolución espacial de 1 km² (Wilson & Jetz, 2016); **e) Global Habitat Heterogeneity** (<http://www.earthenv.org/texture>), incluye 14 variables que cuantifican la heterogeneidad del hábitat: seis de primer orden, las cuales describen la distribución de la frecuencia de los valores de Imágenes del Índice de Vegetación Mejorada (EVI por sus siglas en inglés) y cuantifican la variabilidad en EVI dentro de un área; y ocho de segundo orden, las cuales consisten en estadísticos que describen las probabilidades de ocurrencia de diferentes combinaciones de EVI entre pares de píxeles dentro de un área. Este conjunto de datos se basa en las características texturales de EVI obtenidas de MODIS. Estos datos se encuentran disponibles a escala global y una resolución espacial de 30", 2.5 y 12.5 minutos de arco (Tuanmu & Jetz, 2015); **f) Global 1 km Consensus Land Cover** (<http://www.earthenv.org/landcover>), la cual incluye

dos versiones que contienen 12 capas de datos que describen la cobertura del suelo. Estos datos se derivaron de la teledetección y se encuentran disponibles a una escala casi global (excepto la Antártida), con una resolución espacial de 1 km² (Tuanmu & Jetz, 2014).

9.7 Earth Explorer (EE) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Interfaz desarrollada por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) que permite al usuario buscar y/o descubrir inventarios de información derivada de satélites, aeronaves y otros sensores remotos (USGS, 2020).

9.8 ENVIREM v1.0 (<https://envirem.github.io/>). Conjunto de datos con información climática y topográfica. La información climática corresponde a datos para el presente (1960-1990) y reconstrucciones paleoclimáticas (Holoceno medio y UMG), se tienen varias regiones geográficas que cubren (excepto la Antártida) y una resolución de 30", 2.5', 5' y 10' (Title & Bemmels, 2018).

9.9 MARSPEC: Ocean Climate database (<http://www.marspec.org/>). Incluye 17 variables bioclimáticas a nivel marino (derivadas de temperatura, concentración de nutrientes y topografía), con una escala global y una resolución espacial de 30", 2.5', 5' y 10'. Estas capas se derivaron del World Ocean Atlas de NOAA y de las imágenes satelitales MODIS. Además, se incluyen proyecciones para el pasado (Holoceno medio y UMG), con una escala global y una resolución espacial de 5' (Sbrocco & Barber, 2013; Sbrocco, 2014).

9.10 Portal de Geoinformación 2020. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB-CONABIO) (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>). Incluye información sobre grupos biológicos (aves, mamíferos, anfibios, reptiles, peces, invertebrados, hongos, plantas, protoctistas y bacterias), información de biodiversidad, topografía, hidrología, edafología, geología, climatología, vegetación y uso de suelo, división política, población, infraestructura, regionalización, productos satelitales, riesgo y producción (CONABIO, 2020).

9.11 World Ocean Atlas 2018 (WOA18) (<https://www.nodc.noaa.gov/OC5/woa18/>). Incluye información de 102 profundidades estándar para el océano, con una escala global y una resolución de 0.25° y 1° sobre temperatura (Locarnini et al., 2018), salinidad (Zweng et al., 2018), distribución climatológica de oxígeno disuelto, utilización aparente de oxígeno y saturación de oxígeno disuelto (García et al., 2018a), distribución de nutrientes (fosfato, nitrato, nitrato+nitrato y silicato) (García et al., 2018b).

LITERATURA CITADA

- Abatzoglou, J.T., S.Z. Dobrowski, S.A. Parks & K.C. Hegewisch. 2018. Terraclimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. *Scientific Data* 5:170191.
- Abell, R., M.L. Thieme, C. Revenga, M. Bryer, M. Kottelat, N. Bogutskaya, B. Coad, N. Mandrakk, S. Contreras, W. Bussing, M.L.J. Stiassny, P. Skelton, G.R. Allen, P. Unmack, A. Naseka, R. Ng, N. Sindorf, J. Robertson, E. Armijo, J.V. Higgins, T.J. Heibel, E. Wikramanayake, D. Olson, H.L. López, R.E. Reis, J.G. Lundberg, M.H. Sabaj & P. Petry. 2008. Freshwater Ecoregions of the World: A New Map of Biogeographic Units for Freshwater Biodiversity Conservation. *BioScience* 58:403-414.
- Allan, J.R., O. Venter & E.M. Watson. 2017. Temporally inter-comparable maps of terrestrial wilderness and the Last of the Wild. *Scientific Data* 4:170187.
- Allen, G.H. & T.M. Pavelsky. 2018. Global extent of rivers and streams. *Science* 361:585-588.
- Amante, C. & B.W. Eakins. 2009. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. National Geophysical Data Center, NOAA.
- Amatulli, G., S. Domisch, M.N. Tuanmu, B. Parmentier, A. Ranipeta, J. Malczyk & W. Jetz. 2018. A suite of global, cross-scale topographic variables for environmental and biodiversity modeling. *Scientific Data* 5:180040.
- Amatulli, G., D. McInerney, T. Sethi, P. Strobl & S. Domisch. 2019. Data Descriptor: Geomorpho90m - Global high-resolution geomorphometry layers: empirical evaluation and accuracy assessment. *PeerJ Preprints* 7:e27595v1.
- Assis, J., L. Tyberghein, S. Bosh, H. Verbruggen, E.A. Serrão & O. de Clerck, (2017). Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling. *Global Ecology and Biogeography* 27:277-284.
- Batjes, N.H., E. Ribeiro & A.J.M. van Oostrum. 2020. Standardised soil profile data to support global mapping and modelling (WoSIS snapshot 2019). *Earth System Science Data* 12:299-320.
- Batjes, N.H., E. Ribeiro, A. van Oostrum, J. Leenaars, T. Hengl & J. Mendes de Jesus. 2017. WoSIS: providing standardised soil profile data for the world. *Earth System Science Data* 9:1-14.
- Beck, H.E., N.E. Zimmermann, T.R. McVicar, N. Vergopolan, A. Berg & E.F. Wood. 2018. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1 km resolution. *Scientific Data* 5:180214.
- Bezaury-Creel, J.E. & L.M. Ochoa-Ochoa. 2009. Base de Datos Geográfica de la Afectación Humana sobre el Territorio Mexicano - Versión 1.0, 07/2009. 2 capas formato ráster + 1 capa Goggle Earth KMZ + 1 Archivo de Metadatos Word.
- Bezaury-Creel J.E., L.M. Ochoa-Ochoa & J.F. Torres-Origel. 2012. Base de Datos Geográfica de las Reservas de Conservación Privadas y Comunitarias en México - Versión 2.0 The Nature Conservancy. 2 Capas ArcGIS 9.2 + 1 Capa Google Earth KMZ + 1 Archivo de Metadatos en texto.
- Bittig H.C., T. Steinhoff, H. Claustre, B. Fiedler, N.L. Williams, R. Sauzède, A. Körtzinger & J.P. Gattuso, 2018. An Alternative to Static Climatologies: Robust Estimation of Open Ocean CO₂ Variables and Nutrient Concentrations From T, S, and O₂ Data Using Bayesian Neural Networks. *Frontiers in Marine Science* 5:328.
- Bontemps, S., M. Boettcher, C. Brockman, G. Kirches, C. Lamarche, J. Radoux, M. Santoro, E. Van Bogaert, U. Wegmüller, M. Herold, F. Ramoino, O. Arino & P. Defourny. 2015. Multi-year global land cover mapping at 300 m and characterization for climate modelling: achievements of the land cover component of the ESA climate change initiative. Pp. 323-328. En *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*. Berlin, Alemania.
- Bontemps, S., P. Defourny, J. Radoux, E. Van Bogaert, C. Lamarche, F. Achard, P. Mayaux, M. Boettcher, C. Brockmann, G. Kirches, M. Zülkhe, V. Kalogirou, F.M. Seifert & O. Arino. 2013. Consistent global land cover maps for climate modelling communities: current achievements of the ESA' Land Cover CCI. Pp. 9-13. En *Proceedings of the ESA Living Planet Symposium*, Edimburgh.
- Brown, J.L., D.J. Hill, A.M. Dolan, A.C. Carnaval & A.M. Haywood. 2018. PaleoClim, high spatial resolution paleoclimate surfaces for global land areas. *Scientific Data* 5:18025.
- Chini, L.P., G.C. Hurtt & S. Frolking. 2014. Harmonized Global Land Use for Years 1500-2100, V1. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee,

- USA. <http://dx.doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1248> [Consultado en Abril 2020].
- CIESIN (Center for International Earth Science Information Network-Columbia University). 2018a. Documentation for the Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4), Revision 11 Data Sets. Palisades NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/H45Q4T5F> [Consultado en Abril 2020].
- CIESIN (Center for International Earth Science Information Network-Columbia University). 2018b. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Administrative Unit Center Points with Population Estimates, Revision 11. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/H4BC3WMT> [Consultado en Abril 2020].
- CIESIN (Center for International Earth Science Information Network-Columbia University). 2018c. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Basic Demographic Characteristics, Revision 11. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/H46M34XX> [Consultado en Abril 2020].
- CIESIN (Center for International Earth Science Information Network-Columbia University). 2018d. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Data Quality Indicators, Revision 11. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/H42Z13KG> [Consultado en Abril 2020].
- CIESIN (Center for International Earth Science Information Network-Columbia University). 2018e. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Population Count, Revision 11. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/H4JW8BX5> [Consultado en Abril 2020].
- CIESIN (Center for International Earth Science Information Network-Columbia University). 2018f. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Land and Water Area, Revision 11. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/H4Z60M4Z> [Consultado en Abril 2020].
- CIESIN (Center for International Earth Science Information Network-Columbia University). 2018g. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): National Identifier Grid, Revision 11. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/H4TD9VDP> [Consultado en Abril 2020].
- CIESIN (Center for International Earth Science Information Network-Columbia University). 2018h. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Population Count Adjusted to Match 2015 Revision of UN WPP Country Totals, Revision 11. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/H4PN93PB> [Consultado en Abril 2020].
- CIESIN (Center for International Earth Science Information Network-Columbia University). 2018i. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Population Density Adjusted to Match 2015 Revision UN WPP Country Totals, Revision 11. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/H4F47M65> [Consultado en Abril 2020].
- CIESIN (Center for International Earth Science Information Network-Columbia University). 2018j. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Population Density, Revision 11. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/H49C6VHW> [Consultado en Abril 2020].
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad). 2020. Portal de Geoinformación 2020. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> [Consultada en Abril 2020].
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2020. http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/datos_anp.htm [Consultado en Abril 2020].
- Coops, N.C., S.P. Kearney, D.K. Bolton & V.C. Radeloff. 2018. Remotely-sensed productivity clusters capture global biodiversity patterns. *Scientific Reports* 8:16261.
- Cruz-Cárdenas, G., L. López-Mata, C.A. Ortiz-Solorio, J.L. Villaseñor, E. Ortiz, J.T. Silva & F. Estrada-Dodoy. 2014. Interpolation of Mexican soil properties at a scale of 1:1,000,000. *Geoderma* 213:29-35.
- Cuervo-Robayo, A.P. 2019, Marzo 22. En Facebook. <https://www.facebook.com/groups/245646162181621/permalink/2187339168012301/> [Consultado en Abril 2020].
- Cuervo-Robayo, A.P., O. Téllez-Valdés, M.A. Gómez-Albores, C.S. Venegas-Barrera, J. Manjarrez & E. Martínez-Meyer. 2014. An

- update of high-resolution monthly climate surfaces for Mexico. *International Journal of Climatology* 34:2427-2437.
- Danielson, J.J. & D.B. Gesch. 2011. Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010). U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1073.
- Defourny, P., S. Bontemps, C. Brockman, M. Herold, G. Kirches, C. Lamarche, V. Kalogirou, F.M. Seifert & O. Arino. 2012. Land cover CCI. Product User Guide Version 2.
- Domisch, S., G. Amatulli & W. Jetz. 2015. Near-global freshwater-specific environmental variables for biodiversity analyses in 1 km resolution. *Scientific Data* 2:150073.
- Emetere, M.E. & E.T. Akinlabi. 2020. *Introduction to Environmental Data Analysis and Modeling*. Springer, Cham, Suiza.
- EMODnet Bathymetry Consortium (2018). EMODnet Digital Bathymetry (DTM 2018). EMODnet Bathymetry Consortium. <https://doi.org/10.12770/18ff0d48-b203-4a65-94a9-5fd8boec35f6> [Consultado en Abril 2020].
- Fick, S.E. & R.J. Hijmans. 2017. WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37:4302-4315.
- Fore, A.G., S.H. Yueh, W. Tang, B.W. Stiles & A.K. Hayashi. 2016. Combined Active/Passive Retrievals of Ocean Vector Wind and Sea Surface Salinity With SMAP. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 54:7396-7404.
- Funk, C., P. Peterson, M. Landsfield, D. Pedreros, J. Vedin, S. Shukla, G. Husak, J. Rowald, L. Harrison, A. Hoell & J. Michaelsen. 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations-a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data* 2:150066.
- GADM (Global Administrative Areas). 2020. Download. Global Administrative Areas GADM version 3.6 <http://gadm.org/country> [Consultado en Abril 2020].
- Garcia, H.E., K. Weathers, C.R. Paver, I. Smolyar, T.P. Boyer, R.A. Locarnini, M.M. Zweng, A.V. Mishonov, O.K. Baranova, D. Seidov & J.R. Reagan. 2018a. World Ocean Atlas 2018, Volume 3: Dissolved Oxygen, Apparent Oxygen Utilization, and Oxygen Saturation. NOAA Atlas NESDIS 83, Silver Spring, Maryland, USA.
- Garcia, H.E., K. Weathers, C.R. Paver, I. Smolyar, T.P. Boyer, R.A. Locarnini, M.M. Zweng, A.V. Mishonov, O.K. Baranova, D. Seidov & J.R. Reagan. 2018b. World Ocean Atlas 2018, Volume 4: Dissolved Inorganic Nutrients (phosphate, nitrate and nitrate+nitrite, silicate). NOAA Atlas NESDIS 84, Silver Spring, Maryland, USA.
- GEBCO Bathymetric Compilation Group 2019. 2019. The GEBCO_2019 Grid - a continuous terrain model of the global oceans and land. British Oceanographic Data Centre, National Oceanography Centre, NERC, UK.
- Hadley Centre for Climate Prediction and Research. 2006. Met Office HadISST1.1-Globalsea-Ice coverage and Sea Surface Temperature (1870-2015), NCAS British Atmospheric Data Centre. <http://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/facafa2ae494597166217a9121a62d3c> [Consultado en Abril 2020].
- Halpern, B.S., M. Frazier, J. Afflerbach, J.S. Lowndes, F. Micheli, C. O'Hara, C. Scarborough & K.A. Selkoe. 2019. Recent pace of change in human impact on the world's ocean: Cumulative impacts. *Knowledge Network for Biocomplexity. Scientific Reports* 9:11609.
- Halpern, B.S., M. Frazier, J. Potapenko, K.S. Casey, K. Koenig, C. Longo, J.S. Lowndes, R.C. Rockwood, E.R. Selig, K.A. Selkoe & S. Walbridge. 2015. Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean. *Nature Communications* 6:7615.
- Halpern, B.S., C.V. Kappel, K.A. Selkoe, F. Michelli, C.M. Ebert, C. Kontgis, C.M. Crain, R.G. Martone, C. Shearer & S.J. Teck. 2009. Mapping cumulative human impacts to California Current marine ecosystems. *Conservation Letters* 2:138-148.
- Halpern, B.S., S. Walbridge, K.A. Selkoe, C.V. Kappel, F. Micheli, C. Agrosa, J.F. Bruno, K.S. Casey, C. Ebert, H.E. Fox, R. Fujita, D. Heinemann, H.S. Lenihan, E.M.P. Madin, M.T. Perry, E.R. Selig, M. Spalding, R. Steneck & R. Watson. 2008. A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. *Science* 319:948-952.
- Hamann, A., T. Wang, D.L. Spittlehouse & T.Q. Murdock. 2013. A comprehensive, high-resolution database of historical and projected climate surfaces for western North America. *Bulletin of the American Meteorological Society* 94:1307-1309.
- Hansen, M.C., P.V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S.A. Turbanova, A. Tyukavina, D. Thau, S.V. Stehman, S.J. Goetz, T.R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C.O. Justice & J.R.G.

- Townshend. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342:850-853.
- Hao, Z., A. AghaKouchak, N. Nakhjiri & A. Farahmand. 2014. Global Integrated Drought Monitoring and Prediction System. *Scientific Data* 1:140001.
- Harris, I.C. & P.D. Jones. 2019. CRU TS3.26: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) Version 3.26 of High-Resolution Gridded Data of Month-by-month Variation in Climate (Jan. 1901-Dec. 2017). Centre for Environmental Data Analysis. <https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/7ad889f2cc1647efba7e6a356098e4f3> [Consultado en Abril 2020].
- Harris, I., P.D. Jones, T.J. Osborn & D.H. Lister. 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations-the CRU TS 3.10 Dataset. *International Journal of Climatology* 34:623-642.
- Hengeveld, G.M., K. Gunia, M. Didion, S. Zudin, A.P.P.M. Clercx & M.J. Schelhaas. 2015. Global 1-degree Maps of Forest Area, Carbon Stocks, and Biomass, 1950-2010. ORNLDAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. <http://dx.doi.org/10.3334/ORNLDAAAC/1296> [Consultado en Abril 2020].
- Hengl, T., J. Mendes de Jesus, G.B.M. Heuvelink, M. Ruiperez Gonzalez, M. Kilibarda, A. Blagotić, W. Shangguan, M.N. Wright, X. Geng, B. Bauer-Marschallinger, M.A. Guevara, R. Vargas, R.A. MacMillan, N.H. Batjes, J.G.B. Leenaars, E. Ribeiro, I. Wheeler, S. Mantel & B. Kempen. 2017. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS ONE* 12:e0169748.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones & A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25:1965-1978.
- Hobi, M.L., M. Dubinin, C.H. Graham, N.C. Coops, M.K. Clayton, A.M. Pidgeon & V.C. Radeloff. 2017. A comparison of Dynamic Habitat Indices derived from MODIS products as predictors of avian species richness. *Remote Sensing of Environment* 195:142-152.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2020. <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-cartografia-y-geografia> [Consultado en Abril 2020].
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). <https://www.inegi.org.mx/default.html> [Consultado en Abril 2020].
- IUCN (International Union of Conservation of Nature). 2020. World Database Protected Areas (<https://www.iucn.org/theme/protected-areas/our-work/world-database-protected-areas>). [Consultado en Abril 2020].
- Jarvis, A., H.I. Reuter, A. Nelson & E. Guevara. 2008. Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database. <http://srtm.csi.cgiar.org> [Consultado en Abril 2020].
- JPL. 2020. JPL SMAP Level 3 CAP Sea Surface Salinity Standard Mapped Image 8-Day Running Mean V4.3 Validated Dataset. Ver. 4.3. PO.DAAC, California, USA. <https://doi.org/10.5067/SMP43-3TPCS> [Consultado en Abril 2020].
- JPL MUR MEaSURES Project. 2015. GHRSSST Level 4 MUR Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis (v4.1). Ver. 4.1. PO.DAAC, California, USA. <https://doi.org/10.5067/GHGMR-4FJ04> [Consultado en Abril 2020].
- Kaim, D., J. Kozaka, N. Koleckaa, E. Ziólkowskaa, K. Ostafina, K. Ostapowicza, U. Gimmi, C. Munteanu & V.C. Radeloff. 2016. Broad scale forest cover reconstruction from historical topographic maps. *Applied Geography* 67:39-48.
- Karger, D.N., O. Conrad, J. Böhrner, T. Kawohl, H. Kreft, R.W. Soria-Auza, N.E. Zimmermann, H.P. Linder & M. Kessler. 2017. Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data* 4:170122.
- Kearney, M.R., P.I. Andrew & P.P. Warren. 2014. microclim: Global estimates of hourly microclimate based on long-term monthly climate averages. *Scientific Data* 1:140006.
- Kim, D.H., J.O. Sexton, P. Noojipady, C. Huang, A. Anand, S. Channan, M. Feng & J.R. Townshend. 2014. Global, Landsat-based forest-cover change from 1990 to 2000. *Remote Sensing of Environment* 155:178-193.
- Kriticos, D.J., B.L. Webber, A. Leriche, N. Ota, I. Macadam, J. Bathols & J.K. Scott. 2012. CliMond: global high-resolution historical and future scenario climate surfaces for bioclimatic modelling. *Methods in Ecology and Evolution* 3:53-64.
- Kummu, M., M. Taka & J.H.A. Guillaume. 2020. Data from: Gridded global datasets for Gross Domestic Product and Human Development Index over 1990-2015, v2, Dryad Dataset, <https://doi.org/10.5061/dryad.dk1j0> [Consultado en Abril 2020].

- Laurance, W.F. & A. Balmford. 2013. A global map for road building. *Nature* 495:308-309.
- Laurance, W.F., G.R. Clements, S. O'Connell, N.D. Mueller, M. Goosem, O. Venter, D.P. Edwards, B. Phalan, A. Balmford, R. Van Der Ree & I.B. Arrea. 2014. A global strategy for road building. *Nature* 513:229-232.
- Lawler, J., D. Lewis, E. Nelson, A.J. Plantinga, S. Polasky, J. Withey, D. Helmers, S. Martinuzzi & V.C. Radeloff. 2014. Projected land-use change impacts on ecosystem services in the U.S. *Proceedings of the National Academy of Science* 111:7492-7497.
- Lehner, B., K. Verdin & A. Jarvis. 2008. New global hydrography derived from spaceborne elevation data. *Eos, Transactions, American Geophysical Union* 89:93-94.
- Li, W., P. Ciais, N. MacBean, S. Peng, P. Defourny & S. Bontemps. 2016. Major forest changes and land cover transitions based on plant functional types derived from the ESA CCI Land Cover product. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 47:30-39.
- Li, W., N. MacBean, P. Ciais, P. Defourny, C. Lamarche, S. Bontemps, R.S. Houghton & S. Peng. 2018. Gross and net land cover changes in the main plant functional types derived from the annual ESA CCI land cover maps (1992-2015). *Earth System Science Data* 10:219-234.
- Lima-Ribeiro, M.S., S. Varela, J. González-Hernández, G. de Oliveira, J.A.F. Diniz-Filho & L.C. Terribile. 2015. *ecoClimate*: a database of climate data from multiple models for past, present, and future for Macroecologists and Biogeographers. *Biodiversity Informatics* 10:1-21.
- Lima-Ribeiro, M.S., S. Varela, J. González-Hernández, G. de Oliveira, J.A.F. Diniz-Filho, A.T. Peterson & L.C. Terribile. 2020. The *ecoClimate* Database. <http://ecoclimate.org>, [Consultado en Abril 2020].
- Locarnini, R.A., A.V. Mishonov, O.K. Baranova, T.P. Boyer, M.M. Zweng, H.E. Garcia, J.R. Reagan, D. Seidov, K. Weathers, C.R. Paver & I. Smolyar. 2018. *World Ocean Atlas 2018, Volume 1: Temperature*. NOAA Atlas NESDIS 81, Silver Spring, Maryland, USA.
- Lorenz, D.J., D. Nieto-Lugilde, J.L. Blois, M.C. Fitzpatrick & J.W. Williams. 2016a. Data from: Downscaled and debiased climate simulations for North America from 21,000 years ago to 2100 AD. *Scientific Data* 3:160048.
- Lorenz, D.J., D. Nieto-Lugilde, J.L. Blois, M.C. Fitzpatrick & J.W. Williams. 2016b. Data from: Downscaled and debiased climate simulations for North America from 21,000 years ago to 2100AD, v2, Dryad Dataset. <https://doi.org/10.5061/dryad.1597g> [Consultado en Abril 2020].
- Maggi, F., F.H.M. Tang, D. la Cecilia & A. McBratney. 2019. PEST-CHEMGRIDS, global gridded maps of the top 20 crop-specific pesticide application rates from 2015 to 2025. *Scientific Data* 6:170.
- McCabe, J.D., H. Yin, J. Cruz, V. Radeloff, A. Pidgeon, D.N. Bonter & B. Zuckerbeg. 2018. Prey abundance and urbanization influence the establishment of avian predators in a metropolitan landscape. *Proceedings of the Royal Society B* 285:20182120.
- Merchant, C.J., O. Embury, C.E. Bulgin, T. Block, G.K. Corlett, E. Fiedler, S.A. Good, J. Mittaz, N.A. Rayner, D. Berry, S. Eastwood, M. Taylor, Y. Tsushima, A. Waterfall, R. Wilson & C. Donlon. 2019a. Metadata record for: Satellite-based time-series of sea-surface temperature since 1981 for climate applications. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9939638.v2> [Consultado en Abril 2020].
- Merchant, C.J., O. Embury, C.E. Bulgin, T. Block, G.K. Corlett, E. Fiedler, S.A. Good, J. Mittaz, N.A. Rayner, D. Berry, S. Eastwood, M. Taylor, Y. Tsushima, A. Waterfall, R. Wilson & C. Donlon. 2019b. Satellite-based time-series of sea-surface temperature since 1981 for climate applications. *Scientific Data* 6:223.
- Munteanu, C., T. Kuemmerle, N.S. Keuler, D. Müller, P. Balázs, M. Dobosz, P. Griffiths, L. Halada, D. Kaim, G. Király, E. Konkoly-Gyuró, J. Kozak, J. Lieskovsky, K. Ostafin, K. Ostapowicz, O. Sandra & V.C. Radeloff. 2015. Legacies of 19th century land use shape contemporary forest cover. *Global Environmental Change* 34:83-94.
- NASA-GSFC-OBPG (National Aeronautics and Space Administration Goddard Space Flight Center, Ocean Biology Processing Group). 2014. Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) Ocean Color Data, NASA OB.DAAC, Greenbelt, MD, USA. http://doi.org/10.5067/ORBVIEWS-2/SEAWIFS_OC.2014.0 [Consultado en Abril 2020].
- Olson, D.M., E. Dinerstein, E.D. Wikramanayake, N.D. Burgess, G.V.N. Powell, E.C. Underwood, J.A. D'Amico, I. Itoua, H.E.

- Strand, J.C. Morrison, C.J. Loucks, T.F. Allnut, T.H. Ricketts, Y. Kura, J.F. Lamoreux, W.W. Wettengel, P. Hedao & K.R. Kassem. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. *Bioscience* 51:933-938.
- Pliscoff, P., F. Luebert, H.H. Hilger & A. Guisan. 2014. Effects of alternative sets of climatic predictors on species distribution models and associated estimates of extinction risk: A test with plants in an arid environment. *Ecological Modelling* 288:166-177.
- Radeloff, V.C., M. Dubinin, N.C. Coops, A.M. Allen, T.M. Brooks, M.K. Clayton, G.C. Costa, C.H. Graham, D.P. Helmers, A.R. Ives, D. Kolesov, A.M. Pidgeon, G. Rapacciuolo, E. Razenkova, N. Suttidate, B.E. Young, L. Zhu & M.H. Hobi. 2019. The Dynamic Habitat Indices (DHIs) from MODIS and global biodiversity. *Remote Sensing of Environment* 222:204-214.
- Radeloff, V.C., R.B. Hammer, S.I. Stewart, J.S. Fried, S.S. Holcomb & J.F. McKeefry. 2005. The Wildland-Urban Interface in the United States. *Ecological Applications* 15:799-805.
- Radeloff, V.C., D.P. Helmers, H.A. Kramer, M.H. Mockrin, P.M. Alexandre, A. Bar-Massada, V. Butsic, T.J. Hawbaker, S. Martinuzzi, A.D. Syphard & S.I. Stewart. 2018. Rapid growth of the U.S. Wildland Urban Interface raises wildfire risk. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115:3314-3319.
- Radeloff, V.C., E. Nelson, A.J. Plantinga, D.J. Lewis, D. Helmers, J.J. Lawler, J.C. Withey, F. Beaudry, S. Martinuzzi, V. Butsic, E. Lonsdorf, D. White & S. Polasky. 2012. Economic-based projections of future land use in the conterminous United States under alternative policy scenarios. *Ecological Applications* 22:1036-1049.
- Randerson, J.T., G.R. van der Werf, L. Giglio, G.J. Collatz & P.S. Kasibhatla. 2018. Global Fire Emissions Database, Version 4, (GFEDv4). ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA.
- Robinson, N., J. Regetz & R.P. Guralnick. 2014. EarthEnv-DEM90: A nearly-global, void-free, multi-scale smoothed, 90 m digital elevation model from fused ASTER and SRTM data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 87:57-67.
- Rodríguez, J.P., L. Brotons, J. Bustamante & J. Seoane. 2007. The application of predictive modelling of species distribution to biodiversity conservation. *Diversity and Distributions* 13:243-251.
- Sauzede R., H.C. Bittig, H. Claustre, O. Pasqueron de Fommervault, J.P. Gattuso, L. Legendre & K.S. Johnson. 2017. Estimates of Water-Column Nutrient Concentrations and Carbonate System Parameters in the Global Ocean: A novel Approach Based on Neural Networks. *Frontiers in Marine Science* 4:128.
- Sayre, R., S. Noble, S. Hamann, R. Smith, D. Wright, S. Breyer, K. Butler, K. Van Graafeiland, C. Frye, D. Karagulle, D. Hopkins, D. Stephens, K. Kelly, Z. Basher, D. Burton, J. Cress, K. Atkins, D.P. Van Sistine, B. Friesen, R. Alle, T. Allen, P. Aniello, I. Asaad, M.J. Costello, K. Goodin, P. Harris, M. Kavanaugh, H. Lillis, E. Manca, F. Muller-Karger, B. Nyberg, R. Parsons, J. Saarinen, J. Steiner & A. Reed. 2019. A new 30 meter resolution global shoreline vector and associated global islands database for the development of standardized ecological coastal units. *Journal of Operational Oceanography* 12:s47-s56.
- Sbrocco, E.J. 2014. Paleo-MARSPEC: gridded ocean climate layers for the Mid-Holocene and Last Glacial Maximum. *Ecology* 95:170.
- Sbrocco, E.J. & P.H. Barber. 2013. MARSPEC: ocean climate layers for marine spatial ecology. *Ecology* 94:979.
- Schepaschenko, D., J. Chave, O. Phillips, S. Lewis, S. Davies, M. Réjou-Méchain, P. Sist, K. Scipal, C. Perger, B. Hérault, N. Labrière, F. Hofhansl, K. Affum-Baffoe, A. Aleinikov, A. Alonso, C. Amani, A. Araujo-Murakami, J. Armston, L. Arroyo, N. Ascarrunz, C. Azevedo, T. Baker, R. Balazy, C. Bedeau, N. Berry, A. Bilous, S.Y. Bilous, P. Bissengou, L. Blanc, K. Bobkova, T. Braslavskaya, R. Brienen, D. Burslem, R. Condit, A. Cuni-Sánchez, D. Danilina, D. del Castillo-Torres, G. Derroire, L. Descroix, E.D. Sotta, M.V.N. d'Oliveira, C. Dresel, T. Erwin, M. Evdokimenko, J. Falck, T. Feldpausch, E. Foli, R. Foster, S. Fritz, A.D. García-Abril, A. Gornov, M. Gornova, E. Gothard-Bassébé, S. Gourlet-Fleury, M. Guedes, K. Hamer, F.H. Susanty, N. Higuchi, E. Coronado, W. Hubau, S. Hubbell, U. Ilstedt, V. Ivanov, M. Kanashiro, A. Karlsson, V. Karminov, T. Killeen, J.C.K. Koffi, M. Konovalova, F. Kraxner, J. Krejza, H. Krisnawati, L. Krivobokov, M. Kuznetsov, I. Lakyda, P. Lakyda, J.C. Licona, R. Lucas, N. Lukina, D. Lussettu, Y. Malhi, J.A. Manzanera, B. Marimon, B.H.M. Junior, R. Vásquez Martínez, O. Martynenko, M. Matsala, R. Matyashuk, L. Mazzei, H. Memiaghe, C. Mendoza, A. Monteagudo Mendoza, O. Moroziuk, L. Mukhortova, S. Musa, D. Nazimova, T. Okuda, L.C. Oliveira, P. Ontikov, A. Osipov, S. Pietsch, M. Playfair, J. Poulsen, V. Radchenko, K. Rodney, A. Rozak, A. Ruschel, E. Rurishauser, L. See, M. Shchepashchenko, N. Shevchenko, A. Shvidenko, M. Silveira, J. Singh, B. Sonké, C. Souza, K. Stereńczak, L. Stonozhenko, M. Sullivan, J. Szatniewska, H. Taedoumg, H. ter Steege, E. Tikhonova, M. Toledo, O. Trefilova, R. Valbuena,

- L. Valenzuela Gamarra, S. Vasiliev, E. Vedrova, S. Verhovets, E. Vidal, N. Vladimirova, J. Vleminckx, V. Vos, F. Vozmitel, W. Wanek, T. West, H. Woell, J. Woods, V. Wortel, T. Yamada, Z.S. Nur Hajar & I.C. Zo-Bi. 2019. The Forest Observation System, building a global reference dataset for remote sensing of forest biomass. *Scientific Data* 6:e198.
- Sexton, J.O., P. Noojipady, A. Anand, X.P. Song, S. McMahon, C. Huang, M. Feng, S. Channan & J.R. Townshend. 2015. A model for the propagation of uncertainty from continuous estimates of tree cover to categorical forest cover and change. *Remote Sensing of Environment* 156:418-425.
- Sexton, J.O., X.P. Song, M. Feng, P. Noojipady, A. Anand, C. Huang, D.H. Kim, K.M. Collins, S. Channan, C. DiMiceli & J.R. Townshend. 2013. Global, 30-m resolution continuous fields of tree cover: Landsat-based rescaling of MODIS vegetation continuous fields with lidar-based estimates of error. *International Journal of Digital Earth* 6:427-448.
- Song, D.X., C. Huang, J.O. Sexton, S. Channan, M. Feng & J.R. Townshend. 2015. Use of Landsat and Corona data for mapping forest cover change from the mid-1960s to 2000s: Case studies from the Eastern United State and Central Brazil. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 103:81-92.
- Song, X.P., M.C. Hansen, S.V., Stehman, P.V. Potapov, A. Tyukavina, E.F. Vermote & J.R. Townshend. 2018. Global land change from 1982 to 2016. *Nature* 560:639-643.
- Stewart, S.I., V.C. Radeloff, R.B. Hammer & T.J. Hawbaker. 2007. Defining the Wildland Urban Interface. *Journal of Forestry* 105:201-207.
- Thornton, P.E., M.M. Thornton, B.W. Mayer, Y. Wei, R. Devarakonda, R.S. Vose & R.B. Cook. 2016a. Daymet: Daily Surface Weather Data on a 1-km Grid for North America, Version 3. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1328> [Consultado en Abril 2020].
- Thornton, M.M., P.E. Thornton, Y. Wei, B.W. Mayer, R.B. Cook & R.S. Vose. 2016b. Daymet: Annual Climate Summaries on a 1-km Grid for North America, Version 3. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1343> [Consultado en Abril 2020].
- Thornton, M.M., P.E. Thornton, Y. Wei, B.W. Mayer, R.B. Cook & R.S. Vose. 2016c. Daymet: Monthly Climate Summaries on a 1-km Grid for North America, Version 3. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1345> [Consultado en Abril 2020].
- Title, P.O. & J.B. Bemmels. 2018. ENVIREM: an expanded set of bioclimatic and topographic variables increases flexibility and improves performance of ecological niche modeling. *Ecography* 41:291-307.
- Trabucco, A. & R. Zomer. 2019a. Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration (ET₀) Climate Database v2. figshare. Fileset. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.7504448.v3> [Consultado en Abril 2020].
- Trabucco, A. & R.J. Zomer. 2019b. Global High-Resolution Soil-Water Balance. figshare. Fileset. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.7707605.v3> [Consultado en Abril 2020].
- Tuanmu, M.N. & W. Jetz. 2015. A global, remote sensing-based characterization of terrestrial habitat heterogeneity for biodiversity and ecosystem modeling. *Global Ecology and Biogeography* 24:1329-1339.
- Tuanmu, M.N. & W. Jetz. 2014. A global 1 km consensus land-cover product for biodiversity and ecosystem modeling. *Global Ecology and Biogeography* 23:1031-1045.
- Tyberghein L., H. Verbruggen, K. Pauly, C. Troupin, F. Mineur & O. De Clerck. 2012. Bio-ORACLE: A global environmental dataset for marine species distribution modelling. *Global Ecology and Biogeography* 21:272-281.
- USGS (United States Geological Survey). 2020. EarthExplorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/> [Consultado en Abril 2020].
- van Vliet, J. & P.H. Verburg. 2017. A short Presentation of CLUMondo. Pp. 485-492. En M.T.C. Olmedo, M. Paegelow, J.F. Mas & F. Escobar (Eds.), *Geomatic approaches for modeling land changes scenarios*. Springer, Cham, Suiza.
- Vega, G.C., L.R. Pertierra & M.A. Olalla-Tárraga. 2017. MERRAclim, a high-resolution global dataset of remotely sensed bioclimatic variables for ecological modelling. *Scientific Data* 4:170078.
- Vega, G.C., L.R. Pertierra & M.A. Olalla-Tárraga. 2018. Data from: MERRAclim, a high-resolution global dataset of remotely sensed bioclimatic variables for ecological modelling, v2, Dryad. <https://doi.org/10.5061/dryad.s2v81> [Consultado en Abril 2020].

- Venter, O., E.W. Sanderson, A. Magrath, J.R. Allan, J. Beher, K.R. Jones, H.P. Possingham, W.F. Laurance, P. Wood, B.M. Fekete, M.A. Levy & J.E.M. Watson. 2016a. Data from: Global terrestrial Human Footprint maps for 1993 and 2009, v2, Dryad. <https://doi.org/10.5061/dryad.052q5> [Consultado en Abril 2020].
- Venter, O., E.W. Sanderson, A. Magrath, J.R. Allan, J. Beher, K.R. Jones, H.P. Possingham, W.F. Laurance, P. Wood, B.M. Fekete, M.A. Levy & J.E.M. Watson. 2016b. Data from: Global terrestrial Human Footprint maps for 1993 and 2009. *Scientific Data* 3:160067.
- Verdin, K.L., F.G. Hall, G.J. Collatz, B.W. Meeson, S.O. Los, E. Brown De Colstoun & D.R. Landis. 2011. ISLSCP II HYDRO1k Elevation-derived Products. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1007> [Consultado en Abril 2020].
- Wang, T., A. Hamann, D. Spittlehouse & C. Carroll. 2016. Locally Downscaled and Spatially Customizable Climate Data for Historical and Future Periods for North America. *PLoS One* 11:e0156720.
- Wilson, A.M. & W. Jetz. 2016. Remotely Sensed High-Resolution Global Cloud Dynamics for Predicting Ecosystem and Biodiversity Distributions. *PLoS Biology* 14:e1002415.
- Wohner, C., J. Peterseil, D. Poursanidis, T. Kliment, M. Wilson, M. Mirtl & N. Chrysoulakis. 2019. DEIMS-SDR-A web portal to document research sites and their associated data. *Ecological Informatics* 51:15-24.
- Zhou, Y., A.C.G. Varquez & M. Kanda. 2019. High-resolution global urban growth projection based on multiple applications of the SLEUTH urban growth model. *Scientific Data* 6:34.
- Zhu, L., V.C. Radeloff, & A.R. Ives. 2017. Characterizing global patterns of frozen ground with and without snow cover using microwave and MODIS satellite data products. *Remote Sensing of Environment* 191:168-178.
- Zhu L., A.R. Ives, C. Zhang, Y. Guo & V.C. Radeloff. 2019. Climate change causes functionally colder winters for snow cover-dependent organisms. *Nature Climate Change* 9:886-893.
- Zomer, R.J., A. Trabucco, O. van Straaten & D.A. Bossio. 2006. Carbon, Land and Water: hydrologic dimensions of climate change mitigation through afforestation and reforestation. International Water Management Institute (IWMI) Research Report 101. Colombo, Sri Lanka.
- Zomer, R.J., A. Trabucco, D.A. Bossio & L.V. Verchot. 2008. Climate change mitigation: A spatial analysis of global land suitability for clean development mechanism afforestation and reforestation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 126:67-80.
- Zweng, M.M., J.R. Reagan, D. Seidov, T.P. Boyer, R.A. Locarnini, H.E. Garcia, A.V. Mishonov, O.K. Baranova, K. Weathers, C.R. Paver & I. Smolyar. 2018. World Ocean Atlas 2018, Volume 2: Salinity. NOAA Atlas NESDIS 82, Silver Spring, Maryland, USA.



LA FILOGENÓMICA COMO HERRAMIENTA FUNDAMENTAL EN EL ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN BIOLÓGICA

PHYLOGENOMICS AS FUNDAMENTAL TOOL IN THE STUDY OF BIOLOGICAL EVOLUTION

TONATIUH RAMÍREZ-REYES

Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito de posgrados, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510 Ciudad de México, México

Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

Correspondence: trrecolgia@gmail.com

Abstract.— Sequencing technologies have allowed the accessibility of genomic data, making approaches from multilocus to genomic scales common practice in biodiversity studies. Phylogenomics has become a fundamental tool across a diversity of biological disciplines, since it allows a greater resolution in obtaining phylogenies at different scales (deep or shallow), shedding light on processes involved in the evolution of any taxon. Specifically in biogeography, phylogenomics has allowed in detail investigations into the geographic evolution of species with broad distributions. On the other hand, phylogenomics also generates evolutionary models that recognize the probable mechanisms of cryptic diversification in taxa with little morphological disparity. In this review, I show the profound impact of phylogenomics across different biological disciplines, as well as explain some particularities of this discipline, its practical applications, and the potential that phylogenomic models have to answer complex questions in evolutionary biology.

Keywords.— Biodiversity, cryptic species, genomics, RADseq, sequence capture.

Resumen.— Las tecnologías de secuenciación han permitido la obtención de datos genómicos, por lo que las aproximaciones multilocus a escalas genómicas en los estudios de la biodiversidad son ya una práctica común. La filogenómica se ha convertido en una herramienta fundamental en estudios de diversas disciplinas biológicas, ya que permite una resolución mayor en la obtención de filogenias a distintas escalas (profundas o recientes), evidenciando procesos involucrados en la evolución de cualquier taxón. Específicamente en biogeografía, ha permitido conocer detalles en la evolución geográfica de especies con amplia distribución, la filogenómica, también genera modelos evolutivos sobre los cuales se puede reconocer la diversidad críptica y los probables mecanismos que la generan en múltiples taxones que presentan escasa disparidad morfológica. En esta revisión, trato de mostrar el profundo impacto de la filogenómica en distintas disciplinas biológicas, así como algunas particularidades de los fundamentos de esta disciplina, las aplicaciones prácticas que dependen enteramente de ella y el potencial de los estudios que incorporan modelos filogenómicos para responder preguntas complejas de la evolución biológica.

Palabras clave.— Biodiversidad, especies crípticas, genómica, Radseq, captura de secuencias.

DE LA FILOGENÉTICA A LA FILOGENÓMICA

A pesar de que el término filogenómica fue acuñado a finales de los años 90 y presentado como un método novedoso en la anotación de genes, rápidamente fue incorporado en las disciplinas biológicas involucradas en reconstruir el árbol de la vida (Phillipe et al., 2005; Bleidorn, 2017). Precisamente porque la filogenética

es la rama de la biología encargada del estudio de relaciones evolutivas entre taxones (con una metodología específica) y porque esta disciplina se encuentra vinculada estrechamente con la sistemática. A mediados de la década de los 2000, hubo un incremento dramático en los métodos de obtención de datos a escala genómica, debido a las mejoras sustanciales en las tecnologías y en las estrategias de secuenciación, lo que

permitió generar información genómica incluso en organismos no-modelo (Delsuc et al., 2005; Lemmon & Lemmon, 2013; Da Fonseca et al., 2016; Posada, 2016; Bleidorn, 2017). Este desarrollo en obtención de datos genómicos, transformó el campo de la filogenética molecular (basada en pocos loci, principalmente obtenidos mediante secuenciación Sanger) en la filogenómica (con miles de loci, incluso genomas completos), ya que de ella se obtuvieron de manera inmediata anotaciones funcionales en los árboles de genes y también se generaron árboles de especies con gran precisión (Bleidorn, 2017). Actualmente podemos definir a la filogenómica como el estudio de relaciones evolutivas (de genes, genomas, especies, linajes), basado en análisis comparativos filogenéticos de datos a escala genómica (Delsuc et al., 2005; Chan & Ragan, 2013). Los principales objetivos que se habían planteado inicialmente esta disciplina fueron dos muy importantes: 1) utilizar datos genómicos para inferir relaciones filogenéticas entre especies y obtener información sobre los mecanismos de evolución molecular y 2) comparar genomas de múltiples especies para inferir funciones putativas de genes y proteínas (Phillipe et al., 2005, Phillipe & Blanchete, 2007). Sin embargo, con el paso del tiempo no solo no se ha limitado a tratar de cumplir esos objetivos, sino que sus aplicaciones abarcan distintas áreas del conocimiento, pasando el umbral de “simplemente” elaborar árboles de especies con alta precisión y soporte estadístico, y se dirige hacia estudios cada vez más complejos (Pyron, 2015). Basta con mirar los avances de esta disciplina en unos pocos ejemplos: en el campo de la medicina, el exhaustivo estudio sobre la evolución de la virulencia (severidad o nocividad de un patógeno) en los virus, gracias al marco filogenómico y la obtención de genomas completos de virus, es posible comprender los mecanismos de evolución de la virulencia de distintos tipos de virus que han afectado de manera sustancial poblaciones de animales no humanos y humanos (virus del Nilo, influenza A de aves, virus del mixoma, virus de la enfermedad de Marek, VIH, ébola y virus del Zika). Sin un marco evolutivo, sería muy difícil (si no es que imposible) comprender los mecanismos que generan virulencia en los virus causantes de un gran número de muertes y enfermedades en todo el mundo. Este marco evolutivo es presentado a través de las filogenias de genomas completos de los virus y el análisis de mutaciones en los genomas de las distintas cepas de virus (genómica comparada p. ej. cambios en aminoácidos), lo cual nos permite comprender desde el origen (temporal y espacial) de los virus hasta la dinámica evolutiva (selección, mutación, deriva, adecuación) que permite cambios en el genotipo y/o fenotipo de los virus, incrementando o disminuyendo la virulencia según cada caso particular. Con estos análisis incluso se pueden predecir algunos aspectos de la dinámica de algunos virus y darles seguimiento en tiempo real (Geoghegan & Holmes, 2018). Evidentemente

en el área de estudios sobre sistemática molecular también ha tenido gran relevancia la filogenómica, a través de obtención de datos genómicos con la técnica de captura de exones (>2000 loci) se pudo demostrar la diversidad críptica que existe en el lacertilio australiano *Carlia amax*, además de delimitar especies con distintas líneas de evidencia (conjunto de datos y metodologías), comparar filogenias de DNA mitocondrial y DNA nuclear, así como obtener modelos demográficos de expansión poblacional, e incluso determinar el probable origen geográfico de los linajes (Potter et al., 2016). En el ámbito de la ecología evolutiva, con el uso de elementos ultraconservados (900 UCE loci) se probaron diversas hipótesis evolutivas en los peces mariposa (Chaetodontidae) en los mares de la península Arábiga, demostrando la utilidad de los UCE para resolver filogenias a escalas de divergencia reciente (entre especies) y permitiendo un marco evolutivo filogenético (espacial y temporal), en el cual se rechazaron hipótesis previas de extinciones masivas durante el Pleistoceno en estos mares, persistencia de las especies durante cambios climáticos en el Pleistoceno y se determinó que las condiciones ambientales de las aguas costeras de la Península, fueron las determinantes en la evolución de especies endémicas altamente especializadas a esta región (DiBattista et al., 2018). Los anteriores son solo algunos ejemplos de los estudios cada vez más sofisticados que se realizan actualmente en distintas áreas del conocimiento con ayuda de un marco filogenómico, las aplicaciones abarcan distintas disciplinas científicas (Phillipe & Blanchet, 2007).

Posteriormente me enfocaré en la biogeografía con algunos ejemplos y en el potencial de la filogenómica en el estudio de especies crípticas así como en modelos evolutivos que intentan explicar los mecanismos de generación de diversidad críptica.

FUNDAMENTOS DE LA FILOGENÓMICA

Secuenciación de alta precisión o NGS

Los métodos de secuenciación de segunda generación (secuenciación de alta precisión o conocidos también como *next generation sequencing*; NGS), permitieron la obtención de datos genómicos a relativamente bajos costos (costo por megabase de secuencias crudas o por genomas); hasta el 2017 por ejemplo, secuenciar un genoma podría costar 1,000 dólares, con una tendencia decreciente en los costos (ver: <https://www.genome.gov/27541954/dna-sequencing-costs-data/>). Las plataformas de secuenciación de segunda generación, en los últimos 15 años, han revolucionado la manera de obtener secuencias de DNA, permitiendo el desarrollo de manera conjunta de la tecnología y de las aplicaciones de la información generada para estudios en ciencia básica y aplicada (Chan & Ragan, 2013;

López-de Heredia, 2016; Bleidorn, 2017; Slatko et al., 2018). Las tecnologías de secuenciación de segunda generación con mayor éxito fueron las plataformas de Illumina, mediante la técnica de "amplificación por puente", fragmentos cortos de ADN (~ 500 pb) con adaptadores ligados en cada extremo del fragmento, son utilizados como sustratos para repetidas reacciones de amplificación por síntesis sobre una superficie sólida (celda de flujo), que contiene secuencias de oligonucleótidos complementarios a cada adaptador ligado (Lopez- de Heredia, 2016; Bleidorn, 2017; Slatko et al., 2018). Los nucleótidos son adicionados junto con una polimerasa y los fragmentos de DNA; ligados, cada nucleótido incorporado está bloqueado en su grupo 3' OH y lleva un fluoróforo removible que es identificado por láser, así se lleva a cabo la secuenciación durante varios ciclos (Bleidorn, 2017).

Por otra parte los métodos de tercera generación permiten secuenciar fragmentos largos (hasta 60 kb por lectura) de DNA y RNA. Pacific Bioscience (PacBio), es la empresa líder hasta el momento. De manera breve, a través del método de secuenciación de una sola molécula en tiempo real (SMRT por sus siglas en inglés), fragmentos largos de DNA ligados en los extremos con adaptadores en forma de hebra con una polimerasa en una de ellas, forman lo que se denominan SMRTbell. Estos fragmentos (SMRTbell) son inducidos a entrar en unos micropocillos (*zero-mode waveguide*, ZMW), contenidos en un chip denominado SMRTcell. En cada uno de los micropocillos, la actividad de la polimerasa es monitoreada sin interrupción mientras incorpora los DNTP marcados fluorescentemente, mediante el uso de imágenes en tiempo real, los nucleótidos incorporados son detectados mientras son sintetizados a lo largo de una sencilla molécula de DNA. La detección se lleva a cabo en los micropocillos (ZMW), mediante la detección de longitudes de onda de cada nucleótido marcado (Rhoads & Au, 2015; Bleidorn, 2017; Slatko et al., 2018).

Por otra parte, los métodos de cuarta generación utilizan nanotecnología para hacer pasar largas moléculas de DNA a través de nanoporos (poros de pocos nm de diámetro). Hasta la fecha solo existe un consorcio que desarrolla esta técnica de secuenciación, Oxford Nanopore Technologies (ONT), con tres secuenciadores: MinION, PromethION y SmigdeION. Previo a la secuenciación, adaptadores son ligados a ambas terminaciones de cada fragmento de DNA, estos adaptadores facilitan el acomodo de las hebras de DNA (por consiguiente, incrementan la probabilidad de captura de hebras de DNA en los nanoporos) y la carga de una enzima de actividad progresiva en el extremo 5' de cada cadena. La enzima es necesaria para garantizar el desplazamiento unidireccional de un solo nucleótido a lo

largo de la cadena de ADN en milisegundos, incrementando la precisión del detector en la secuenciación. En estas plataformas, la detección de nucleótidos es a través de la diferencia de cargas, según cada nucleótido que es identificado por un detector, los nucleótidos que pasan por cada poro disminuyen la corriente iónica, a través de esta diferencia de iones cada nucleótido es identificado. Una vez que la molécula de DNA sale por un nanoporo, este queda disponible para ser utilizado por otra molécula de DNA (Jain, et al., 2016; Bleidorn, 2017; Slatko et al., 2018). Una de las ventajas de los métodos de tercera y cuarta generación sobre los de segunda generación, es la identificación de estructura en las secuencias de DNA, por lo que también estas plataformas son pioneras en la generación de información sobre aspectos de epigenómica (estructura), identificación de haplotipos en tiempo real, secuenciación de fragmentos largos de DNA y de secuencias repetitivas (Rhoads & Au, 2015; Jain et al., 2016; Slatko et al., 2018).

La finalidad de utilizar cualquier método de secuenciación de segunda a cuarta generación es la obtención de datos genómicos, a través de alguna estrategia de colección de datos derivados de alguna plataforma de secuenciación. Aunque existen diversas aproximaciones, las estrategias más utilizadas en la filogenómica han sido principalmente dos: secuenciación asociada a sitios de restricción de ADN (familia RADseq) y más recientemente el enriquecimiento híbrido (conocido también como captura de secuencias) (Lemmon & Lemmon, 2013; Bleidorn, 2017).

MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS EN LA ERA DE LA FILOGENÓMICA

Familia RADseq

Esta técnica sencilla de reducción de genoma, ha sido bastante popular y se encuentra en una amplia variedad de estudios que abarcan distintas disciplinas. Una de las principales ventajas de esta técnica es que no requiere información genómica previa, por lo que es ideal para iniciar estudios en organismos-no modelo en prácticamente cualquier taxón. Además permite obtener gran profundidad de cobertura por locus (mejorando la confianza del llamado de genotipos), y la secuenciación de múltiples muestras en paralelo en una misma corrida de secuenciación. Aunque el término RADseq fue acuñado para describir un método en particular (digestión de DNA genómico por una enzima de restricción), actualmente se utiliza para referirse al grupo de técnicas que dependen de enzimas de restricción, para determinar el conjunto de loci a ser secuenciado (genotyping by sequencing o GBS, ezRAD, 2bRAD, ddRAD) (Lemmon & Lemmon, 2013; McCormack et al., 2013; Andrews, 2016; Bleidorn, 2017). Esta técnica, se basa en el

uso de endonucleasas (enzimas) de restricción, que reconocen un patrón específico de bases nucleotídicas en las secuencias de DNA, fragmentando la doble hélice en sitios específicos de cuatro a ocho nucleótidos; posteriormente hay un proceso de fragmentación mecánica y ligamiento de índices y barcodes, después ocurre la secuenciación masiva de lecturas simples o pareadas y finalmente el pipeline bioinformático (Andrews, 2016). Como cualquier otra técnica, el RADseq no está libre de errores; entre ellos destaca el *alele dropout*, que se refiere a las mutaciones en los sitios de restricción, resultando en una omisión en el corte del DNA genómico en esos sitios. Para minimizar este tipo de error, se recomienda utilizar enzimas de restricción cortas (4 bases) y utilizar solo una enzima (RADseq original o GBS), ya que por ejemplo, el ddRAD incrementa al doble la proporción de este tipo de error (Andrews, 2016). Otros errores son las duplicaciones por PCR y errores de secuenciación, éstos son errores estocásticos, que pueden causar que un alelo sea secuenciado más que otro alelo en un locus durante el proceso de clonación. Para minimizar este tipo de error de manera práctica, el uso de lecturas pareadas puede ayudar a reconocer los alelos duplicados por PCR. De manera similar, las diferencias de cobertura entre muestras y loci, pueden variar debido a la generación de la librería o procesos de secuenciación. Este error es comúnmente resuelto mediante la eliminación de muestras que presentan baja cobertura, o antes de iniciar un proyecto RADseq, podemos disminuir el número de muestras por línea de secuenciación. Alternativamente, también existen opciones de filtrado de loci con baja cobertura en los pipelines bioinformáticos (Andrews, 2016). Algunas creencias sobre las limitaciones de la implementación de este método en el campo de la filogenética/filogenómica se han rechazado con el tiempo; una de las más comunes era, que esta técnica no serviría para inferir filogenias a escalas profundas, debido a las mutaciones en los sitios de restricción que reduce el número de loci homólogos conforme incrementa la distancia filogenética (McCormack et al., 2013). Este supuesto fue cuestionado y finalmente rechazado por algunos estudios, destacan las simulaciones *in silico*, con genomas de *Drosophila* (con tiempos de divergencia entre 5 y 63 mda), los cuales recuperaron la filogenia “correcta” entre 12 especies, además de un gran porcentaje de loci homólogos y bajo porcentaje de parálogos (Cariou et al., 2013). También estudios empíricos han comprobado la utilidad de inferir filogenias con datos RADseq a diferentes escalas (superficiales y profundas), ejemplo de ello son: ranas en Etiopía (*Leptopelis*), con divergencia de 40 mda (Reyes-Velasco et al., 2018); las especies crípticas de *Viburnum* en Norte América con edad corona ~50 mda (Eaton et al., 2017; Spriggs et al., 2019) y plantas *Juglans* en China que divergieron de su especie hermana *Castanea mollissima*, hace 65 mda (Zhao et al., 2018).

Otro aspecto que ha sido criticado es la cantidad de datos faltantes (*missing data RADseq*), minuciosamente revisado por Eaton et al. (2017), quienes discuten los datos faltantes principalmente causados por mutación-disrupción y baja cobertura de secuenciación en un contexto filogenético. Los resultados demostraron que cada una de esas fuentes de datos faltantes, lleva a diferentes distribuciones de información filogenética, particularmente con respecto a la cantidad de información filogenética de cuartetos (*quartet informativeness*); es decir, el número de loci en un conjunto de datos multilocus que tienen suficiente muestreo en taxones para ser potencialmente informativos. Los análisis permitieron descubrir la redundancia jerárquica (la cantidad de información filogenética en una división sobre un árbol se ve afectada por su ubicación jerárquica en el árbol) y su influencia sobre las posibles topologías resueltas. Árboles más balanceados (topológicamente) incrementan la cantidad de información de los cuartetos (*quartet informativeness*) a través de nodos más profundos, en comparación con árboles asimétricos. Por otra parte, los patrones recuperados por secuenciación de baja cobertura, es que los datos faltantes disminuirán la información filogenética (*informativeness*) hacia las puntas en un árbol balanceado, o igualmente en todas las divisiones de un árbol no-balanceado, sin embargo, nunca incrementarán la pérdida de información en los bordes más profundos en el tiempo independientemente de la topología. Estas fuentes de datos faltantes, pueden ser resueltas incrementando la cobertura de secuenciación y adicionando más muestras (o taxones), para ayudar a balancear el árbol filogenético y permitir mayor redundancia jerárquica (Eaton et al., 2017)

Enriquecimiento híbrido

El objetivo de este método es la captura y enriquecimiento de secuencias en regiones blanco específicas del genoma (McCormack et al., 2013; López-de Heredia, 2016; Bleidorn, 2017). De manera breve, este método recae en el uso de sondas de captura (DNA o RNA) que son complementarias a regiones blanco del genoma que son hibridizadas en una librería de DNA. El DNA blanco, es enriquecido posteriormente a través de alguna plataforma de secuenciación de alta precisión, mientras que el DNA restante es eliminado (McCormack et al., 2013; Bleidorn, 2017). El enriquecimiento híbrido, fue diseñado para enriquecer loci ortólogos (de una sola copia), evitando la intersección con genes parálogos y con suficiente muestreo a través de los genomas (cientos a miles de loci ortólogos) para análisis filogenéticos/filogenómicos. Los métodos que implementan esta técnica incluyen enriquecimiento híbrido anclado (AHE), enriquecimiento de elementos ultraconservados (UCE) y enriquecimiento de exones (Faircloth et al., 2012;

Lemmon et al., 2012; McCormack et al., 2013; López-de Heredia, 2016; Bleidorn, 2017). Las sondas de captura son secuencias de oligonucleótidos (~60–120 bp), que cubren las regiones blanco del genoma, por lo que deben ser diseñadas y sintetizadas previamente. Aquí encontramos una diferencia fundamental con respecto a los métodos de restricción-digestión (técnicas RAD), ya que se requiere de cierto conocimiento sobre el genoma o transcriptoma del taxón (o taxones), previo al diseño de sondas (McCormack et al. 2013; Bleidorn, 2017). Una de las principales ventajas de estas técnicas, es la capacidad de recuperar loci ortólogos con gran profundidad filogenética, es decir desde 250 hasta los 500 mda (Lemmon et al. 2012; Jones & Good, 2016) lo que resulta en un gran potencial para estudios evolutivos a distintas escalas temporales. Otras ventajas que hacen atractiva la implementación de elementos ultraconservados (UCE), es que este tipo de marcadores se encuentran en amplio número a través del genoma, y muy importante, tienen poco solapamiento con genes parálogos (Lemmon et al. 2012; McCormack et al., 2013; Jones & Good, 2016; Bleidorn, 2017). Adicionalmente, los métodos de captura dirigida, generan datos con mayor calidad en comparación con otros métodos de representación reducida del genoma, incluyendo una menor varianza en la cobertura, mayor precisión en el llamado de SNP, alta reproducibilidad y *contigs* ensamblados de mayor longitud (Jones & Good, 2016).

Todos los estudios que implican la elaboración de una filogenia molecular, requieren la obtención de genes homólogos (copias de genes de la descendencia originadas a partir de una secuencia de DNA ancestral común) para elaborar árboles de genes (y si es el caso, también árboles de especies). Específicamente lo que se desea, es la obtención de genes ortólogos (copias de genes que evolucionaron de un gen ancestral mediante un evento de especiación), evitando la cantidad de genes parálogos (copias de genes originadas por un evento de duplicación) y xenólogos (cuando una copia de un gen homólogo fue transferida de otra especie mediante transferencia genética horizontal) (Escalona-Fermín, 2018).

Es durante el ensamble de *reads* provenientes de la secuenciación de alta precisión, que estamos llevando a cabo la inferencia de ortología, generalmente hay dos aproximaciones: ensamble con genoma de referencia o ensamble *de novo*. Cuando utilizamos un genoma de referencia, asumimos que estamos “mapeando” loci ortólogos con respecto al genoma de referencia, cuando utilizamos un ensamble *de novo*, la inferencia de ortología es mediante un porcentaje de similitud. Aunque por ejemplo Pyrad (y su predecesor ipyrad) también cuenta con mecanismos para ensambles *de novo* de alta calidad, maximizando la probabilidad de ortología y minimizando la probabilidad de

recuperar loci parálogos. Además, este programa fue diseñado específicamente para estudios filogenéticos/filgenómicos con datos obtenidos de algún método de la familia RADseq (Eaton, 2014; Reyes-Velasco et al., 2018). Evidentemente el uso de métodos de enriquecimiento híbrido (UCE, AHE, captura de exones), incrementa la probabilidad de obtener exclusivamente loci ortólogos y minimizan la cantidad de *missing data* durante el pipeline bioinformático, pues desde el diseño de las sondas, ya se sabe de antemano qué regiones genómicas estamos buscando para la inferencia filogenética (regiones homólogas únicas) (Jones & Good, 2016).

Reconstrucción filogenética/filgenómica

Durante años se utilizaron los árboles de genes de un solo marcador como aproximaciones exactas de los árboles de especies, sin embargo, con el paso del tiempo nos percatamos de que los árboles de genes y los árboles de especies no necesariamente presentan la misma topología (o resultan equivalentes) y por lo tanto, no deben ser interpretados como resultado de los mismos procesos evolutivos (Mallo & Posada, 2016; Escalona-Fermín, 2018). A pesar de que la distinción entre árboles de especies y de genes se conocía desde hace varias décadas (Maddison, 1997) la dificultad para obtener múltiples marcadores moleculares, retrasó su reconocimiento empírico hasta hace pocos años (Mallo & Posada, 2016). Esta discordancia entre árboles de genes y de especies puede ser debida a errores sistemáticos (incorrecta especificación del modelo, cantidad finita de datos y proceso de muestreo); pero también debido a procesos evolutivos como *incomplete lineage sorting* (ILS), duplicación y pérdida de genes, transferencia horizontal de genes, especiación híbrida y flujo génico (Maddison, 1997; Escalona-Fermín, 2018, Mallo & Posada, 2016). Los árboles de especies representan la historia evolutiva de los organismos muestreados, los nodos representan eventos de especiación, las ramas reflejan la historia poblacional entre especiaciones, el ancho de las ramas representan los tamaños efectivos poblacionales (N_e), mientras que la longitud de ramas representa el tiempo en años o generaciones. Por otra parte, los árboles de genes representan la historia evolutiva de las copias de genes muestreados, los nodos indican eventos de coalescencia, los cuales corresponden al proceso de replicación del DNA y divergencia, la longitud de ramas representa el conjunto de sustituciones por sitio (Mallo & Posada, 2016).

Existen varios métodos para reconstruir árboles de especies, los más utilizados pueden ser clasificados de acuerdo a los datos de entrada: supermatriz (concatenación), superárbol y co-estimación o de evidencia total (Mallo & Posada, 2016; Escalona-Fermín, 2018).

El método de supermatriz o concatenación, se basa en la unión de todos los loci en una matriz de secuencias alineadas y estima un árbol (de un “supergen”), utilizando las mismas herramientas para reconstruir filogenias con un solo gen (parsimonia, máxima verosimilitud, inferencia bayesiana, métodos de distancia). El supuesto de este método es que todos los loci comparten una misma historia evolutiva o que las diferentes historias genéticas se anulan (Mallo & Posada, 2016; Escalona-Fermín, 2018).

El método de superárbol consiste en dos pasos: 1) los árboles de genes son estimados independientemente y 2) los árboles de genes son combinados en un solo árbol de especies. Aquí existen tres estrategias principalmente, de reducción de discordancia, proceso evolutivo simple y proceso evolutivo múltiple. El primero no utiliza ningún modelo evolutivo, únicamente intenta encontrar el árbol que minimiza la discordancia entre árboles de genes, aquí encontramos métodos consenso y concordancia tales como BUCKy (por factores de concordancia) y ASTRAL (minimiza la distancia de cuartetos entre árboles de genes y especies) (Liu et al., 2015; Mallo & Posada, 2016). Los métodos de proceso evolutivo simple se basan en la optimización de reconciliación de árboles de genes y árboles de especies, estos métodos calculan las coalescencias profundas, duplicaciones-pérdidas de genes o transferencias horizontales de genes necesarias para explicar la discordancia entre los árboles y a partir de ello genera el árbol de especies; algunos ejemplos de estos métodos son STEM, STEAC, STAR, MP-EST (Mallo & Posada, 2016). Por otra parte, los métodos de reconstrucción de árboles de especies basados en múltiples procesos evolutivos son escasos, un ejemplo es Guenomu, el cual considera ILS, duplicación y pérdida de genes, transferencia horizontal de genes y discordancia entre árboles de genes y de especies. Éste método se basa en modelos jerárquicos bayesianos, calculando la probabilidad posterior del árbol de especies dado los árboles de genes.

Otros métodos de reconstrucción de árboles de especies se basan en la evidencia total de las secuencias, están los que modelan ILS como SVDquartets. Éste método intenta estimar la mejor topología de cuartetos de taxones, basado en el *singular value decomposition* (SVD), de una matriz de frecuencias de caracteres; posteriormente los árboles de cuartetos válidos son ensamblados en un árbol de especies. En el caso de SVDquartets los datos de entrada son una matriz de SNP (Chifman & Kubatko; 2014; 2015; Mallo & Posada, 2016). Otro método que modela ILS y emplea marcadores bialélicos (SNP y AFLP) es SNAPP, implementado en BEAST2, el cual estima árboles de especies, tiempos de divergencia y tamaños poblacionales.

Este programa se basa en dos supuestos: cada marcador es un sencillo carácter bialélico y las genealogías de marcadores no ligados son condicionalmente independientes dado el árbol de especies (por ejemplo si los SNP están bien espaciados a lo largo del genoma). Si los supuestos son cumplidos, el algoritmo intentará obtener la densidad de probabilidades conjunta para los árboles de genes y de especies dado el conjunto de datos (Bryant et al., 2012).

Cada uno de los métodos de reconstrucción de árboles filogenéticos tiene sus limitaciones y debe ser seleccionado de acuerdo al tipo de datos a analizar, así como los supuestos de cada aproximación y al modelo de estudio. Aunque existen tendencias generales y recomendaciones que podemos seguir para la elaboración de árboles de especies, por ejemplo: los árboles de genes pueden ser robustos a pesar de cierta cantidad de datos faltantes (según simulaciones hasta el 95% en un marco bayesiano) (Wiens & Moen, 2008), siempre y cuando la señal filogenética de los datos sean suficientes para recuperar árboles confiables (Wiens & Moen, 2008; Mallo & Posada, 2016). Asimismo debemos comprender la naturaleza de datos faltantes y tener ciertas precauciones con los *missing data*, pero no desecharlos completamente ni creer que un porcentaje “alto” de *missing data* necesariamente tiene implicaciones negativas, esto ha sido observado en experimentos empíricos que utilizan métodos de reducción del genoma (Huang & Knowles, 2016; Eaton et al., 2017). En cuanto a los métodos de reconstrucción de árboles de genes y de especies, el que recupera con mayor precisión las topologías “verdaderas” (según simulaciones y datos empíricos) de los árboles de genes es *BEAST (Chou et al., 2015; Mallo & Posada, 2016); sin embargo, debido a la gran demanda computacional, se puede recurrir a otros métodos basados en coalescencia de reconstrucción de árboles de especies (SVDquartets, ASTRAL, NJst), los cuales presentan rendimientos similares bajo ciertas condiciones (Chou et al., 2015). Por otra parte el método de la supermatriz es el más robusto para reconstruir árboles de especies siempre y cuando los efectos del ILS o transferencia horizontal de genes sean bajos y/o si utilizamos secuencias cortas (Chou et al., 2015; Mallo & Posada, 2016). Finalmente, incrementar la cobertura de secuenciación en métodos de reducción del genoma y tratar de incrementar lo más posible el muestreo, ayuda a generar árboles de genes balanceados, lo que a su vez ayudará a incrementar la probabilidad de obtener el árbol de especies correcto (Eaton et al., 2017).

FILOGENÓMICA Y BIOGEOGRAFÍA

La biogeografía es la rama de la biología que se encarga del estudio de patrones y procesos (históricos y ecológicos) que determinan la distribución espacial de los organismos. Convencionalmente se divide en dos: biogeografía ecológica (distribución espacial a escala local) y biogeografía histórica (distribución de los seres vivos de acuerdo a su historia evolutiva). La biogeografía histórica se encuentra estrechamente vinculada a la biología evolutiva y a la sistemática, pues busca inferir los probables procesos que explican los patrones de distribución de la diversidad biológica, generalmente utilizando como base las relaciones de parentesco (filogenias) entre los organismos e información geográfica. Por lo tanto esta es una disciplina que unifica conocimiento de la sistemática, geografía, paleontología, geología (Sanmartín, 2012; Sánchez-Ramírez et al., 2017) y recientemente también incorpora aspectos de genómica y filogenómica (Grover et al., 2017; Barby et al., 2018; Grab et al., 2019). La incorporación de la filogenómica en la biogeografía, permite ahora realizar estudios más precisos en la evolución de cualquier rama del

árbol de la vida, incluso estudiar taxones de amplia distribución geográfica, patrones de distribución disyunta y otros más complejos, que antes quedaban limitados por la cantidad de información obtenida (pocos loci o un solo locus). Conforme se van integrando la filogenómica y la genómica en biogeografía, la precisión en la reconstrucción de filogenias, permite conocer a detalle procesos evolutivos involucrados en la diversificación de algunos taxones. Asimismo, permite generar hipótesis más precisas sobre los probables eventos geográficos y climáticos (a distintas escalas de tiempo) que han delineado los patrones de distribución de dichos taxones.

En esta parte me centraré en casos de estudio de reciente literatura que han examinado patrones biogeográficos particularmente en taxones de amplia distribución. Intentaré ejemplificar que los análisis biogeográficos, se benefician de la obtención de datos genómicos; en el sentido que las filogenias más robustas, generalmente conducirán a una evidencia más sólida, cuando distintas hipótesis son evaluadas en un mismo estudio (Sánchez-Ramírez et al., 2017)

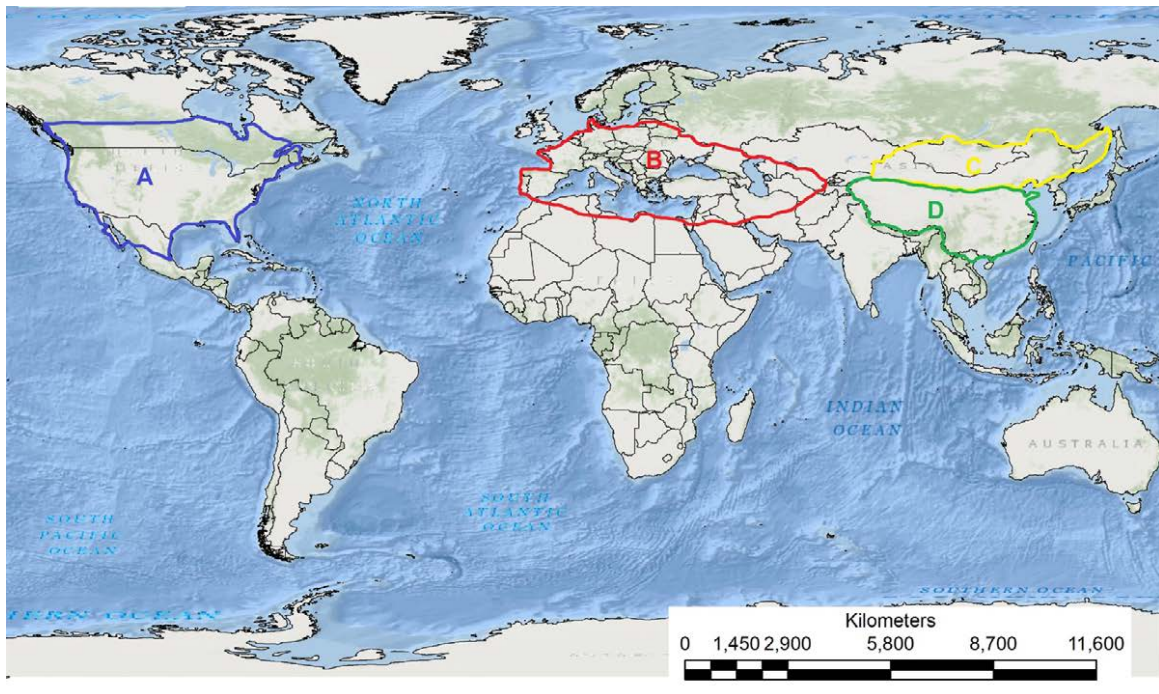


Figure 1. Four areas of endemism identified on the evolution of the *Vitis* subgenus. (A) North America, (B) Europe and Western Asia, (C) Asiatic Northeast, North of China and Himalayan Northeast, (D) Center and South of China. Adapted from Ma et al. (2018), for further information, consult the original source.

Figura 1. Cuatro áreas de endemismo identificadas en la evolución del subgénero *Vitis*. (A) Norteamérica, (B) Europa y Oeste de Asia, (C) Noreste Asiático, Norte de China y Noreste de los Himalayas, (D) Centro y Sur de China. Adaptado de Ma et al. (2018), para mayor información, ver la fuente original.

Subgénero *Vitis* (Ma et al., 2018)

A pesar de que la uva es uno de los cultivos de domesticación temprana y uno de los mayores cultivos de importancia económica, gran controversia aún existía hasta hace poco tiempo sobre aspectos básicos de su biología, como las relaciones filogenéticas entre las especies (sobre todo en las ramas profundas) y debido a su amplia distribución intercontinental (Holártica), también existían varias hipótesis sobre aspectos biogeográficos dentro del subgénero *Vitis*, que intentaban explicar el origen y evolución de su patrón de distribución actual (Fig. 1). Como mencionan claramente los autores del estudio, una filogenia bien resuelta es clave para comprender la historia evolutiva y los patrones de diversificación en especies de este subgénero (y en cualquier taxón). Mediante la técnica de resecuenciación de 40 genomas, demostraron las relaciones filogenéticas existentes entre las especies y los clados recuperados, además demostraron el probable centro de origen de las uvas en Norteamérica. Durante el Eoceno se originaron las divergencias de los clados de Norteamérica y Europa y durante este periodo también diversificaron los clados americanos. Esta hipótesis sugiere que existieron eventos de migración de Norteamérica a Europa, aunque el mecanismo no se sabe con certeza. Por otra parte cambios climáticos durante la transición Eoceno-Oligoceno, permitieron una rápida diversificación en el sureste de Asia, este supuesto fue confirmado por el análisis de algunas estructuras morfológicas en las plantas actuales de aquella región (Ma et al., 2018).

Género *Citrus* (Wu et al., 2018)

El género *Citrus* se distribuye ampliamente a través de la región del monzón, desde el Oeste de Pakistán hacia el Norte en la parte central de China, al Sur a través del archipiélago de las indias Orientales, Nueva Guinea, noreste de Australia, Nueva Caledonia, Melanesia y las islas Polinesias Occidentales. Aunque los autores del estudio sabían que el origen de varias especies de cítricos, se encontraba inmersa dentro de esa amplia área de distribución, el origen geográfico y el tiempo de diversificación de los cítricos eran dos aspectos prácticamente desconocidos, a pesar de la gran importancia económica y alimenticia que representan los cultivos de cítricos. A partir del análisis de 58 genomas completos, recuperaron la historia evolutiva de los cítricos y la diversidad que incluye este grupo de plantas comestibles. Una de las dificultades a la que se enfrentaron los investigadores fue a la taxonomía y a las propuestas filogenéticas controversiales en este grupo de plantas, principalmente debido a la dificultad de identificar especies progenitoras puras, ocasionado por los altos niveles de hibridación interespecífica y propagación de estos híbridos para cultivo. A través de la identificación de las variedades híbridas, pudieron determinar la monofilia de los cítricos con gran apoyo. El centro de origen de los cítricos fue ubicado en una región entre el noreste de India, norte de Myanmar y noroeste de Yunnan, con una rápida radiación en Asia durante el Mioceno tardío. Posteriormente durante el Plioceno ocurrieron eventos de migración del sur de Asia a través de la línea de Wallace hacia Australia originando la divergencia de las especies de cítricos en esa región (*E. glauca*, *Microcitrus australasica* y *Microcitrus australis*) (Wu et al. 2018).

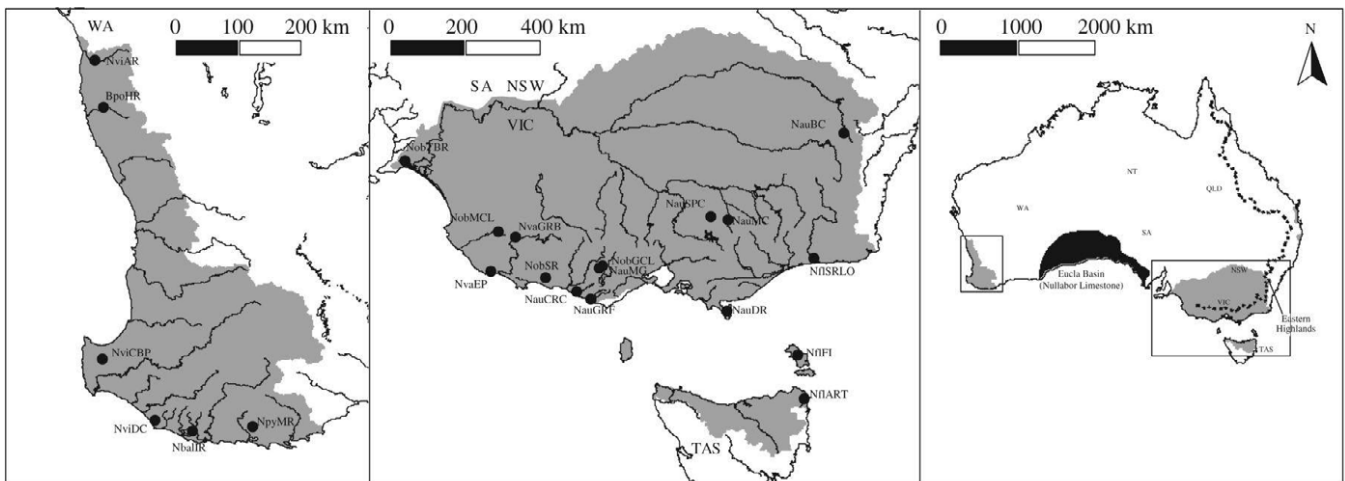


Figure 2. Current distribution of the perca pigmeas species studied by Buckley et al. (2018). Note the disjunctive distribution pattern on the right box. The Nullarbor plain (geographic barrier) is identified in black on the right box.

Figura 2. Distribución actual de las especies de perca pigmeas estudiadas por Buckley et al. (2018). Nótese el patrón de distribución disyunta en el recuadro derecho. La planicie de Nullarbor (barrera geográfica) es identificada en negro en el recuadro derecho.

Género *Nannoperca* (Buckley et al., 2018)

Las percas pigmeas australianas presentan un patrón de distribución bastante interesante (distribución disyunta continental Este-Oeste), este aspecto las define como un buen modelo para estudiar aspectos de diversidad, taxonomía, evolución y biogeografía mediante un enfoque filogenómico (Fig. 2). A diferencia de los ejemplos anteriores (que analizan genomas completos), en este estudio los autores implementaron la estrategia de reducción del genoma mediante la técnica ddRADseq. Los tiempos de divergencia obtenidos demostraron que las percas pigmeas son un grupo relativamente antiguo (20 mda), mientras que el modelo biogeográfico más probable ubicó a los ancestros en el Este de Australia, además de identificar un efecto fundador no muy común (a larga distancia) desde poblaciones ancestrales del Este, dicho evento permitió la colonización del Oeste de Australia y posterior diversificación. Resulta interesante que el análisis de reconstrucción de áreas

ancestrales, no apoya el modelo simple de divergencia por vicarianza, a partir del surgimiento de la barrera biogeográfica en el Centro-Sur de Australia (Planicie Nullarbor), en cambio apoya múltiples migraciones desde el Este hacia el Oeste, implicando eventos de diferenciación conforme surgía la principal barrera biogeográfica (Planicie Nullarbor) y principalmente debido a los cambios climáticos, los cuales, aislaron periódicamente a algunas poblaciones de perca pigmea. Con el paso del tiempo los linajes diferenciados quedaron aislados partidos por la mitad formando la actual distribución disyunta (Buckley et al., 2018).

Parásitos del género *Physconelloides* (Sweet et al., 2018)

Unos de los estudios más interesantes son aquellos que estudian la coevolución de algunos parásitos con sus hospederos, sobre todo cuando se trata de parásitos obligados. Un modelo interesante es el estudio de los piojos parásitos (Insecta: Phthiraptera: Ischnocera), de las palomas del nuevo mundo (Aves: Columbidae):



Figure 3. Geographic distribution of lice (*Physconelloides*) studied by Sweet et al. (2017), colors represent biogeographic regions where the taxa are distributed recovered over the phylogeny solved with 1058 nuclear genes. Adapted from Sweet et al. (2018), for further information, consult the original source.

Figura 3. Distribución geográfica de piojos (*Physconelloides*) estudiadas por Sweet et al. (2017), los colores representan las regiones biogeográficas donde se distribuyen los taxones recuperados en la filogenia resuelta con 1058 genes nucleares. Adaptado de Sweet et al. (2017), para mayor información revise la fuente original.

Claravinae), los cuales son ectoparásitos obligados permanentes que se alimentan de las plumas suaves de sus hospederos. Aunque existen diversos estudios de coespeciación entre algunas especies de piojos y las aves que parasitan, no es claro como algunas especies como las de *Physconelloides* se dispersan ampliamente y diversifican, ya que estos parásitos presentan escasas capacidades de dispersión. Los autores del estudio estaban particularmente interesados en las interacciones de los piojos con relación a la estructura filogenética del hospedero y a su distribución geográfica, específicamente ¿cómo están estructuradas las especies y poblaciones de piojos con relación a la evolución de su hospedero?

Las especies evaluadas presentan una distribución bastante amplia, la cual, abarca prácticamente todo el continente americano (Fig. 3). Mediante la obtención de genomas completos de los piojos por la técnica *shotgun*, los autores obtuvieron múltiples marcadores para abordar diferentes cuestiones evolutivas a distintas escalas espaciales y temporales. Los hallazgos sugieren que las poblaciones de piojos están inicialmente estructurados de acuerdo a los patrones biogeográficos de las propias especies de parásitos (*Physconelloides*), sin embargo, con el paso del tiempo eventualmente su distribución geográfica se acomodará paulatinamente de acuerdo a la especie hospedera, perdiendo la estructura biogeográfica con respecto a la filogenia propia de

los parásitos. Esta característica es distintiva de los ejemplos anteriores, donde las filogenias resueltas otorgan pistas de estructura biogeográfica, en cambio este estudio, demostró que existen interacciones complejas entre el parásito y el hospedero, por lo tanto, la estructura biogeográfica actual no es visualizada claramente en la filogenia del parásito, sino más bien en relación con la estructura poblacional del hospedero, en este caso, las palomas que parasitan (Sweet et al., 2018).

Estos pocos ejemplos demuestran la gran utilidad de reconstruir árboles de genes y especies, confiables y robustos estadísticamente, para posteriormente ubicarlos en algún programa que intente reconstruir la historia biogeográfica de los linajes. En algunos casos la filogenia por sí misma otorga información sobre la diversificación de los taxones, aunque en ocasiones, resultan más complejos, debido principalmente a las interacciones intra e interespecíficas de algunos modelos como los parásito-hospedero. Estos ejemplos, también subrayan la importancia de obtener miles de marcadores de DNA genómico, toda la evidencia disponible puede ser utilizada para responder preguntas evolutivas a diferentes escalas (profundas o recientes). Además, es indiscutible para todos los casos que se requiere una filogenia robusta para probar distintas hipótesis, por lo que la filogenómica resulta indispensable en estos estudios (Tabla 1).

Table 1. Summary of the genomic evidence and some findings of the studied cases.

Tabla 1. Resumen de la evidencia genómica y algunos hallazgos de los casos de estudio.

Modelo de estudio	Referencia	Recursos genómicos	Análisis biogeográficos	Patrones actuales de distribución y hallazgos
Uvas (<i>Vitis</i>)	Ma et al., 2018	41 genomas completos resecuenciados	Análisis binario bayesiano BMM en RASP	Distribución Holártica. Origen Norteamericano del ancestro de <i>Vitis</i> y subsecuente migración y diversificación en Europa y Asia.
Cítricos (<i>Citrus</i>)	Wu et al., 2018	60 genomas completos	Análisis de árboles filogenéticos, tiempos de divergencia y uso de fósiles.	Distribución en el Sureste de Asia y norte de Australia. Centro de origen a los pies del Himalaya, con periodos de diversificación en el Mioceno, con las últimas divergencias durante el Plioceno y el Pleistoceno en Australia y Japón respectivamente.
Percas pigmeas (<i>Nannoperca</i>)	Buckley et al., 2018	Representación reducida del genoma (ddRad) de 45 muestras individuales	Paquete de R BioGeoBEARS	Distribución disyunta en Australia (Este- Oeste). Múltiples migraciones desde el Este hacia el Oeste promovieron el establecimiento y posterior diversificación de especies de percas pigmeas. Posteriormente se estableció una barrera infranqueable originando la distribución disyunta actual.
Parásitos (<i>Physconelloides</i>)	Sweet et al., 2018	12 genomas completos	Método Madisson-Slatkin	Distribución en todo el continente americano. La diversificación en parásitos es multifactorial. La biogeografía es un pobre predictor de los posibles procesos de diversificación en este grupo de parásitos.

FILOGENÓMICA Y ESPECIES CRÍPTICAS

Una vez que hemos notado las aplicaciones y el potencial de la filogenómica en distintas ramas de la ciencia, podemos integrar esta poderosa herramienta en el estudio de las denominadas especies crípticas. La taxonomía es la ciencia (y la práctica) de la delimitación y clasificación de unidades biológicas, se encarga principalmente de identificar, nombrar, clasificar y describir organismos (Dantas-Torres, 2018; Struck & Cerca, 2019). El desafío que plantean las especies crípticas ha sido reconocido por más de 300 años, sin embargo, con la llegada de métodos de secuenciación de DNA relativamente a bajo costo y en tiempos cortos han dado una herramienta poderosa para detectar y diferenciar especies morfológicamente muy similares, pero que al menos en el aspecto genético resultan muy distintas entre sí (Bickford et al., 2007; Poulin & Pérez-Ponce de León, 2017; Dantas-Torres, 2018; Struck & Cerca, 2019). A partir de la década de los 90, las especies crípticas han sido detectadas a un ritmo cada vez mayor a través de todos los hábitats de la Tierra y en prácticamente todas las ramas del árbol de la vida incluyendo una amplia diversidad de organismos: hongos, algas, protistas, plantas, reptiles, anfibios, invertebrados, crustáceos y primates (Bickford et al., 2007; Pfenninger & Schwenk, 2007; Pérez Ponce-de León & Poulin; Poulin & Pérez-Ponce de León, 2017; Fišer et al., 2018; Struck & Cerca, 2019). El descubrimiento de especies crípticas en todas las ramas del árbol de la vida, sugiere una independencia del taxón y el bioma o hábitat y por lo tanto, podría tener profundas implicaciones en la teoría evolutiva, biogeografía, macroecología, conservación y manejo de la biota (Bickford et al. 2007, Pfenninger & Schwenk, 2007). El primer intento de unificar un marco conceptual para el estudio de especies crípticas fue el de Bickford et al. (2007), quienes definieron especie críptica como: “dos o más especies distintas que son erróneamente clasificadas (por lo tanto ocultas) bajo un solo taxón específico” (Struck & Cerca, 2019). Otra definición similar fue dada por Pfenninger y Schwenk (2007), quienes definen a las especies crípticas como “dos o más especies que fueron clasificadas y nombradas como una sola especie debido a su gran similitud morfológica”. Más recientemente Dantas-Torres (2018), definió a las especies crípticas como: “dos o más especies distintas que son morfológicamente similares o idénticas”. Este último concepto parece ser el más apropiado para designar linajes metapoblacionales con historias evolutivas independientes, pero que comparten gran similitud en varios caracteres morfológicos entre las especies comparadas. Existen algunos patrones generales reconocidos hasta la fecha para estudios que han abordado el tema de especies crípticas, el primero (y quizá bastante obvio), es que mientras más secuencias de DNA e individuos incorporan, estos

estudios tienden a recuperar una mayor diversidad críptica; segundo, aparentemente las especies de agua dulce tienen mayor probabilidad de ser crípticas en comparación con linajes terrestres o marinos y tercero, que los parásitos no presentan más especies crípticas en comparación con organismos de vida libre (Poulin & Pérez-Ponce de León, 2017). Consecuentemente con el advenimiento de la genómica y la filogenómica, en los próximos años podremos ver si estos patrones obtenidos con datos de secuenciación Sanger se mantienen o cambiarán en la era de la filogenómica.

Actualmente se está incorporando la filogenómica para descubrir, y en algunos casos describir formalmente especies crípticas en reptiles (Singhal et al., 2018), anfibios (Dufresnes et al., 2018), algas marinas (Boo & Hughey, 2019) y plantas con flor (Spriggs et al., 2019), por mencionar algunos ejemplos. Sin embargo, si deseamos saber cuáles son los procesos involucrados en los patrones reconocidos en la formación de especies crípticas (especiación críptica), podemos seguir el criterio recientemente propuesto por Struck et al. (2018). Estos autores establecen una metodología clara para designar especies crípticas y determinar los posibles procesos involucrados en la formación de estas especies. Primero, debemos establecer que las especies bajo estudio son especies verdaderas, dado el concepto de especie aplicado (este paso no es distinto de cualquier otro proceso de delimitación de especies, independientemente si las entidades son crípticas o no); y segundo, debemos demostrar que las especies son fenotípicamente más similares entre sí de lo esperado, dado el tiempo que ha pasado desde su último ancestro común (o el grado de divergencia genética como aproximación de tiempo). Por lo tanto, las especies crípticas deben ser llamadas así, solo si el grado de disparidad fenotípica es significativamente menor de lo esperado (Struck et al., 2018; Struck & Cerca, 2019). Ahora bien, ¿cómo delimitar especies con escasa o nula información fenotípica? A diferencia de especies que reflejan los procesos de especiación en la morfología, para descubrir y describir a las crípticas, se deben seguir otras estrategias en el proceso de delimitación de especies. Generalmente estas especies son abordadas con métodos de delimitación, a partir de análisis de información genética/genómica, y posteriormente validadas estadísticamente por algún programa.

Actualmente se siguen desarrollando y mejorando programas que ayudan a delimitar especies a partir de caracteres moleculares, la ventaja de estos métodos es que evita la necesidad de tener muchos criterios subjetivos en la delimitación de especies (en cualquiera, sea críptica o no). Por lo tanto, la delimitación de especies con datos moleculares ha sido implementada en algunos estudios como método único

(no recomendado), o como parte de un enfoque de taxonomía integrativa (recomendado) (Sukumaran & Knowles, 2017; Luo et al., 2018). Los primeros intentos fueron dirigidos a evaluar un simple locus, aquí destacan los programas GMYC y PTP ampliamente utilizados, sin embargo, en la actualidad estos dos programas también son incorporados en aproximaciones multilocus (incluso genómicos), para delimitar especies. El GMYC intenta diferenciar estadísticamente procesos de coalescencia intraespecífica, contra eventos de especiación a través de un árbol ultramétrico, mientras que el PTP intenta diferenciar el número de sustituciones nucleotídicas por comparación de secuencias, bajo el supuesto de que las secuencias que reflejan eventos de especiación mostrarán mayores sustituciones nucleotídicas en comparación con las secuencias de una sola especie, las cuales tendrán menor número de sustituciones (Leavitt et al. 2015; Luo et al., 2018). Estos dos métodos pueden combinarse incluso con otros programas más sofisticados, que integran estadísticos y modelos complejos, como el popular BP&P o SpeDeSTEM, y BFD*, estos tres métodos, incorporan el modelo multiespecies-coalescencia para delimitar y validar estadísticamente especies putativas con datos genómicos (multilocus los dos primeros y el tercero incorpora SNP). Hasta la fecha, el programa BP&P es el que ha demostrado mayor precisión y menores errores en cuanto a la delimitación de especies “verdaderas”, incluso en escenarios complejos de especiación (Luo et al. 2018). Evidentemente este programa no está libre de errores (es particularmente sensible a modelos que incluyen flujo génico y a errores en la definición de los parámetros θ y τ), actualmente también sabemos que este programa delimita estructura tanto poblacional (intraespecífica) como debida a especiación (interespecífica), por lo que existe incertidumbre sobre como diferenciar estas estructuras, ya que solo las segundas delimitan especies en sentido estricto (Sukumaran & Knowles, 2017). Estas debilidades del sofisticado BP&P pueden subsanarse incorporando otras líneas de evidencia, en el caso de especies crípticas serán diferentes a la morfología, como aspectos en ecología, distribución, etología y cualquier atributo que ayude a delimitar especies putativas (Sukumaran & Knowles, 2017; Luo et al., 2018).

Aunque también existen otras propuestas, que sugieren que el potencial de los recursos genómicos puede detallar a niveles muy precisos la diversidad biológica, a pesar de ello, la mayoría de los trabajos han fallado en demostrar este potencial. Por ejemplo, las distintas líneas de evidencia para delimitar especies pueden ser derivadas directamente de aspectos genómicos (al menos en teoría), de acuerdo con Stanton et al. (2019): 1) la evidencia morfológica puede ser identificada vía diferenciación en el desarrollo y genes estructurales, 2) evidencia biogeográfica puede ser derivada utilizando modelos complejos

y datos a escala genómica, 3) diferencias en el comportamiento pueden ser inferidas mediante la identificación de genes asociados con el comportamiento, selección de pareja, y otras características demográficas, 4) la evidencia ecológica puede ser derivada de las firmas genómicas de selección a ciertas características ambientales y 5) el aislamiento reproductivo puede ser observado en la compatibilidad/incompatibilidad de cromosomas sexuales, estructura cromosómica y transmisión epigenómica. Si efectivamente utilizamos todo el potencial de información derivada del estudio de los genomas, incluso tendríamos evidencias para abordar los dos conceptos de especie más utilizados sin inconvenientes en un mismo estudio, el filogenético y el biológico.

Una vez que tenemos certeza que las especies crípticas que hemos descubierto son un resultado inherente de la evolución, podemos tratar de inferir los procesos involucrados en la generación de esta diversidad. La escasa disparidad fenotípica (morfologías conservadas), ha recibido considerablemente menor atención en biología evolutiva, contrario a su fenómeno opuesto, la radiación adaptativa (Struck & Cerca, 2019). Mientras que las especies crípticas pueden ser sistemas ideales para informarnos sobre las causas de la reducida disparidad fenotípica, lo primero que se requiere es identificar el proceso evolutivo (o los procesos) que es/son causante(s) de la formación de especies crípticas, para lo cual, se han sugerido cuatro procesos (no excluyentes) que dan lugar a la *crípsis*: divergencia reciente, convergencia, paralelismo y estasis (Fišer et al., 2018; Struck et al., 2018; Struck & Cerca, 2019). La idea que subyace en reconocer estos procesos, es la utilización de las filogenias robustas (de preferencia con datos genómicos), como base para poder identificar estos procesos en marcos de tiempo evolutivos o divergencias genómicas, evidentemente a la luz de similitud morfológica.

En el caso de la divergencia reciente, las especies crípticas no son distintas de las no-crípticas, en el sentido de que debido a su origen reciente, poco o nulo cambio fenotípico puede observarse (particularmente en la morfología). En el caso de la similitud fenotípica debida a la convergencia o paralelismo, las especies crípticas evolucionan independientemente a fenotipos similares. En el paralelismo, las especies crípticas no necesariamente deben ser taxones hermanos, aquí lo importante es que las especies crípticas evolucionaron de ancestros similares fenotípicamente. En comparación con taxones hermanos no-crípticos y más recientes, la disparidad morfológica cambia menos a medida que las especies crípticas evolucionan de un morfotipo similar (en el ancestro común) a otro similar (en la descendencia). Por otra parte, en la convergencia, las especies crípticas no están

estrechamente relacionadas y su similitud morfológica (en la descendencia) resulta de una evolución independiente de ancestros morfológicamente distintos. Finalmente, la estasis, se refiere a grupos de taxones hermanos o grupos monofiléticos que retienen un alto grado de similitud morfológica sobre periodos extensos de tiempo. La propuesta de abordar a las especies crípticas bajo este enfoque, permite inferir probables procesos evolutivos involucrados en la similitud de caracteres fenotípicos en algunos taxones, más que “simplemente” reportar patrones de diversidad críptica en ciertos grupos taxonómicos (Struck & Cerca, 2019; Struck et al., 2018).

CONCLUSIONES FINALES Y PERSPECTIVAS

Es indudable que ya estamos inmersos en la era de la genómica, las tendencias en los próximos años serán la obtención de genomas completos de organismos no-modelo con alta precisión, conforme las tecnologías de secuenciación incrementan la precisión en la secuenciación de largos fragmentos de DNA. Mientras obtenemos genomas completos, las técnicas de reducción del genoma irán cada vez más dirigidas hacia métodos de enriquecimiento híbrido (captura de secuencias), aunque las técnicas RAD seguirán siendo una opción como primeras aproximaciones genómicas a los grupos de estudio. El desarrollo tecnológico en secuenciación, deberá ir de la mano con la actualización de herramientas bioinformáticas que permitan la integración de la información genómica en estudios ecológicos, evolutivos, taxonómicos, etc. Actualmente, aún estamos en el proceso de optimizar al máximo la información derivada de los datos genómicos, en este sentido, son evidentes las aportaciones de la filogenómica al conocimiento de la diversidad biológica, desde aspectos básicos (sistemática y en ocasiones en taxonomía), hasta la formación de un marco evolutivo, que permita la integración de diversas disciplinas biológicas. La finalidad es responder distintas preguntas que ayudarán a la conservación y mejor manejo de los recursos naturales, así como en el desarrollo de terapias y fármacos. Conforme las limitaciones tecnológicas en la obtención de datos genómicos parecen estar desapareciendo, los retos aparecen en otras áreas (pérdida de la biodiversidad a gran velocidad, reducción y destrucción de hábitats y ecosistemas, sobrepoblación, desigualdad).

Aunque las especies crípticas han sido reconocidas desde hace muchos años, ahora podemos estudiar los procesos involucrados en la escasa disparidad morfológica de algunas especies. El reconocimiento de la diversidad críptica, permitirá tener mayor conocimiento sobre los mecanismos de evolución y especiación, así como establecer mejores estrategias de conservación.

Debido a que las especies crípticas tienen una función en el ecosistema como cualquier otra, tienen relaciones intra e interespecíficas en las redes complejas que mantienen la evolución de la biodiversidad. Si no somos capaces de reconocer la diversidad críptica, estaremos sesgando el conocimiento y la conservación a únicamente especies morfológicamente diferenciadas, por lo que no tendremos el rompecabezas completo, desconociendo así la biodiversidad total y el papel que desempeña cada una de las especies que componen el árbol de la vida.

Agradecimientos.— Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM, al CONACYT por la beca de doctorado otorgada (CVU 586418) y a los revisores anónimos por sus comentarios, los cuales, ayudaron a mejorar el manuscrito. Agradezco al PAPIIT IN216218 y a la Dra. Leticia Ochoa Ochoa por la invitación a someter el manuscrito a la RLH. Agradezco al comité editorial de la Royal Society Open Science, a Lianne Parkhouse y a Sean Buckley por permitir la reproducción de la Figura 2.

LITERATURA CITADA

- Andrews, K.R. 2016. Harnessing the power of RADseq for ecological and evolutionary genomics. *Nature Reviews Genetics* 17:81-92.
- Barby, F.F., P. Ráb, S. Lavoue, T. Ezaz, L.A.C. Bertollo, A. Kilian, S.R. Maruyama, E.A. de Oliveira, R.F. Artoni, M.H. Santos, O.I. Jegede, T. Hatanaka, A. Tanomtong, T. Liher & M. de Bello Cioffi. 2018. From chromosomes to genome: insights into the evolutionary relationships and biogeography of old world knifefishes (Notopteridae; Osteoglossiformes). *Genes* 306:1-21.
- Bickford, D., D.J. Lohman, N.J. Sodhi, P.K.L. Ng, R. Meier, K. Winker, K.K. Ingram & I. Das. 2007. Cryptic species as a window on diversity and conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 22(3):148-155.
- Bleidorn, C. 2017. *Phylogenomics an introduction*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland.
- Boo, G.H. & J.R. Hughey. 2019. Phylogenomics and multigene phylogenies decipher two new cryptic marine algae from California, *Gelidium gabrielsonii* and *G. kathyanniae* (Gelidiales, Rhodophyta). *Journal of Phycology* 55:160-172.
- Bryant, D., R. Bouckaert, J. Felsenstein, N.A. Rosenberg & A. RoyChoudhury. 2012. Inferring species trees directly from biallelic genetic markers: bypassing gene trees in a full coalescent analysis. *Molecular Biology and Evolution* 29:1917-1932.

- Buckley, S.J., F.M.C.B. Domingos, C.R.M. Attard, C.J. Brauer, J.D. Sandoval-Castillo, R. Lodge, P.J. Unmack & L.B. Behegaray. 2018. Phylogenomic history of enigmatic pygmy perches: implications for biogeography, taxonomy and conservation. *Royal Society Open Science* 5:1-17.
- Cariou, M., L. Duret & S. Charlat. 2013. Is RAD-seq suitable for phylogenetic inference? An in silico assessment and optimization. *Ecology and Evolution* 3:846-852.
- Chan, C.X. & M.A. Ragan. 2013. Next-generation phylogenomics. *Biology Direct* 8:1-6.
- Chou, J., A. Gupta, S. Yaduvanshi, R. Davidson, M. Nute, S. Mirarab & T. Warnow. 2015. A comparative study of SVDquartets and other coalescent-based species tree estimation methods. *BMC Genomics*, 16:1-11.
- Chifman, J. & L. Kubatko. 2014. Quartet Inference from SNP Data Under the Coalescent Model. *Bioinformatics*. 30:3317-3324.
- Chifman J. & L. Kubatko. 2015. Identifiability of the unrooted species tree topology under the coalescent model with time-reversible substitution processes, site-specific rate variation, and invariable sites. *Journal of Theoretical Biology* 374:35-47.
- Da Fonseca, R.R., A. Albrechtsen, G. E. Themudo, J. Ramos-Madrugal, J. A. Sibbesen, L. Marett, M. L. Zepeda-Mendoza, P. F. Campos, R. Heller & R. J. Pereira. 2016. Next-generation biology: Sequencing and data analysis approaches for non-model organisms. *Marine Genomics* 30:3-13.
- Dantas-Torres, F. 2018. Species concepts: what about ticks? *Trends Parasitology* 34(12):1017-1026.
- Delsuc, F., H. Brinkmann & H. Phillipe. 2005. Phylogenomics and the reconstruction of the tree of life. *Nature Reviews Genetics* 6:361-375.
- DiBattista, J.D., M.E. Alfaro, L. Sorenson, J.H. Choat, J.P. Hobbs, T. Sinclair-Taylor, L.A. Rocha, J. Chang, O.J. Luiz, P.F. Cowman, M. Friedman & M.L. Berumen. 2018. Ice ages and butterflyfishes: Phylogenomics elucidates the ecological and evolutionary history of reef fishes in an endemism hotspot. *Ecology and Evolution* 8:10989-11008.
- Dufresnes, C., G. Mazepa, N. Rodrigues, A. Brelsford, S.N. Litvinchuk, R. Sermier, G. Lavanchy, C. Betto-Colliard, O. Blaser, A. Borzée, E. Cavoto, G. Fabre, K. Ghali, C. Grossen, A. Horn, J. Leuenberger, B.C. Phillips, P.A. Saunders, R. Savary, T. Maddalena, M. Stöck, S. Dubey, D. Canestrelli & D.L. Jeffries. 2018. Genomic evidence for cryptic speciation in tree frogs from the Apennine Peninsula, with description of *Hyla perrini* sp. nov. *Frontiers in Ecology and Evolution* 6(144):1-18.
- Eaton, D.A.R. 2014. PyRAD: assembly of de novo RADseq loci for phylogenetic analyses. *Bioinformatics* 30: 1844-1849.
- Eaton, D.A.R., E.L. Spriggs, B. Park & M.J. Donoghue. 2017. Misconceptions on missing data in RAD-seq phylogenetics with a deep-scale example from flowering plants. *Systematic Biology* 66: 399-412.
- Escalona-Fermín, M.M. 2018. Sensitivity of phylogenomic inference to the design of NGS target enrichment in non-model organisms. PhD Thesis. Universidad de Vigo, España.
- Faircloth, B.C., J.E. McCormack, N.G. Crawford, M.G. Harvey, R.T. Brumfield & T.C. Glenn. 2012. Ultraconserved elements anchor thousands of genetic markers spanning multiple evolutionary timescales. *Systematic Biology* 61:717-726.
- Fišer, C., C.T. Robinson & F. Malard. 2018. Cryptic species as a window into the paradigm shift of the species concept. *Molecular Ecology* 1:1-23.
- Geoghegan, J.L. & E.C. Holmes. 2018. The phylogenomics of evolving virus virulence. *Nature Reviews Genetics* 19:756-769.
- Grab, H., M.G. Branstetter, N. Amon, K.R. Urban-Mead, M.G. Park, J. Gibbs, E.J. Blitzer, K. Poveda, G. Loeb & B.N. Danfort. 2019. Agriculturally dominated landscapes reduce bee phylogenetic diversity and pollination services. *Science* 363:282-284.
- Grover, C.E., M.A. Arick II, J.L. Conover, A. Thrash, G. Hu, W.S. Sanders, C.Y. Hsu, R.Z. Naqvi, M. Farooq, X. Li, L. Gong, J. Mudge, T. Ramaraj, J. Udall, D.G. Peterson & J.F. Wendel. 2017. Comparative genomics of an unusual biogeographic disjunction in the cotton tribe (Gossypieae) yields insights into genome downsizing. *Genome Biology and Evolution* 9:3328-3344.
- Huang, H. & L.L. Knowles. 2016. Unforeseen consequences of excluding missing data from Next-Generation Sequences: simulation study of RAD sequences. *Systematic Biology* 65:357-365.
- Jain, M., H.E. Olsen, B. Paten & M. Akeson. 2016. The Oxford Nanopore MinION: delivery of nanopore sequencing to the genomics community. *Genome Biology* 17:1-11.

- Jones, M.R. & J.M. Good. 2016. Targeted capture in evolutionary and ecological genomics. *Molecular Ecology* 25:185-202.
- Leavitt, S.D., C.S. Moreau & H.T. Lumbsch. 2015. The dynamic discipline of species delimitation: progress toward effectively recognizing species boundaries in natural populations. Pp. 11-44. En Kumar, D., P. K. Divakar, V. Shukla, & R. Bajpai (Eds.). *Recent advances in lichenology modern methods and approaches in Lichen systematics and culture techniques*. Springer New Delhi.
- Lemmon, A.R., S.A. Emme & E.M. Lemmon. 2012. Anchored hybrid enrichment for massively high-throughput phylogenomics. *Systematic Biology* 61:727-744.
- Lemmon, E.M. & A.R. Lemmon. 2013. High-Throughput genomic data in systematics and phylogenetics. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 44:99-121.
- Liu, L., S. Wu & L. Yu. 2015. Coalescent methods for estimating species trees from phylogenomic data. *Journal of Systematics and Evolution* 53:380-390.
- López-de Heredia, U. 2016. Las técnicas de secuenciación masiva en el estudio de la diversidad biológica. *Munibe Ciencias. Naturales* 64:1-25.
- Luo, A., C. Ling, S.Y.W. Ho & C. Zhu. 2018. Comparison of methods for molecular species delimitation across a range of speciation scenarios. *Systematic Biology* 67(5):830-846.
- Ma, Z.Y., J. Wen, S. Ickert-Bond, Z.L. Nie, L.Q. Chen & X.Q. Liu. 2018. Phylogenomics, biogeography, and adaptive radiation of grapes. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 129:258-267.
- Maddison, W.P. 1997. Gene trees in species trees. *Systematic Biology* 46(3):523-536.
- Mallo, D. & D. Posada. 2016. Multilocus inference of species trees and DNA barcoding. Multilocus inference of species trees and DNA barcoding. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 371:1-11.
- McCormack, J.E., S.M. Hird, A.J. Zellmer, B.C. Carstens & R.T. Brumfield. 2013. Applications of next-generation sequencing to phylogeography and phylogenetics. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 66:526-538.
- Pérez-Ponce de León, G. & R. Poulin. 2016. Taxonomic distribution of cryptic diversity among metazoans: not so homogeneous after all. *Biology Letters* 12:1-5.
- Pfenninger, M. & K. Schwenk. 2007. Cryptic animal species are homogeneously distributed among taxa and biogeographical regions. *BMC Evolutionary Biology* 7(121):1-6.
- Philippe, H., F. Delsuc, H. Brinkmann & N. Lartillot. 2005. Phylogenomics. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 36:541-562.
- Phillipe, H. & M. Blanchette. 2007. Overview of the first phylogenomics conference. *BMC Evolutionary Biology* 7:1-4.
- Posada, D. 2016. Phylogenomics for systematic biology. *Systematic Biology* 65(3):353-356.
- Potter, S., J.G. Bragg, B.M. Peter, K. Bi & C. Moritz. 2016. Phylogenomics at the tips: inferring lineages and their demographic history in a tropical lizard, *Carlia amax*. *Molecular Ecology* 25:1367-1380.
- Poulin, R. & G. Pérez-Ponce de León. 2017. Global analysis reveals that cryptic diversity is linked with habitat but not mode of life. *Journal of Evolutionary Biology* 30:641-649.
- Pyron, A. 2015. Post-molecular systematics and the future of phylogenetics. *Trends in Ecology and Evolution* 30:384-389.
- Reyes-Velasco, J., J.D. Manthey, X. Freilich & S. Boissinot. 2018. Diversification of African tree frogs (genus *Leptopelis*) in the highlands of Ethiopia. *Molecular Ecology* 27:2256-2270.
- Rhoads, A. & K.F. Au. 2015. PacBio sequencing and its applications. *Genomics Proteomics Bioinformatics* 13:278-289.
- Sanmartín, I. 2012. Biogeografía. Pp. 457-474. En P. Vargas & R. Zardoya (Eds.). *El Árbol de la Vida: sistemática y evolución de los seres vivos*. Ediciones Reverté, España.
- Sánchez-Ramírez, S., A.W. Wilson & M. Ryberg. 2017. Overview of phylogenetic approaches to mycorrhizal biogeography, diversity and evolution. Pp 1-37. En L. Tedersoo (Ed.), *Biogeography of Mycorrhizal Symbiosis*. Springer Nature, Switzerland.
- Singhal, S., C.J. Hoskin, P. Couper, S. Potter & C. Moritz. 2018. A framework for resolving cryptic species: a case study from the lizards of the Australian wet tropics. *Systematic Biology* 67(6):1061-1075.
- Slatko, B. E., A. F. Gardner & F. M. Ausubel. 2018. Overview of next-generation sequencing technologies. *Current Protocols in Molecular Biology* 122:1-11.

- Spriggs, E.L., D.A.R. Eaton., P.W. Sweeney, C. Schlutius, E.J. Edwards & M.J. Donoghue. 2019. Restriction-Site-Associated DNA sequencing reveals a cryptic *Viburnum* species on the North American coastal plain. *Systematic Biology* 68:187-203.
- Stanton, D.W.G., P. Frandsen, R.K. Waples, R. Heller, I.M. Russo, P.A. Orozco-terWengel, C.E.T. Pedersen, H.R. Siegismund & M.W. Bruford. 2019. More grist for the mill? Species delimitation in the genomic era and its implications for conservation. *Conservations Genetics* 20:101-113.
- Struck, T.H. & J. Cerca. 2019. Cryptic species and their evolutionary significance. *eLS* 1:1-9.
- Struck, T.H., J.L. Feder, M. Bendiksbj, S. Birkeland, J. Cerca, V.I. Gusarov, S. Kistenich, K.H. Larsson, L.H. Liow, M.D. Nowak, B. Stedje, L. Bachmann & D. Dimitrov. 2018. Finding evolutionary processes hidden in cryptic species. *Trends in Ecology and Evolution* 33(3):153-163.
- Sukumaran, J. & L. Knowles. 2017. Multispecies coalescent delimits structure, not species. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 114(7):1607-1612.
- Sweet, A.D., B.M. Boyd, J.M. Allen, S.M. Villa, M.P. Valim, J.L. Rivera-Parra, R.E. Wilson & K.P. Johnson. 2018. Integrating phylogenomic and population genomic patterns in avian lice provides a more complete picture of parasite evolution. *Evolution*. 72:95-112.
- Wiens, J.J. & D.S. Moen. 2008. Missing data and the accuracy of Bayesian phylogenetics. *Journal of Systematics and Evolution* 46:307-314.
- Wu, G.A., J. Terol, V. Ibanez, A. López-García, E. Pérez-Roman, C. Borredá, C. Domingo, F.R. Tadeo, J. Carbonell-Caballero, R. Alonso, F. Curk, D. Du, P. Ollitaut, M.L. Roose, J. Dopazo, F.G. Gmitter Jr, D. Rokhsar & M. Talon. 2018. Genomics of the origin and evolution of Citrus. *Nature*. 554, 311-316.
- Zhao, P., H.J. Zhou, D. Potter, Y.H. Hu, X.J. Feng, M. Dang, L. Feng, S. Zulfigar, W.Z. Liu, G.F. Zhao & K. Woste. 2018. Population genetics, phylogenomics and hybrid speciation of Juglans in China determined from whole chloroplast genomes, transcriptomes, and genotyping-by-sequencing (GBS). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 126:250-265.



OBSERVACIONES SOBRE COMPORTAMIENTO Y REPRODUCCIÓN DE *TRIPRIION SPINOSUS* (ANURA: HYLIDAE) EN CAUTIVERIO

OBSERVATIONS ABOUT THE BEHAVIOUR AND REPRODUCTION OF *TRIPRIION SPINOSUS* (ANURA HYLIDAE) IN CAPTIVITY

NELSON M. CERÓN DE LA LUZ^{2,3,*}, ÁNGEL IVÁN CONTRERAS CALVARIO¹ Y FELIPE A. LARA HERNÁNDEZ²

¹Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Campus Peñuela. Camino Peñuela- Amatlán S/N Peñuela, Amatlán de los Reyes, Veracruz C. P. 94945

²Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México- Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C.P. 56230

³Herpetario Palancoatl. Av. 19 #5225 Col. Nueva Esperanza, Córdoba, Veracruz C.P. 94540

*Correspondence: nelsonmartinceron@gmail.com

Abstract.— We describe the behavior and reproduction in captivity of *Tripriion spinosus*, a frog distributed in Mexico that has experienced population decline due to habitat loss and land use change. We emphasize the importance of *ex situ* reproduction as a strategy for the conservation of the species.

Keywords.— Amphibian, conservation, *ex situ*, Mexican species.

Resumen.— Se describe el comportamiento y reproducción en cautiverio de *Tripriion spinosus*, una rana con distribución en México, la cual sus poblaciones disminuyen debido a la pérdida de hábitat y al cambio de uso de suelo, se remarca la importancia de la reproducción *ex situ* como una estrategia para la conservación de las especies.

Palabras clave.— Anfibio, conservación, *ex situ*, especies mexicanas.

INTRODUCCIÓN

Debido a factores antropogénicos (p. ej., la destrucción de hábitat, introducción de especies exóticas) al efecto del cambio climático global y a enfermedades infecciosas emergentes los anfibios están sufriendo una crisis de extinción sin precedentes (Parra Olea et al., 2014).

El mantenimiento de anfibios en cautiverio, ha permitido el desarrollo de centros de exhibición, programas de educación e investigación, una industria basada en sus derivados, además del mantenimiento de poblaciones de especies amenazadas o en peligro de extinción, con lo cual, esta práctica aporta información importante en programas de reintroducción o de conservación *ex situ* (Mendelson et al., 2006; Zippel et al., 2011 en Arias-Ortega et al., 2016). Una de las especies de las que la información es escasa, es precisamente *T. spinosus* por lo poco

frecuente de los encuentros en vida silvestre y pocos ejemplares en cautiverio. El presente trabajo busca llenar huecos en cuanto al conocimiento de su comportamiento.

Tripriion spinosus es un hylido grande, hasta de 8 cm de LHC en estado adulto, caracterizado por un cráneo con una serie de espinas óseas, que se desarrollan con la edad, y que son más prominentes en machos. Presenta una distribución discontinua en la vertiente del Atlántico encontrándose en los estados de Puebla, Veracruz, Oaxaca y Chiapas en México; hacia el sur hasta la vertiente del Pacífico en el oeste de Panamá. (Savage 2002; Luria Manzano et al., 2013).

Presenta un modo reproductivo bastante especializado ya que se reproducen en cuerpos de agua muy pequeños y con características particulares como son oquedades de troncos y bambú (Duellman 2001; Robinson 1961), bromelias (Taylor 1954;

Rodríguez Brenes, et al., 2013), y grietas en las rocas, donde se almacena agua. Aquí los renacuajos tienen que desarrollarse pese a la escasez de alimento por esto las hembras depositan huevos no fertilizados para alimentarlos. (Luria Manzano, 2014).

Es una especie en categoría de Preocupación Menor (LC) en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), a pesar de esto, se considera que sus poblaciones son decrecientes, principalmente por la pérdida y fragmentación del hábitat y el cambio de uso del suelo. (Santos-Barrera et al., 2018.)

En este trabajo, contribuimos al conocimiento de la biología reproductiva de *T. spinosus* en condiciones de cautiverio, así como observaciones de comportamiento. Estas observaciones se llevaron a cabo de julio de 2016 a julio de 2017.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el PIMVS “Herpetario Palancoatl” (registro: No. SEMARNAT-PIMVS-CR-IN-0013-VER/13), ubicado en la ciudad de Córdoba, Veracruz, México, (18.89436° N, 96.96634° O; WGS 84; elev. 950 m). Los datos conductuales mencionados se realizaron por observaciones directas diurnas y en ocasiones por la noche, con la ayuda de luz artificial, las cuales se realizaron en menor proporción procurando no alterar la actividad nocturna de los organismos.

Se utilizaron tres organismos, dos machos y una hembra sexualmente maduros (Fig. 1A). Que cumplen con la descripción antes mencionada, los machos con una longitud de 70 mm y 72 mm LHC respectivamente, mientras que la hembra 80 mm LHC. Dichos organismos son parte de la colección del PIMVS (#37, #38 Y #70), inicialmente los organismos se encontraban en terrarios separados bajo las mismas condiciones, posteriormente se decidió mantenerlos juntos en un mismo encierro.

El terrario mide 70 cm alto, 60 cm ancho y 50 cm de largo, hecho a base de vidrio transparente, con techo de malla mosquitera, la cara de fondo está recubierta con unicel, espuma de poliuretano, y fibra de coco simulando grietas en rocas, acondicionado con plantas del género *Epipremnum*, plantas artificiales, troncos, y recipientes de plástico con agua.

La temperatura del encierro oscila entre los 17 °C en invierno y 27 °C en verano, con una humedad relativa del 60%, y el fotoperiodo se logra con ciclos de luz natural, la temperatura del agua en el encierro es la misma que en el ambiente descrito, el sustrato que se utilizó fue una mezcla de fibra de coco, peat

moss, y hojarasca, el cual permite mantener una humedad constante, respecto a la alimentación es en base a cucaracha (*Nauphoeta cinérea*), grillos domésticos (*Achaeta domestica*) y ocasionalmente grillos hoja (*Microcentrum totonacum*), el cual se suministra dos veces por semana, con la misma porción para los tres organismos (15 grillos domésticos y 6 grillos hoja en total).



Figure 1. Reproductive specimens of *T. spinosus* (A), Amplexo of *T. spinosus* (B).

Figura 1. Ejemplares reproductores de *T. spinosus* (A), Amplexo de *T. spinosus* (B).

RESULTADOS

Los ejemplares adultos permanecen ocultos durante el día, iniciando su actividad al anochecer, generalmente los machos son los primeros en salir e iniciar con la búsqueda de alimento, posteriormente se les une la hembra. La actividad suele terminar en la mañana, una o dos horas antes de que se ilumine el encierro por luz natural, cuando las ranas vuelven a sus escondites, cabe señalar que cada uno de los ejemplares escoge una grieta (escondite) donde refugiarse, pero en ocasiones pueden encontrarse dos o a los tres ejemplares en un mismo sitio, estas ranas parecen no tener competencia por los lugares de descanso, pudiendo convivir pacíficamente aun entre machos. Los machos emiten sus llamados todo el año, por la noche y ocasionalmente durante el día si la temperatura no es alta (>27°C). Bland y O'donnell, (2016) mencionan un combate entre machos por territorio; los ejemplares aquí mencionados, se limitaron a competir mediante vocalizaciones, se puede inferir que no hubo presencia de peleas entre machos dadas las condiciones otorgadas como lo son alimentación y espacios de refugio; y en considerable medida la presencia humana.

La reproducción se ha llevado a cabo una vez que los organismos fueron colocados juntos en el encierro, en julio y noviembre de 2016 y febrero de 2017, el apareamiento inicia

cuando la hembra se introduce en algún recipiente con agua, seguido a esto el macho se posa sobre la hembra presentándose un amplexo de tipo axilar, observamos algunas contracciones por parte de la hembra y se posiciona de forma que sus cabezas quedan en el interior del agua mientras las cloacas fuera de ella (Fig. 1B), la hembra deposita los huevos sobre la pared del recipiente y el macho los fertiliza, cambian ligeramente de posición y se repite lo anterior durante 4 – 6 horas. Notamos que la hembra se apareo con ambos machos, siendo dos ocasiones con el macho más joven y una sola con el macho de más edad, las puestas con el macho joven fueron las que presentaron mayor número de huevos (primera y tercera puesta).

Las puestas están compuestas por cientos de huevos de los cuales solo algunos son fértiles. (Tabla 1), los huevos se distinguen por ser de color gris y centro blanco, rodeados de un gel transparente que los sostiene a la pared del recipiente, algunos huevos quedaron en el interior del agua adquiriendo el doble del tamaño de los que estaban fuera del agua, de estos no fue fértil ninguno de ellos.

Los renacuajos nacen tres días después de la puesta, con un tamaño promedio de dos milímetros de LT, estos fueron separados de los adultos y colocados en contenedores distintos, en donde se mantuvieron seis individuos en cada uno para tener un mejor control de ellos, se alimentaron con huevos infértiles puestos por la hembra y una vez que fueron consumidos se procedió a alimentarlos con alimento comercial para peces tropicales marca *Tetra* cada dos días, siendo bien aceptado por estos.

Table 1. *T. spinosus* nest in captivity.

Tabla 1. Puestas de *T. spinosus* en cautiverio.

# de puesta	Fecha	Número total de huevos	Huevos infértiles	Huevos fértiles	Numero de Renacuajos
Puesta 1	Julio 2016	312	297	15	12
Puesta 2	Noviembre 2016	72	67	5	3
Puesta 3	Febrero 2017	286	266	20	18

Al nacer presentan color gris-blanquecino, oscureciendo tornándose más oscuro posteriormente, el tamaño se duplico después de tres días y continuo hasta que alcanzaron un tamaño promedio de 1.5 cm a 45 días después de su nacimiento, a los 60 días de edad los renacuajos presentan color café oscuro, y comienzan a desarrollar patas traseras, en promedio 75-80 días después de su nacimiento ya presentan las patas delanteras y su color se asemeja al de los adultos, pasados 85-90 días, tienen un tamaño promedio de 1.8 cm, pierden la cola y salen del agua (Fig. 1), una vez hecho esto buscan refugio y permanecen inmóviles alrededor de un día antes de buscar su primer alimento, el cual consiste en crías ninfas de cucaracha s lobster (*Nauphoeta cinerea*) y/o grillo doméstico (*A. domesticus*). (Fig. 2)

DISCUSIÓN

Por lo observado, *T. spinosus* es una rana que posee una gran capacidad de ovoposición sin embargo son muy pocos los huevos

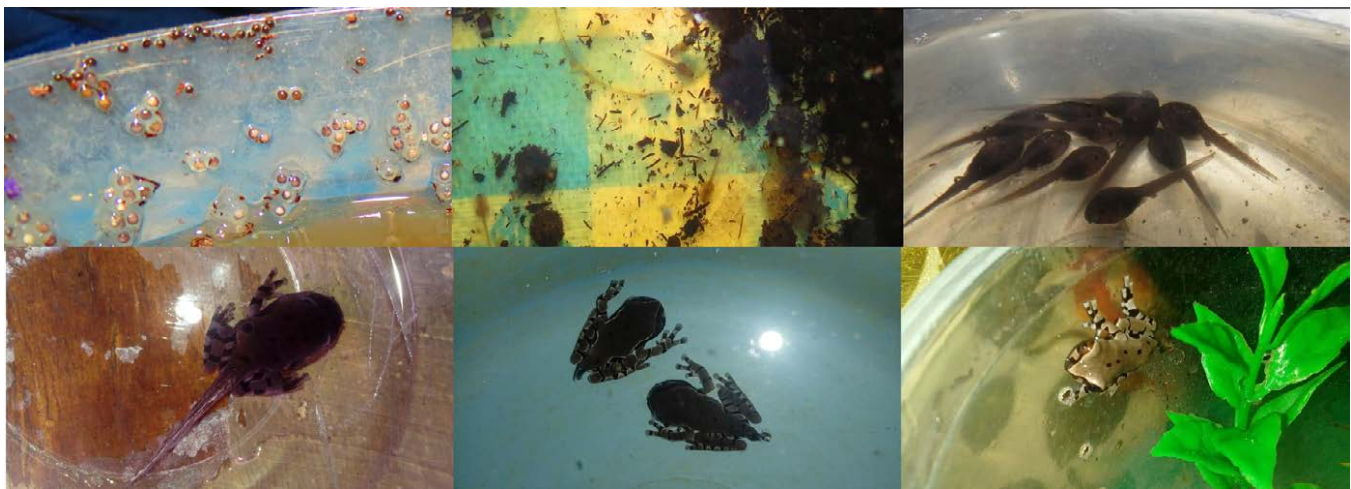


Figure 2. Growth process of *T. spinosus* from egg to juvenile.

Figura 2. Proceso de crecimiento de *T. spinosus* desde huevo a juvenil.

fértiles, tal vez se deba a que los huevos no fertilizados fungan como alimento en un medio donde este es escaso, dando a los renacuajos más posibilidades de sobrevivir.

CONCLUSIÓN

Al contrario de lo que se creía los huevos no fertilizados pueden sustituirse con alimento comercial para peces sin afectar el desarrollo de los organismos, ya que ninguno de los renacuajos parece haber tenido efectos adversos a esto. El proceso de metamorfosis es de aproximadamente tres meses, siendo el último renacuajo en nacer (esto en cada puesta) el que tarda más tiempo en transformarse con aproximadamente tres meses y medio o cuatro meses.

LITERATURA CITADA

- Arias-Ortega, J., F. Bonilla-Murillo & M. Sasa. 2016. Desarrollo de la herpetocultura en Costa Rica: Situación actual de herpetarios y manejo *ex situ* de reptiles y anfibios. *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)*. (Junio, 2016). EISSN: 2215-3896. 50(1): 1-23.
- Bland, A.W. & M.J. O'Donnell. 2016. Combat behavior in captive male Coronated Treefrogs, *Anotheca spinosa* (Anura: Hylidae). *Mesoamerican Herpetology* 3(3): 706-708.
- Duellman, E. 2001. *The Hylid Frogs of Middle America*, 2 vols, revised. SSAR Contributions to Herpetology, Ithaca, New York. 1159 pp. + 92 plates.
- Jungfer, K. 1996. Reproduction and parental care of the coronated treefrog, *Anotheca spinosa* (Steindachner, 1864) (Anura: Hylidae). *Herpetologica* 52:25-32.
- Luria Manzano, R. 2014. Diversidad de modos reproductivos de los anfibios mexicanos. *Saberes y ciencias* 30.
- Luria Manzano, R., J.L. Aguilar López, L. Canseco Márquez & M.G. Gutiérrez Mayen. 2014. Distribución geográfica de *Anotheca spinosa* (Anura: Hylidae) en México: nuevo registro para la anfibiofauna de Puebla. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(4):1285-1288.
- Parra-Olea, G., O. Flores-Villela & C. Mendoza-Almeralla. 2014. Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad, Supl.* 85: S460-S466.
- Robinson, D.C. 1961. The identity of the tadpole of *Anotheca coronata* (Stejneger). *Copeia* 1961:495.
- Rodriguez-Brenez, S., B. Hilje & C. Sánchez. 2013. Reproductive Behavior of *Anotheca spinosa* (Anura: Hylidae) Under Natural Conditions in Costa Rica. *Herpetological Review* 44(1), 54-56.
- Santos-Barrera, G., O. Flores-Villela, F. Solís, R. Ibáñez, J. Savage, G. Chaves & B. Kubicki. 2008. *Anotheca spinosa*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e.T55296A11276568. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T55296A11276568.en>. Downloaded on 01 December 2018.
- 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. 934 pp.
- Taylor, E.H. 1954. Frog-egg-eating tadpoles of *Anotheca coronata* (Stejneger) (Salientia, Hylidae). *Univ. Kansas Sci. Bull.* 36(8):589-595.



ANFIBIOS Y REPTILES DEL CENTRO EDUCATIVO HOBONIL, TZUCACAB, YUCATÁN, MÉXICO

AMPHIBIANS AND REPTILES AT HOBONIL EDUCATIONAL CENTER, TZUCACAB, YUCATAN, MEXICO

PEDRO E. NAHUAT-CERVERA^{1,2*}, SILVIA HERNÁNDEZ-BETANCOURT¹ Y LUIS F. DÍAZ-GAMBOA³

¹*Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán. Km 15.5. carr. Mérida-Xmatkuil, Mérida, Yucatán. C.P.97315. México.*

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

³*Red para la Conservación de los Anfibios y Reptiles de Yucatán (RCARY), Carretera Sierra Papacal-Chuburna Puerto Km. 5, Sierra Papacal, Yucatán, México.*

*Correspondence: pedro.nahuat4@gmail.com

Abstract.— The Hobonil Education Center (CEH) is a field station associated with the Universidad Autónoma de Yucatán located in the municipality of Tzucacab in the southern part of Yucatán state in Mexico. Here we present an inventory of the amphibian and reptile species found at the CEH, obtained by fieldwork conducted five days a year for seven years, with the use of different field techniques including transects and funnel and pitfall traps, coupled with observations, records in digital platforms and museum specimens. We document 57 species (26 families and four orders), of which 16 are amphibians and 41 are reptiles. Eighteen species are in some risk category according to the Mexican NOM-059-SEMARNAT-2010, 15 species are considered endemic to the Yucatán Peninsula Biotic Providence, three are endemic to the Mexican portion of this biotic province and two species are non-native. We present 13 news records for the municipality of Tzucacab. This is the first published work that focuses on studying the herpetofaunal species richness of the CEH, as well as the first one carried out in the municipality of Tzucacab, Yucatán.

Keywords.— Endemic species, herpetofauna, species richness, Yucatán Peninsula.

Resumen.— El Centro Educativo Hobonil (CEH) es una estación de campo de la Universidad Autónoma de Yucatán ubicado en el Municipio de Tzucacab, al sur del estado de Yucatán. En este trabajo se presenta un inventario de especies de anfibios y reptiles del CEH, el cual se obtuvo mediante recorridos en campo cinco días al año, durante siete años, utilizando diferentes técnicas de muestreo: transectos irrestrictos, trampas de embudo y trampas de caída. Adicionalmente se consideraron observaciones ocasionales, registros en plataformas digitales y ejemplares depositados en colecciones científicas. Se registraron 57 especies (26 familias y cuatro órdenes), de las cuales 16 son anfibios y 41 reptiles. Dieciocho especies se encuentran en alguna categoría de riesgo de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, 15 especies son endémicas de la Provincia Biótica Península de Yucatán, tres son endémicas de la porción mexicana y dos especies son introducidas. Se reportan 13 nuevos registros de especies para el municipio de Tzucacab. Este trabajo representa el primer listado de la riqueza de especies de anfibios y reptiles en el CEH, así como el primero realizado en el municipio de Tzucacab, Yucatán.

Palabras clave.— Especies endémicas, herpetofauna, Península de Yucatán, riqueza de especies.

INTRODUCCIÓN

México es considerado el quinto país con mayor diversidad de anfibios a nivel mundial (Parra-Olea et al., 2014) y el segundo en reptiles (Flores-Villela & García-Vázquez 2014), sumando en conjunto 1,292 especies (Johnson et al., 2017). La alta riqueza de

herpetofauna en el país se debe a la gran variación topográfica y a los diferentes tipos de clima que cubren el territorio, (Flores-Villela & Gerez, 1994). La Provincia Biótica Península de Yucatán (PBPY) está compuesta por los estados de Campeche, Quintana Roo, Yucatán, la parte oriental de Tabasco y Chiapas, en México, así como el norte de Guatemala y Belice (Morrone, 2006; Vázquez-

Domínguez & Arita, 2010). La porción mexicana de la Península (PMY) es una definición política que abarca únicamente tres estados: Campeche, Yucatán y Quintana Roo, unidos entre sí por un vértice común, denominado Punto de Unión Territorial (PUT).

La herpetofauna de la PBPY se compone de 195 especies, de las cuales 34 son endémicas de esta región (modificado de Lee, 2000), mientras que en la PMY, el número de especies reduce a 146, 11 consideradas endémicas (González-Sánchez et al., 2017; Ortiz-Medina et al., 2019). El alto número de especies con distribución restringida hace que esta provincia sea considerada una zona de endemismo para la herpetofauna mexicana (Ochoa-Ochoa & Flores-Villela, 2006; Johnson et al., 2017). El mayor número de especies endémicas se encuentra en la porción norte de la Península, reduciéndose hacia la porción sur (Lee, 1980).

El estado de Yucatán posee una baja riqueza herpetofaunística en comparación con otros estados mexicanos, como Oaxaca, Chiapas y Veracruz, ya que únicamente incluye 110 especies de las cuales 18 son anfibios y 92 reptiles (Lee, 1996; Lee, 2000; González-Sánchez et al., 2017; Ortiz-Medina et al., 2017, 2019). El 33% de la herpetofauna del estado de Yucatán está incluida en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, donde 23 especies se encuentran en la categoría de sujetas a protección especial (Pr), ocho se consideran amenazadas (A) y seis en peligro de extinción (P) (Diario Oficial de la Federación, 2010). Así mismo, en este estado habitan nueve de las 11 especies consideradas endémicas de la PMY (González-Sánchez et al., 2017).

En la actualidad la riqueza herpetofaunística en México y el mundo atraviesa una severa reducción ocasionada por múltiples factores, entre los que destacan los de origen antropogénico (Wake & Vredenburg, 2008; Böhm et al., 2013; Flores-Villela & García-Vázquez, 2014; Parra-Olea et al., 2014). En el estado de Yucatán, los principales factores que amenazan a los anfibios y reptiles son las actividades agrícolas, la deforestación, los incendios, las especies invasoras, el cambio climático, el tráfico ilegal de especies, el impacto carretero y la matanza directa e incidental por los pobladores locales (González-Sánchez et al., 2017).

Las Áreas Naturales Protegidas y los predios destinados voluntariamente a la conservación de flora y fauna funcionan como importantes sitios para la conservación de los anfibios y reptiles en el estado de Yucatán (Chablé-Santos, 2010). Los inventarios y listados herpetofaunísticos exhiben la biodiversidad local de estos grupos en la región de estudio, lo que favorece a personas

interesadas en el área, investigadores e instituciones locales para poder desarrollar planes de conservación adecuados, así como diversos estudios de investigación (Reyes-Velasco & Ramírez-Chaparro, 2019). El Centro Educativo Hobonil (CEH), ubicado al sur del estado de Yucatán, es un sitio que desde el año 1995 ha sido destinado a la docencia, investigación y conservación de la biodiversidad, al pasar a ser propiedad de la Universidad Autónoma de Yucatán (Chablé-Santos et al., 2014). Desde entonces, estudiantes e investigadores de diferentes áreas realizan prácticas y proyectos de investigación, sin embargo, son pocos los estudios que se han enfocado en realizar inventarios biológicos dentro de esta área, destacando algunos enfocados listados florísticos (Navarro-Collí, 2001) y fúngicos (Uitzil-Collí, 2018), ornitológicos (Chablé-Santos et al., 2014), o estudios enfocados en conocer aspectos ecológicos de ciertas especies animales como dos especies de anfibios (Díaz-Gambóa, 2012) y roedores (Hernández-Betancourt, 2003; Cimé Pool et al., 2002; Hernández-Betancourt et al., 2008) sin existir estudios dirigidos en la riqueza herpetofaunística del sitio. Por lo antes mencionado, el objetivo de este trabajo es presentar un inventario de anfibios y reptiles registrados en el CEH de la Universidad Autónoma de Yucatán, señalando las especies endémicas y aquellas presentes en alguna categoría de riesgo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El CEH (20°00'N; 89°01'W) se localiza a siete kilómetros al sureste del municipio de Tzucacab, Yucatán, México (Fig. 1). Tiene una altitud menor a 85 msnm, y cuenta con una superficie de 1,354 ha, de las cuales el 33.2% se encuentra destinado para la conservación. El clima de la región es de tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano y un alto porcentaje de lluvias invernales (Orellana et al., 2010). El promedio de precipitación fluctúa entre los 800 y 1,200 mm anuales, la temporada de secas ocurre de noviembre a abril, y las lluvias de mayo a octubre (Orellana et al. 2003; Torrescano-Valle & Folan, 2015). El 50% de la extensión del rancho se conforma por potreros, 25% por vegetación secundaria en regeneración y 25% por selva mediana subcaducifolia con elementos de selva mediana subperennifolia, caracterizada por árboles de entre 10 y 20 metros de altura (Navarro-Collí, 2001; Díaz-Gamboa, 2012). Entre los elementos que conforman este tipo de vegetación se encuentran especies como *Ceiba pentandra*, *Enterolobium cyclocarpum* y *Ficus* spp., así como otras especies vegetales donde resaltan *Acacia cornígera*, *Bursera simaruba*, *Cedrela odorata*, *Gliricidia maculata*, *Caesalpinia gaumeri*, *Gymnopodium floribundum*, *Havardia albicans*, *Metopium brownei* y *Spondias mombin*, entre otras (Flores et al., 2010).

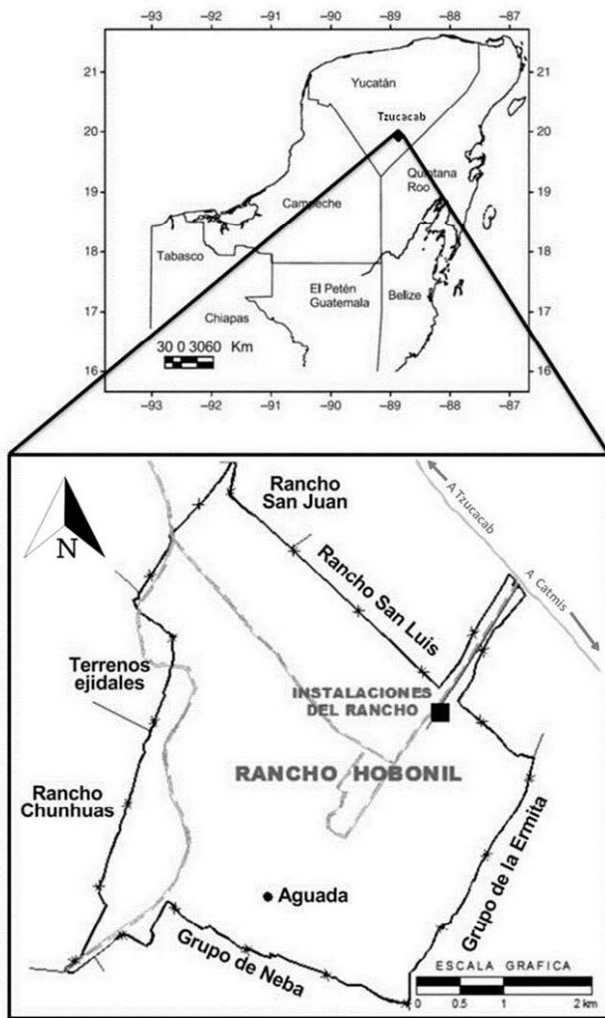


Figure 1. Study area. Geographic location of the Centro Educativo Hobonil, Tzucacab, Yucatán, Mexico (in Díaz-Gamboa, 2012; modified from Hernández-Betancourt, 2003).

Figura 1. Área de estudio. Ubicación geográfica del Centro Educativo Hobonil, Tzucacab, Yucatán, México (en Díaz-Gamboa, 2012; modificado de Hernández-Betancourt, 2003).

Recolecta de datos:

Para obtener el listado de especies se realizaron campañas de muestreo en campo con duración de cinco días en los años 2010, 2013, y del 2015 al 2019, abarcando los diferentes tipos de vegetación encontrados en el área de estudio. En los primeros años (2010, 2013), los muestreos se realizaron durante la temporada de lluvias, mientras que los restantes se llevaron a cabo en la temporada seca.

El registro de especies se obtuvo a partir de transectos, implementando la Inspección por Encuentro Visual (IEV) por tiempo limitado, el cual consiste en la observación, conteo y registro de organismos a lo largo de una distancia aleatoria, durante un periodo de tiempo establecido (Aguirre-León, 2011). Esta técnica se realizó durante recorridos diurnos (8:00 - 12:00 h) y nocturnos (18:00 - 24:00 h), revisando todos los microhábitats posibles, con la intención de encontrar el mayor número de especies e individuos de anfibios y reptiles. Únicamente durante los años 2015 y 2016 se implementaron dos métodos adicionales: 6 trampas de caída (pitfall) con una apertura de 25 cm y una profundidad de 30 cm y trampas de embudo (de 91.4 × 30.48 cm con una red de polietileno de 0.63 cm, cebada con sardinas), las cuales fueron colocadas estratégicamente alrededor del único cuerpo de agua conocido en la zona. Estos métodos adicionales se utilizaron en periodos de tiempo de 12 horas durante 4 noches por año de muestreo. A cada ejemplar capturado se le asignó un número de registro individual, se verificó la especie acorde a las guías de campo especializadas para la herpetofauna de la Península de Yucatán de Lee (1996; 2000), se anotó la fecha, hora y posición geográfica. Adicionalmente se registraron las especies encontradas de manera incidental fuera de los muestreos establecidos. Debido a que el CEH es utilizado como sitio de docencia por diferentes licenciaturas de la Universidad Autónoma de Yucatán, y que los estudiantes e investigadores constantemente visitan dichas instalaciones, se revisó la plataforma iNaturalist (<https://www.inaturalist.org>) y la colección herpetológica de Colecciones Zoológicas perteneciente al Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán (CC-YUC-250-11/HER), con la intención de anexar especies no registradas durante el trabajo de campo.

Para realizar un correcto inventario herpetofaunístico se tomaron en cuenta las recomendaciones de Reyes-Velasco y Ramírez-Chaparro (2019), al depositar el material fotográfico de los nuevos registros en una colección digital permanente del museo de una universidad, no reportar especies de distribución cuestionable sin la debida evidencia, y revisar minuciosamente los ejemplares y registros provenientes de plataformas digitales. Así mismo, para el muestreo y manipulación de los ejemplares se utilizó un permiso de recolecta, partiendo en el año 2013 y siendo renovado cada dos años. El permiso de recolecta vigente es el SGPA/DGVS/08420/15.

Análisis de datos

Se revisó la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 con la finalidad de identificar la categoría de riesgo de las especies. Así mismo, se revisó literatura especializada (Lee,

Table 1. List of amphibian and reptile species registered in the CEH during fieldwork (2010, 2013, 2015-2019). Symbology: New record for Tzucacab municipality (NR), species listed in the NOM-059-SEMARNAT-2010: A = Threatened, Pr= Special protection. Asterisk: *= Endemic species of the Yucatán Peninsula Biotic Province, **= Endemic species of the Mexican portion of the Yucatán Peninsula, ***= Non-native species.

Tabla 1. Listado de especies de anfibios y reptiles registrados en el CEH durante el trabajo de campo (2010, 2013, 2015-2019). Simbología: Nuevo registro para el municipio de Tzucacab (NR), Nom-059: A= Amenazada, Pr= Sujeta a protección especial. Asteriscos: *= Especie endémica de la Provincia Biótica Península de Yucatán, **= Especie endémica de la porción mexicana de la Península de Yucatán, ***= Especie introducida.

Orden	Familia	Especie	No. Individuos	NR	NOM-059-SEMARNAT-2010
Anura	Bufoidea	<i>Incilius valliceps</i> (Wiegmann, 1833)	17		
Anura	Bufoidea	<i>Rhinella horribilis</i> (Wiegmann, 1833)	22		
Anura	Craugastoridae	<i>Craugastor yucatanensis</i> (Lynch, 1965)**	1	X	Pr
Anura	Hylidae	<i>Dendropsophus microcephalus</i> (Cope, 1886)	6		
Anura	Hylidae	<i>Scinax staufferi</i> (Cope, 1865)	1		
Anura	Hylidae	<i>Smilisca baudinii</i> (Duméril & Bibron, 1841)	11		
Anura	Hylidae	<i>Tlalocohyla loquax</i> (Giage & Stuart, 1934)	35		
Anura	Hylidae	<i>Trachycephalus vermiculatus</i> (Cope, 1877)	4		
Anura	Leptodactylidae	<i>Leptodactylus fragilis</i> (Brocchi, 1877)	7		
Anura	Leptodactylidae	<i>Leptodactylus melanonotus</i> (Hallowell, 1861)	6		
Anura	Microhylidae	<i>Hypopachus variolosus</i> (Cope, 1866)	6		
Anura	Phyllomedusidae	<i>Agalychnis callidryas</i> (Cope, 1862)	9		
Anura	Ranidae	<i>Lithobates brownorum</i> (Sanders, 1973)	14		Pr
Anura	Rhinophrynidae	<i>Rhinophrynus dorsalis</i> (Duméril & Bibron, 1841)	1	X	Pr
Caudata	Plethodontidae	<i>Bolitoglossa yucatanana</i> (Peters, 1882)*	1	X	Pr
Squamata	Corytophanidae	<i>Basiliscus vittatus</i> (Wiegmann, 1828)	13		
Squamata	Corytophanidae	<i>Laemanctus serratus</i> (Cope, 1864)	1		Pr
Squamata	Dactyloidae	<i>Norops lemuringus</i> (Cope, 1861)	7	X	
Squamata	Dactyloidae	<i>Norops ustus</i> (Cope, 1864)*	5		
Squamata	Dactyloidae	<i>Norops rodriguezii</i> (Bocourt, 1873)	46		
Squamata	Dactyloidae	<i>Norops sagrei</i> (Duméril & Bibron, 1837)***	2		
Squamata	Dactyloidae	<i>Norops tropidonotus</i> (Peters, 1863)	2	X	
Squamata	Eublepharidae	<i>Coleonyx elegans</i> (Gray, 1845)	12		A

Orden	Familia	Especie	No. Individuos	NR	NOM-059-SEMARNAT-2010
Squamata	Gekkonidae	<i>Hemidactylus frenatus</i> (Duméril & Bibron, 1836)***	12		
Squamata	Iguanidae	<i>Ctenosaura similis</i> (Gray, 1831)	74		A
Squamata	Mabuyidae	<i>Marisora brachypoda</i> (Taylor, 1956)	1	X	
Squamata	Phrynosomatidae	<i>Sceloporus chrysostictus</i> (Cope, 1867)*	70		
Squamata	Phyllodactylidae	<i>Thecadactylus rapicauda</i> (Houttuyn, 1782)	12	X	Pr
Squamata	Teiidae	<i>Aspidoscelis angusticeps</i> (Cope, 1878)*	6	X	
Squamata	Teiidae	<i>Holcosus gaigae</i> (Smith & Lafe, 1946)**	11		
Squamata	Boidae	<i>Boa imperator</i> (Daudin, 1803)	4		
Squamata	Colubridae	<i>Drymarchon melanurus</i> (Duméril, Bibron & Duméril, 1854)	1		
Squamata	Colubridae	<i>Ficimia publia</i> (Cope, 1866)	1		
Squamata	Colubridae	<i>Lampropeltis abnorma</i> (Bocourt, 1886)	2	X	
Squamata	Colubridae	<i>Pseudelaphe phaescens</i> (Dowling, 1952)**	4		Pr
Squamata	Colubridae	<i>Senticolis triaspis</i> (Cope, 1866)	2		
Squamata	Colubridae	<i>Spilotes pullatus</i> (Linnaeus, 1758)	1		
Squamata	Colubridae	<i>Symphimus mayae</i> (Gauge, 1936)*	1	X	Pr
Squamata	Colubridae	<i>Tantillita canula</i> (Cope, 1875)*	1	X	
Squamata	Dipsadidae	<i>Coniophanes schmidtii</i> (Bailey, 1937)*	3		
Squamata	Dipsadidae	<i>Coniophanes imperialis</i> (Baird & Girard, 1859)	1		
Squamata	Dipsadidae	<i>Conophis lineatus</i> (Duméril, Bibron & Duméril, 1854)	1	X	
Squamata	Dipsadidae	<i>Dipsas brevifacies</i> (Cope, 1866)*	1		Pr
Squamata	Dipsadidae	<i>Leptodeira frenata</i> (Cope, 1886)	4		
Squamata	Dipsadidae	<i>Tropidodipsas sartorii</i> (Cope, 1863)	7		
Squamata	Elapidae	<i>Micrurus diastema</i> (Duméril, Bibron & Duméril, 1854)	1		Pr
Squamata	Viperidae	<i>Crotalus tzabcan</i> (Klauber, 1952)*	1		
Testudines	Emydidae	<i>Trachemys venusta</i> (Gray, 1856)	65		
Testudines	Geoemydidae	<i>Rhinoclemmys areolata</i> (Duméril & Bibron, 1851)	2		A
Testudines	Kinosternidae	<i>Kinosternon leucostomum</i> (Duméril & Duméril, 1851)	4		Pr
Testudines	Kinosternidae	<i>Kinosternon scorpioides</i> (Linnaeus, 1766)	6		Pr

1996, 2000; Köhler, 2008, 2011; González-Sánchez et al., 2017) para conocer su distribución dentro de la Península de Yucatán y reconocer a las especies endémicas. Los registros fotográficos de las especies consideradas nuevos registros para el municipio y que se encontraron durante el trabajo de campo, se depositaron en la colección digital de The University of Texas at Arlington (UTA)

Se realizó una curva de acumulación de especies, utilizando los años como medida de esfuerzo de muestreo, la cual sirve para validar el esfuerzo de muestreo implementado durante el trabajo de campo (Jiménez-Valverde & Hortal, 2003). Esta curva se obtuvo mediante el programa EstimateS versión 9.1 (Colwell, 2013). Los estimadores no paramétricos usados en la elaboración de la curva fueron: Chao 2, Jackknife de primer orden (Jack 1) y el estimador de coberturas basado en incidencia (ICE). Chao 2 tiene como base a las especies observadas en exactamente una o dos unidades de muestreo, Jack 1 es una función del número de especies que solo fueron registradas en una única unidad de muestreo, e ICE emplea el número de especies con baja frecuencia (González-Oreja et al., 2010). De igual manera, se incluyeron en la curva las líneas que representan a las especies registradas una única vez (singletons) y las especies registradas dos o más veces (doubletons) durante el trabajo de campo, debido a que, bajo el supuesto de las especies raras, mientras mayor sea el número de especies con solo uno o dos registros, mayor es el número de especies que falta por registrar en el área de estudio (Jiménez-Valverde & Hortal, 2003).

RESULTADOS

Durante los muestreos en campo se registraron un total de 528 individuos, repartidos en 51 especies, 26 familias y cuatro órdenes, de los cuales, 141 fueron anfibios y 387 reptiles (Tabla 1). Con base en los registros de la colección herpetológica de la UADY y la plataforma iNaturalist se anexaron al inventario seis especies que no fueron registradas durante los trabajos de campo (Tabla 2), resultando en un total de 57 especies verificadas para el CEH.

Considerando todas las especies enlistadas en el estudio, los anfibios estuvieron representados por 16 especies incluidas en 9 familias y dos órdenes (Fig. 2). La familia que presentó la mayor riqueza fue Hylidae, con seis especies registradas. Las que presentaron mayor abundancia fueron *Tlalocohyla loquax* (35 individuos) y *Rhinella horribilis* (22 individuos). En cuanto al grupo de reptiles, estuvo conformado por 41 especies, 17 familias y dos órdenes (Fig.3). La familia Colubridae tuvo la mayor riqueza con 10 especies, seguida por Dipsadidae, con ocho. Las especies más abundantes fueron *Ctenosaura similis*, seguida por *Sceloporus chrysostictus*, con 74 y 70 individuos, respectivamente.

Algunas especies se encontraron relacionadas a ciertos microhábitats específicos. *Craugastor yucatanensis*, *Pseudelaphe phaescens*, *Thecadactylus rapicauda* y *Tropidodipsas sartorii* se encontraron dentro de cavernas, mientras que algunos anfibios como *Agalychnis callidryas*, *Dendropsophus microcephalus*,

Table 2. List of amphibian and reptile species registered in the iNaturalist online platform and in the herpetological collection in the zoological collections of the Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias of the Universidad Autónoma de Yucatán. Symbology: NOM-059-SEMARNAT-2010: A= Threatened, Pr= Special protection. Asterisk: *= Endemic species of the Yucatán Peninsula Biotic Province, **= New record of the municipality of Tzucacab, Yucatán.

Tabla 2. Listado de especies de anfibios y reptiles registrados en iNaturalist y en la colección herpetológica de las Colecciones Zoológica del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán. Simbología: NOM-059-SEMARNAT-2010: A= Amenazada, Pr= Sujeta a protección especial. Asteriscos: *= Especie endémica de la Provincia Biótica Península de Yucatán, **= Especie considerada nuevo registro para el municipio de Tzucacab, Yucatán.

Orden	Familia	Especie	Referencia	NOM-059
Anura	Hylidae	<i>Tripurion petasatus</i> (Cope, 1865)*	iNaturalist 4282343	
Squamata	Colubridae	<i>Drymobius margaritiferus</i> (Schlegel, 1837)	iNaturalist 4141136	
Squamata	Colubridae	<i>Leptophis mexicanus</i> (Duméril, Bibron & Duméril, 1854)	iNaturalist 7601656	A
Squamata	Dipsadidae	<i>Imantodes tenuissimus</i> (Cope, 1867)*	iNaturalist 12518636	Pr
Squamata	Dipsadidae	<i>Sibon sanniolus</i> (Cope, 1866)*	iNaturalist 7601657	
Squamata	Viperidae	<i>Bothrops asper</i> (Garman, 1884)**	YUC-CC-250-11/HER/244	



Figure 2. Some species of amphibians recorded in the CEH. *Rhinella horribilis* (A), *Craugastor yucatanensis* (B), *Dendropsophus microcephalus* (C), *Trachycephalus vermiculatus* (D), *Leptodactylus melanonotus* (E), *Hypopachus variolosus* (F), *Agalychnis callidryas* (G), *Rhinophrynus dorsalis* (H), *Bolitoglossa yucatanana* (I).

Figura 2. Algunas especies de anfibios registrados en el CEH. *Rhinella horribilis* (A), *Craugastor yucatanensis* (B), *Dendropsophus microcephalus* (C), *Trachycephalus vermiculatus* (D), *Leptodactylus melanonotus* (E), *Hypopachus variolosus* (F), *Agalychnis callidryas* (G), *Rhinophrynus dorsalis* (H), *Bolitoglossa yucatanana* (I).

Hypopachus variolosus, *Scinax staufferi*, *T. loquax*, *Rhinophrynus dorsalis*, y tortugas semiacuáticas como *Trachemys venusta*, *Kinosternon leucostomum* y *K. scorpioides* se encontraron relacionadas a la única aguada dentro del área de estudio. Debido a que es un cuerpo de agua temporal, durante la temporada seca no se pudieron observar la mayoría de las especies antes mencionadas, ya que la aguada se encontró parcialmente seca o seca (Fig. 4).

Se encontraron 13 especies consideradas nuevos registros para el municipio de Tzucacab, Yucatán: *Aspidoscelis angusticeps* (UTADC 9554); *Bolitoglossa yucatanana* (UTADC 9560); *Bothrops asper* (YUC-CC-250-11/HER/244); *Conophis lineatus* (UTADC 9561); *C. yucatanensis* (UTADC 9562); *Lampropeltis abnorma* (UTADC 9558); *Marisora brachypoda* (UTADC 9556); *Norops lemurinus* (UTADC 9272-73); *Norops tropidonotus* (UTADC 9274-75); *R. dorsalis* (UTADC 9559); *Symphimus mayae* (UTADC 9553); *Tantillita canula* (UTADC 9555) y *T. rapicauda* (UTADC 9557).

Del total de especies, 18 (cuatro anfibios, 14 reptiles) se encuentran en alguna categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010, donde el 77.8% se encuentra en la categoría de



Figure 3. Some species of reptiles recorded in the CEH. *Norops lemurinus* (A), *Norops tropidonotus* (B), *Ctenosaura similis* (C), *Thecadactylus rapicauda* (D), *Boa imperator* (E), *Lampropeltis abnorma* (F), *Pseudelaphe phaescens* (G), *Crotalus tzabcan* (H), *Rhinoclemmys areolata* (I).

Figura 3. Algunas especies de reptiles registrados en el CEH. *Norops lemurinus* (A), *Norops tropidonotus* (B), *Ctenosaura similis* (C), *Thecadactylus rapicauda* (D), *Boa imperator* (E), *Lampropeltis abnorma* (F), *Pseudelaphe phaescens* (G), *Crotalus tzabcan* (H), *Rhinoclemmys areolata* (I).

sujeta a protección especial (Pr) y el porcentaje restante (22.2%) está en la categoría de amenazada (A).

En cuanto a la distribución de las especies, 15 son endémicas de la PBPY, de las cuales *C. yucatanensis*, *Holcosus gaigeae* y *P. phaescens* presentan una distribución restringida a la PMY, es decir, que solo se distribuyen en los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán. Además, se registraron dos especies introducidas en la Península: *Norops sagrei* y *Hemidactylus frenatus*.

La curva de acumulación de especies perdió gradualmente la pendiente, sin alcanzar una asíntota constante. Los estimadores no paramétricos arrojaron una riqueza mayor a lo encontrado durante el trabajo de campo. Chao 2 estimó la presencia de 66.58 especies, 14.4% más de la riqueza de este estudio; Jack 1 estimó 68.14 especies, siendo 16.4% más, mientras que ICE estimó 71.71 especies, representando 20.5% más del actual listado de especies del CEH. Así mismo, los singletons y doubletons se mantuvieron lejos del punto de intersección. Dieciséis especies presentaron un solo registro en el CEH, mientras que cinco tuvieron dos registros (Fig. 5)



Figure 4. The aguada located in the CEH. Because is a temporary water pond, it keeps water during the rainy season (A), evaporating it during the dry season (B).

Figura 4. La aguada ubicada al interior del CEH. Debido a que es un cuerpo de agua temporal, almacena agua durante la temporada de lluvias (A), evaporándose durante la temporada secas (B).

DISCUSIÓN

En el CEH se encontró el 51% del total de la herpetofauna registrada para el estado de Yucatán (González-Sánchez et al., 2017; Ortiz-Medina et al., 2017, 2019) y el 83% de las especies consideradas con distribución potencial en el área de estudio (69 especies) (Lee, 1996, 2000; Köhler, 2008, 2011). De lo anterior se puede mencionar que los anfibios y reptiles registrados en la CEH representan el 89% y el 42% del total de especies conocidas de estos grupos en el estado de Yucatán.

El 26% (15 especies) de anfibios y reptiles registrados en el área de estudio son endémicos de la PBPY, lo cual representa un alto porcentaje de endemismo. Colston et al. (2015) encontraron un total de 12% de especies endémicas de la PBPY en la Reserva de la Biósfera de Calakmul. El porcentaje de especies endémicas en el CEH es mayor al encontrado en Calakmul (Colston et al., 2015) debido a que nuestra área de estudio en Tzucacab se encuentra en la porción norte de la Península, donde existe el mayor número de las especies endémicas (Lee, 1980). En cuanto a especies protegidas, las 18 especies incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, que se presentan en este listado, representa el 34% de las especies consideradas en alguna categoría de riesgo en la Península de Yucatán (DOF, 2010; González-Sánchez et al. 2017).

Se registraron dos especies introducidas en el área de estudio; *N. sagrei* la cual es nativa de algunas islas del Caribe, y *H. frenatus*, que se distribuye de manera natural en islas del Océano Pacífico. Ambas especies habitan en diferentes regiones de México, incluyendo los tres estados de la Península de Yucatán, y se encuentran asociadas a asentamientos humanos (Lee, 2000). En el área de estudio estas especies se encontraron en las zonas de construcción del CEH, sin tener registro de estas en la zona forestal.

La relación de ciertas especies de anfibios y reptiles hacia algún microhábitat en particular se ha documentado con anterioridad.

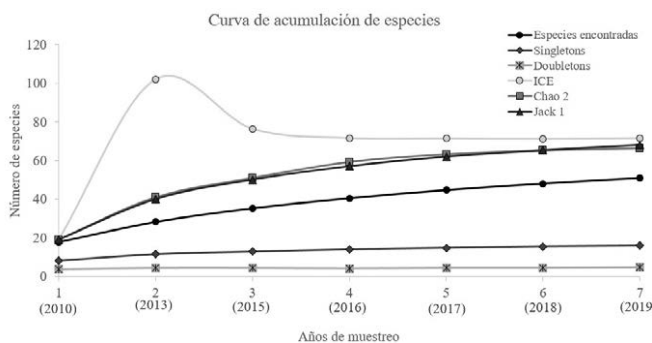


Figure 5. Species accumulation curve, indicating the richness of herpetofauna found, the richness suggested by non-parametric estimators and the species with one (singletons) or two (doubletons) records.

Figura 5. Curva de acumulación de especies, señalando la riqueza de herpetofauna encontradas, la riqueza sugerida por los estimadores no paramétricos y las especies con uno (singletons) o dos (doubletons) registros.

Una gran parte de las especies de anfibios (*A. callidryas*, *D. microcephalus*, *Leptodactylus fragilis*, *L. melanonotus*, *R. dorsalis* y *T. loquax*) y las tortugas dulceacuícolas se encontraron relacionadas al único cuerpo de agua de la zona, en donde en ocasiones se encontraban en gran número, así como fuentes de agua dulce artificiales que se encuentran en el CEH, como bebederos de animales de granjas, coincidiendo con lo reportado por Lee (1996, 2000), donde menciona que estas especies frecuentan los cuerpos de agua dulce superficiales de origen natural o antropogénico. En la Reserva de la Biósfera de Calakmul, *S. chrysostictus* se encontró con mayor abundancia en zonas secas con el dosel abierto (Colston et al., 2015), características que coinciden con algunas zonas del área de estudio, y donde esta especie se registró con mayor frecuencia.

El 22% (13) de las especies registradas se consideran nuevos registros para el municipio de Tzucacab. Este trabajo representa uno de los pocos estudios de listados herpetofaunísticos realizados para el estado y la Península de Yucatán. Para el estado, los listados conocidos se concentran en la región centro y norte (Brito-Castillo, 1998; González-Martínez, 2006; Peña-Peniche, 2006; Cabrera-Cen, 2019), y solo uno en la porción sur (Callaghan & Pasos Enríquez, 2010). En cuanto al resto de la Península, en el estado de Campeche se conocen las especies de anfibios y reptiles de la región sur de la Reserva de la Biósfera Los Petenes (Padilla & Perera-Trejo, 2009) y la Reserva de la Biósfera de Calakmul (Calderón-Mandujano et al., 2008b; Colston et al., 2015), mientras que en el estado de Quintana Roo se encuentra el listado de los anfibios y reptiles de San Felipe Bacalar (Chávez-León & Lemos Espinal, 1987), del Santuario del Manatí en la Bahía de Chetumal (Calderón-Mandujano & Cedeño-Vázquez, 2002) y de la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an (Calderón-Mandujano et al., 2008a).

La riqueza de especies en el CEH es mayor a la encontrada en otros trabajos enfocados en conocer las especies de herpetofauna en diferentes partes del estado de Yucatán. En el complejo Reserva de la Biósfera Ría Celestún – Reserva Estatal el Palmar, que se encuentra conformada por 131,081.72 ha, se tiene registro de 49 especies de anfibios y reptiles (González-Martínez, 2006). El Parque Nacional Dzibilchaltún, con 539 ha, alberga una riqueza de herpetofauna de 49 especies, mientras que en la Reserva Estatal de Dzilam se han registrado 54 especies en las 69,039.29 ha que ocupa en el territorio Yucateco (Brito-Castillo, 1998; González-Sánchez et al., 2017). En contraste, también se pueden encontrar sitios con una mayor riqueza de especies dentro del estado, como el Parque Estatal Lagunas de Yalahau y la Reserva de la Biósfera de Ría Lagartos, los cuales poseen una extensión de 5,683.28 ha y 60,348 ha, y una riqueza de 74

y 96 especies, respectivamente (Peña-Peniche, 2006; González-Sánchez et al., 2017). El único inventario herpetofaunístico en la porción sur del estado de Yucatán se ha realizado en la Reserva Biocultural Kaxil Kiuic, registrando 47 especies (Callaghan & Pasos Enríquez, 2010).

La diferencia entre el número de especies registradas en las otras regiones del estado de Yucatán y la riqueza del CEH puede deberse a que, pese a que nuestros muestreos se realizaron durante cinco días al año, se llevaron a durante siete años, abarcando las dos temporadas climáticas de la Península de Yucatán, y a la inclusión de registros depositados en plataformas digitales y museos, en contraste con la mayoría de los escritos antes mencionados, los cuales su periodo de muestreo se limitó a un año y solo registraron especies encontradas durante el trabajo de campo. De igual manera, la vegetación del área de estudio presenta diferentes grados de conservación, generando variedad en los factores ambientales, la estructura del hábitat y la presencia de microhábitats, lo que repercute en el recambio de especies entre gradientes del estado de madurez de la vegetación (Calderón-Mandujano et al., 2008b; Vitt & Caldwell, 2009). Así mismo, la riqueza de especies de anfibios y reptiles aumentó debido a que en el interior del territorio que ocupa el CEH se encuentran cavernas y un cuerpo de agua temporal, lugares que se muestrearon durante el trabajo de campo, lo que generó la presencia de especies que son comunes en estos ambientes, como *C. yucatanensis*, *T. rapicauda*, *T. sartorii* y *P. phaescens* en las cavernas (Nahuat-Cervera & Barrientos-Medina, 2018), y anfibios y tortugas dulceacuícolas en la aguada (Lee, 2000).

La curva de acumulación de especies indica que aún falta implementar un mayor esfuerzo de muestreo para poder registrar el total de especies de herpetofauna que se distribuye en el CEH, ya que la curva no llegó a la asíntota, debido al alto número de especies consideradas poco frecuentes, con solo uno o dos individuos registrados. Los estimadores no paramétricos exhibieron un número de especies mayor al encontrado, y los singletons y doubletons no mostraron tendencia a cruzarse, lo cual supondría que la riqueza de anfibios y reptiles en el CEH es mayor a la encontrada durante el trabajo de campo, ya que estos estimadores obtienen valores mediante el supuesto de que, a mayor número de especies poco frecuentes, como lo son las especies con uno (singletons) y dos (doubletons) registros, mayor es la riqueza de especies que habitan en el área de estudio y no han sido registradas (Jiménez-Valverde & Hortal, 2003).

Algunas especies se consideran de distribución probable en el CEH, pese a que no se encontraron durante el trabajo de campo ni en las colecciones revisadas. Para los anfibios,

Gastrophryne elegans y *Tlalocohyla picta*, mientras que para los reptiles, *Cachryx defensor*, *Coniophanes meridanus*, *Crocodylus moreletii*, *Epictia vindumi*, *Imantodes gemmistratus*, *K. creaseri*, *Masticophis mentovarius*, *Mesoscincus schwartzei*, *Ninia sebae*, *Oxybelis aeneus*, *O. fulgidus*, *Phrynonax poecilonotus*, *Porthidium yucatanicum*, *Sceloporus lundelli*, *Scincella cherriei*, *Sibon nebulatus*, *Sphaerodactylus glaucus*, *Stenorrhina freminivilli*, *Terrapene yucatanica* y *Tropidodipsas fasciata* presentan su distribución potencial que incluye esta área o registros cercanos (Lee, 1996, 2000; Köhler, 2008, 2011; Ortiz-Medina & García-Padilla, 2016; Ortiz-Medina et al., 2020). Existe un reporte de *Tlalocohyla picta* en la aguada del área de estudio, sin embargo, al carecer de evidencia fotográfica y coincidiendo con Reyes-Velasco y Ramírez-Chaparro (2019), no se consideró dentro de este listado.

La importancia del listado de especies en el CEH recae en que se exhibe la diversidad local presente en el área, por lo cual, se pueden desarrollar proyectos de conservación enfocados hacia este grupo de vertebrados. Aunado a esto, este listado es de utilidad para conocer mejor la distribución de los anfibios y reptiles en el estado, ya que en este se identificaron registros nuevos para el municipio de Tzucacab. Así mismo, este sitio funge como un centro de investigaciones para personal de distintas especialidades y es aprovechado principalmente por miembros de la Universidad Autónoma de Yucatán, por lo cual, conocer el listado de especies puede repercutir en el desarrollo de proyectos de investigación enfocados hacia la herpetofauna, que genere información sobre las especies de anfibios y reptiles en la Península de Yucatán, lo que coincide con lo planteado por Reyes-Velasco y Ramírez-Chaparro (2019).

CONCLUSIONES

Se encontraron 57 especies, lo cual representa el 51% de la herpetofauna registrada para el estado de Yucatán. El número de especies de anfibios y reptiles registrados en el CEH, así como el porcentaje de endemismos y especies en alguna categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT-2010, refleja la importancia de destinar y mantener áreas para la conservación, las cuales fungan como un refugio para la herpetofauna de la Península de Yucatán ante el constante crecimiento de la mancha urbana y la fragmentación del hábitat por actividades antrópicas. Este estudio representa el primer listado de especies para el CEH, e incluye 13 nuevos registros para el municipio de Tzucacab. Sin embargo, es necesario realizar un mayor esfuerzo de muestreo para completar el listado de especies potenciales de anfibios y reptiles en el CEH.

Agradecimientos.— Extendemos nuestro agradecimiento a la Universidad Autónoma de Yucatán por las facilidades otorgadas durante las salidas de campo. Agradecemos a los encargados y empleados del CEH por su hospitalidad y apoyo durante los muestreos realizados, y Adrián Cimé-Pool y Oscar Vázquez Piña, así como a los estudiantes de los diferentes ciclos escolares por su invaluable ayuda en campo. Agradecemos a Juan Chablé-Santos y a Eréndira Estrella por las facilidades otorgadas para la revisión de los ejemplares de herpetofauna depositados en la Colección Zoológica de la Universidad Autónoma de Yucatán. Agradecemos a Gregory G. Pandelis por proporcionarnos en número de catálogo de las fotografías depositadas en The University of Texas at Arlington.

LITERATURA CITADA

- 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.
- 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.
- Cabrera-Cen, D.I. 2019. Diversidad de anfibios y reptiles del CCBA-UADY y tasa de atropellamiento en una carretera aleadaña, en la Reserva Ecológica Cuxtal, Yucatán, México. Tesis de Licenciatura. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- Calderón-Mandujano, R., H. Bahena-Basave & S. Calmé. 2008a. Anfibios y reptiles de la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an y zonas aleadañas. 2da Edición. COMPACT, ECOSUR, CONABIO y SHM A.C., Quintana Roo, México.
- Calderón-Mandujano, R. R., C. Galindo-Leal & J.R. Cedeño-Vázquez. 2008b. Utilización de hábitat por reptiles en estados sucesionales de selvas tropicales de Campeche, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s) 24:95-114.
- Calderón-Mandujano, R.R. & R. Cedeño-Vázquez. 2002. Anfibios y reptiles del Santuario del Manatí, Bahía de Chetumal, Quintana

- Roo, México. Pp. 101-106. En F.J. Rosado-May, R. Romero-Mayo & A.J. Navarrete (Eds.). Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia. Universidad de Quintana Roo, Quintana Roo, México.
- 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.
- Chablé-Santos, J. 2010. Reptiles. Pp. 260-261. En R. Durán & M. Méndez (Eds.). Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA, Yucatán, México.
- Chablé-Santos, J., R. González-Herrera, P. Manrique-Saidé & C. Selem-Salas. 2014. Aves del Centro Educativo Hobonil de la Universidad Autónoma de Yucatán, México. *Bioagrociencias* 7:8-23.
- Chávez-León, G. & J.A. Lemos-Espinal. 1987. Anfibios y reptiles de San Felipe Bacalar, Quintana Roo. *Revista de Ciencia Forestal* 6:69-89
- Cimé Pool, J.A., S.F. Hernández Betancourt & S. Medina Peralta. 2002. Área de actividad de *Heteromys gauderi* en una selva mediana subcaducifolia de Yucatán. *Revista Mexicana de Mastozoología* 6:5-18.
- Colston, T.J., J.A.L. Barao-Nóbrega, R. Manders, A. Lett, J. Willmott, G. Cameron, S. Hunter, A. Radage, E. Littlefair, R.J. Williamns, A. López-Cen & K. Slater. 2015. Amphibians and reptiles of the Calakmul Biosphere Reserve, México, with new records. *CheckList* 11:1-7.
- Colwell, R.K. 2013. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9.1 User's Guide and application published.
- Díaz-Gamboa, L.F. 2012. Respiración, transpiración y tolerancia a la desecación de *Agalychnis callidryas* y *Smilisca baudinii* (Anura: Hylidae) a temperatura actual y elevada. Tesis de Licenciatura. Campus de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, 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.
- Flores, J.S., R. Durán, & J.J. Ortiz. 2010. Comunidades vegetales terrestres. Pp. 125-129. En R. Durán y M. Méndez (Eds.). Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA, Yucatán, México.
- Flores-Villela, O.A. & P. Gerez. 1994. Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso de suelo. 2da Edición. CONABIO, UNAM. México.
- Flores-Villela, O.A. & U.O. García-Vázquez. 2014. Biodiversidad de reptiles en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:467-475.
- González-Oreja, J.A., A.A. de la Fuente-Díaz-Ordaz, L. Hernández-Santín, D. Buzo-Franco & C. Bonache-Regidor. 2010. Evaluación de estimadores no paramétricos de la riqueza de especies. Un ejemplo con aves en áreas verdes de la ciudad de Puebla, México. *Animal Biodiversity and Conservation* 33:31-45.
- 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.
- Hernández-Betancourt, S. 2003. Dinámica poblacional de *Heteromys gauderi* Allen y Chapman, 1987, en una selva mediana del sur de Yucatán, México. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. México.
- Hernández-Betancourt, S.F., J.A. Cimé Pool, S. Medina-Peralta & M.L. González-Villanueva. 2008. Fluctuación poblacional de *Otodylomyx phyllotis* Merriam, 1941 (Rodentia: Muridae) en una selva mediana subcaducifolia del sur de Yucatán, México. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)* 24:161-177.
- Jiménez-Valverde, A. & J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología* 8:151-161.
- Johnson, J.D., L.D. Wilson, V. Mata-Silva, E. García-Padilla, & D.L. DeSantis. 2017. The endemic herpetofauna of Mexico: organisms of global significance in severe peril. *Mesoamerican Herpetology* 4:543-620.

- Köhler, G. 2008. Reptiles of Central America. Herpeton Verlag. 2nd Edition. Offenbach, Germany.
- Köhler, G. 2011. Amphibians of Central America. Herpeton Verlag. 1st Edition. Offenbach, Germany.
- 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, New York, 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.
- 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. & Barrientos-Medina, R.C. 2018. Herpetofauna presente en cavernas y cenotes de Yucatán. *Mundos Subterráneos UMAE* (28-29):1-13
- Navarro-Colli, V.M. 2001. Estudio florístico de la vegetación de la Sierrita de Ticul en el Rancho Hobonil, Municipio: Tzucacab, Yucatán, México. Tesis de licenciatura. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- Ochoa-Ochoa, L.M. & O.A. Flores-Villela. 2006. Áreas de diversidad y endemismo de la herpetofauna mexicana. UNAM-CONABIO, México.
- Orellana, R., C. Espadas & F. Nava. 2010. Climas. Pp. 10-11. En R. Durán & Méndez, M (Eds.). Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA, Yucatán, 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.
- Ortiz-Medina, J.A., D.I. Cabrera-Cen, M.M. Chan-Noh & J.R. Cedeño-Vázquez. 2019. First record of the Moorish Gecko, *Tarentola mauritanica* (Linnaeus, 1758) (Squamata: Phyllodactylidae), in Mexico. *Herpetology Notes* 12:971-974.
- Ortiz-Medina, J.A., D.I. Cabrera-Cen, P.E. Nahuat-Cervera & J.B. Chablé-Santos. 2020. New distributional records of the herpetofauna of Campeche and Yucatán, Mexico. *Herpetological review* 51:83-87.
- Ortiz-Medina, J.A., J.A. Cimé-Pool, P.E. Nahuat-Cervera, D.I. Cabrera-Cen, M.S. Meneses-Millán & D.E. Chan-Espinoza. 2017. First record of *Corytophanes hermandesii* (Wiegmann, 1831) (Squamata: Corytophanidae) from the state of Yucatán, Mexico. *Mesoamerican Herpetology* 4:948-949.
- Ortiz-Medina, J.A. & E. García-Padilla. 2016. *Phrynonax poecilonotus*. *Distribution Notes. Mesoamerican Herpetology* 3:189.
- Padilla, S.E. & E. Perera-Trejo. 2009. Herpetofauna del sureste de la Reserva de la Biósfera Los Petenes, Campeche, México. *Revista Mexicana de Herpetología* 17:1-11.
- Parra-Olea, G., O. Flores-Villela, & C. Mendoza-Almeralla. 2014. Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad Supl.* 85:460-466.
- 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.
- Reyes-Velasco, J. & R. Ramírez-Chaparro. 2019. Algunas sugerencias para el formato de listados herpetofaunísticos de México. *Revista Latinoamericana de Herpetología* 2:103-106.
- Torrescano-Valle, N. & W.J. Folan. 2015. Physical settings, environmental history with an outlook on global change. Pp. 9-37. En G.A. Isbele, S. Calmé, J.L. León-Cortés & B. Schmoock (Eds.). Biodiversity and Conservation of the Yucatán Peninsula. Springer International Publishing, Switzerland.
- Uitzil-Collí, M.O. 2018. Inventario de los macrohongos silvestres del cono sur de la Península de Yucatán. Tesis de licenciatura. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán. México.
- Vázquez-Domínguez, E. & H.T. Arita. 2010. The Yucatan peninsula: biogeographical history 65 million years in the making. *Ecogeography* 33: 212-219.

Vitt, L.J & Caldwell, J.P. 2009. Herpetology: An introductory biology of amphibians and reptiles. 3rd Edition. Academic Press, Elsevier. UK

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.



ANFIBIOS Y REPTILES DE LA COLONIA AGRÍCOLA RINCÓN DE LAS FLORES, TEZONAPA, VERACRUZ, MÉXICO

AMPHIBIAN AND REPTILES OF THE COLONIA AGRÍCOLA RINCÓN DE LAS FLORES, TEZONAPA, VERACRUZ, MEXICO

VÍCTOR VÁSQUEZ-CRUZ^{1*} Y LUIS CANSECO-MÁRQUEZ²

¹PIMVS Herpetario Palancoatl, Avenida 19 número 5525, Colonia Nueva Esperanza, C.P. 94540, Córdoba, Veracruz, México.

²Departamento de Biología Evolutiva, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM, AP 70-399 México, D.F. 04510, México.

*Correspondence: victorbiolvc@gmail.com

Abstract.— The Altas Montañas region in west-central Veracruz has been recognized as an important area for the discovery of new species of amphibians and reptiles since the 1940's and has been considered a biologically important “hotspot” for its richness and endemism of species. We performed extensive sampling in La Colonia Agrícola Rincón de las Flores (CARF) in the municipality of Tezonapa, Veracruz to document species diversity. We obtained a total of 1,207 records representing 42 species, corresponding to 16 species of amphibians (38%) and 26 species of reptiles (62%). 37% (23 species) are considered in some risk category: 20 in the Norma Oficial Mexicana SEMARNAT 2010, 10 in the IUCN Red List, and seven in both lists; the CARF herpetofauna has notable records, range extensions, as well as new populations of endemic and at-risk species.

Keywords.— Altas Montañas region, endemism, herpetofauna, species richness.

Resumen.— El centro-oeste del estado de Veracruz es conocido como la región de las Altas Montañas, zona de gran interés en el descubrimiento de nuevas especies de anfibios y reptiles mayormente desde la década de los 1940, por lo que ha sido considerada área biológicamente importante o “hot spot” por su riqueza y endemismos. Se realizó un muestreo en La Colonia Agrícola Rincón de las Flores, en el municipio de Tezonapa, en el estado de Veracruz, se obtuvieron 1,207 registros y una riqueza de 42 especies, que corresponde a 16 especies de anfibios (38%) y 26 especies de reptiles (62%). El 37% (23 especies) se encuentran consideradas en alguna categoría de riesgo, 20 en la Norma Oficial Mexicana SEMARNAT 2010 y 10 en IUCN Red List, siete de ellas están consideradas en ambas listas; la herpetofauna de la CARF posee registros notables, ampliaciones de distribución, así como nuevas poblaciones de especies endémicas y en alguna categoría de riesgo.

Palabras clave.— Endemismo, herpetofauna, región de las Altas Montañas, riqueza de especies.

INTRODUCCIÓN

México es un país con una gran variedad de relieves, gracias a sus características y variedades topográficas contrastantes y heterogéneas, lo que le confiere una de las más grandes riquezas florísticas y faunísticas (Ochoa-Ochoa & Flores-Villela, 2006). Los anfibios y reptiles son dos de los grupos más importantes de esta biodiversidad, lo que posiciona a México como en el segundo país con mayor riqueza de reptiles en el mundo con 864 especies (Flores Villela & García-Vázquez, 2014) y el quinto con mayor

riqueza de anfibios con 413 especies (Frost, 2020). Cabe señalar que más de la mitad de los anfibios y reptiles son endémicos de México, 60% y 57% respectivamente. Ambos grupos son de gran interés para la ciencia, catalogados como organismos modelo por sus ciclos de vida y acelerado desarrollo embrionario, así como indispensables para el buen funcionamiento de los ecosistemas naturales (Vite-Silva et al., 2010).

El estado de Veracruz cuenta con 323 especies de anfibios y reptiles (Guzmán-Guzmán et al., 2011; Morales-Mávil et al.,

2011), por lo que es considerado como el tercer estado de México con mayor diversidad de herpetofauna después de Oaxaca y Chiapas (Urbina-Cardona & Flores-Villela, 2010; Ochoa-Ochoa & Flores-Villela, 2011; Guzmán-Guzmán, 2011). El estado ha tenido una larga historia herpetofaunística. Las primeras exploraciones fueron llevadas a cabo por naturalistas europeos, quienes obtuvieron grandes recolectas de anfibios y reptiles del centro de Veracruz, y algunas nuevas especies fueron descritas de esa región (Pelcastre-Villafuerte & Flores-Villela, 1992; Flores-Villela et al., 2004).

Hace casi tres décadas Pelcastre-Villafuerte & Flores-Villela (1992) publicaron una lista de especies para el estado de Veracruz, y más recientemente Guzmán-Guzmán (2011) publicó una guía de la herpetofauna, aunque esta última no incluye todas las especies descritas para el estado hasta ese momento. Guzmán-Guzmán et al. (2011) y Morales-Mávil et al. (2011), proporcionan listas actualizadas de anfibios y reptiles, respectivamente, para esta entidad. Algunas especies se han adicionado al estado (Aguilar-López et al., 2010, 2016; Parra-Olea et al., 2010), las cuales no han sido consideradas en estos trabajos.

El centro-oeste del estado de Veracruz es conocido como la región de las Altas Montañas, zona de gran interés en el descubrimiento de nuevas especies de anfibios y reptiles mayormente desde la década de los cuarenta [p. ej. *Bolitoglossa* (= *Pseudoeurycea*) *nigromaculata* (Taylor, 1941); *Hyla* (= *Bromeliophyla*) *dendroscarta* (Taylor, 1940); *Cerrophidion petlalcalensis* (López-Luna et al., 1999), *Pseudoeurycea lynchi* (Parra-Olea et al., 2001), *Pseudoeurycea* (= *Aquiloerycea*) *cafetalera* (Parra-Olea et al.,

2010), *Geophis lorancai* (Canseco-Márquez et al., 2016), *Isthmura corrugata* (Sandoval-Comte et al., 2017), *Chiropoteritron aureus* y *Chiropoteritron nubilus* (García-Castillo et al., 2018)], por lo que ha sido considerada una área biológicamente importante o “hot spot” por su riqueza y endemismos (Ochoa-Ochoa & Flores-Villela, 2006).

El municipio de Tezonapa, específicamente la Colonia Agrícola Rincón de las Flores recientemente ha sido de interés para la herpetología, se han realizado trabajos con las ranas *Bromeliophyla dendroscarta* (Vásquez-cruz et al., 2019a) y *Tripurion spinosus* (Luría-Manzano et al., 2014a; Vásquez-Cruz et al., 2017a), la salamandra *Bolitoglossa rufescens* (Reynoso-Martínez et al., 2018) y la serpiente *Metlapilcoatlus nummifer* (Vásquez-Cruz et al., 2017b). En este trabajo se presenta el primer listado de la herpetofauna de la Colonia Agrícola Rincón de las Flores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Colonia Agrícola Rincón de las Flores (CARF) se localiza en el municipio de Tezonapa, en el estado de Veracruz. Está situada en la parte norte de la sierra de Tezonapa, de los 980 a los 1300 msnm (18°43'14.02"N y 96°50'53.31"O, WGS 84, Fig. 1) con una extensión de 177 ha.; presenta un clima semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano. En este sitio, la vegetación predominante es selva mediana subperennifolia, pero también está presente un ecotono entre selva mediana subperennifolia y bosque mesófilo de montaña, junto con parches de café cultivado a la sombra (*Coffea arabica*), plátano (*Musa* sp.) y palmera (*Chamaedorea elegans*).

Recolecta de datos:

Consistió en muestreos sistemáticos, siguiendo un orden en tiempo y esfuerzo igual en cada uno. Los muestreos se realizaron de abril 2014 a enero del 2015 con 19 salidas de campo y una duración de tres días por salida, en horarios de 09:00 a 13:00 h y de 21:00 a 01:00 h. En cada muestreo participaron cuatro personas, sumando un total de 1,824 h/persona. Se usó la técnica de inspección por encuentro visual con captura manual (VES; Crump & Scott 1994), sobre los principales caminos y senderos existentes en la CARF. Se muestreó exhaustivamente en la mayor cantidad de micro-hábitats disponibles para anfibios y reptiles en el área de estudio tales como grietas de rocas, bajo rocas y troncos, bromelias, entre otros.

Para cada individuo se registró la hora de captura, la fecha, el tipo de vegetación, el micro-hábitat, la latitud, la longitud y la altitud. Se depositaron fotografías de cada especie en la

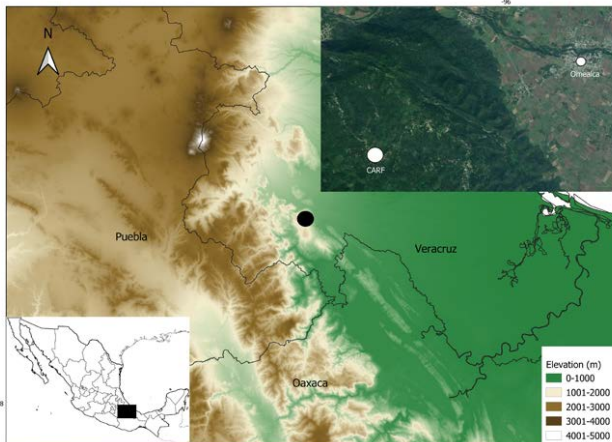


Figure 1. Geographic location of the Colonia Agrícola Rincón de las Flores.
Figura 1. Ubicación geografía de la Colonia Agrícola Rincón de las Flores.

colección digital del Natural History Museum of Los Angeles County (LACM PC).

Análisis de datos

Para el análisis de los datos se utilizaron estimadores no paramétricos: 1) estimador de cobertura en la incidencia (por sus siglas en inglés ICE) basado en las especies poco frecuentes y el estimador Chao 2, basado en la abundancia o en la incidencia de las especies (Chao 1984). Se utilizaron los estimadores singletons (especies registradas solo una vez) y doubletons (especies registradas dos veces), con el supuesto de que al cruzarse estas dos líneas el inventario está completo (Jiménez-Valverde & Hortal 2003). Se utilizó el software EstimateS 9.1.0. Los criterios de abundancia fueron establecidos en cuatro categorías subjetivas: A = abundantes, mayor a 20 individuos; C = comunes, de 10 a 19 individuos; I = poco comunes, de 4 a 9 individuos; R = Raro, de 1 a 3 individuos.

RESULTADOS

Se obtuvieron 1,207 registros y una riqueza de 42 especies, que corresponde a 16 especies de anfibios (38%) y 26 especies de reptiles (62%) (Tabla 1). El 37% (23 especies) se encuentran consideradas en alguna categoría de riesgo, 20 en la Norma Oficial Mexicana SEMARNAT 2010 (SEMARNAT, 2010) y 10 en la IUCN Red List (IUCN, 2019), siete de ellas están consideradas en ambas listas (Tabla 2).

Los anfibios se encuentran representados por dos órdenes, Anura y Caudata, siete familias, 12 géneros y 16 especies (Tabla 1). Las familias mejor representadas son Plethodontidae e Hylidae con cinco y cuatro especies respectivamente. Las especies con mayor abundancia (N > 20) son: *Lithobates berlandieri*, *Incilius valliceps*, *Agalychnis moreletii*, *Craugastor decoratus*, *Smilisca*

Table 1. Composition of amphibians and reptiles of La Colonia Agrícola Rincón de las Flores of municipality of Tezonapa, Veracruz, Mexico.

Tabla 1. Composición de anfibios y reptiles de La Colonia Agrícola Rincón de las Flores del municipio de Tezonapa, Veracruz, México.

	Familias	Géneros	Especies	Individuos registrados (%)	
ANURA	6	8	11	26%	38%
CAUDATA	1	4	5	12%	
SAURIA	4	4	6	14%	62%
SERPENTES	5	19	20	48%	
TOTAL	16	39	42	100%	

baudinii, *Pseudoeurycea lineola*, *Craugastor pygmaeus* y *Triprion spinosus*. De las 16 especies, 11 (69%) se encuentran incluidas en alguna categoría de riesgo (Tabla 2) y seis especies son endémicas de México.

La curva de acumulación de especies muestra que el número de especies aumentó en función del esfuerzo de muestreo. A partir de la muestra 18 la curva adopta una fase asintótica, sin embargo, los estimadores unives y duplicates no tuvieron alguna tendencia a cruzarse. Los estimadores Chao 2 e ICE estimaron una riqueza casi igual entre ellos (16.47 y 16.31 especies respectivamente), que coincide en un 97% y 98% respectivamente con la riqueza obtenida de 16 especies, (Fig. 2).

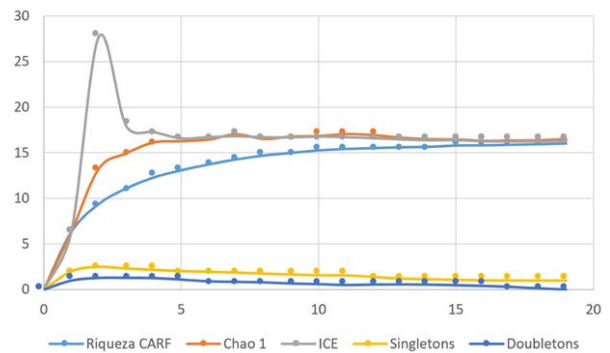


Figure 2. Amphibians species accumulation curve of the sampling performed in the Colonia Agrícola Rincón de las Flores.

Figura 2. Curva de acumulación de especies de anfibios del muestreo en la Colonia Agrícola Rincón de las Flores.

En el caso de los reptiles, se encuentran representados por el Orden Squamata, con 9 familias, 23 géneros y 26 especies (Tabla 1). Dipsadidae con 10 especies y Colubridae con seis, son las familias mejor representadas. Las especies que superaron una abundancia mayor a 10 individuos son: *Xenosaurus grandis*, *Sceloporus variabilis* y *Anolis tropidonotus*, seguidos de *Mastigodryas melanolomus* y *Geophis semidoliatus* con 8 y 7 individuos respectivamente. De las 26 especies, 12 (46%) se encuentran incluidas en alguna categoría de riesgo (Tabla 2) y siete especies son endémicas de México.

La curva de acumulación de especies muestra que el número de especies aumentó en función del esfuerzo de muestreo. Durante los 19 muestreos la curva no muestra indicios de adoptar una fase asintótica, ni tampoco los estimadores unives y duplicates tuvieron alguna tendencia a cruzarse.

Table 2. List of amphibians and reptiles species registered in the Colonia Agrícola Rincón de las Flores, Veracruz.

Tabla 2. Listado de especies de anfibios y reptiles registrados en la Colonia Agrícola Rincón de las Flores, Veracruz.

Clase	Orden	Suborden	Familia	Nombre Científico	NOM-059	IUCN	Num. Catálogo	Abundancia	
AMPHIBIA	CAUDATA	Fischer von Waldheim, 1813	PLETHODONTIDAE Gray, 1850	<i>Bolitoglossa platydactyla</i> (Gray, 1831)	Pr	NT	LACM PC 2524	I	
				<i>Bolitoglossa rufescens</i> (Cope, 1869)	Pr		LACM PC 2525	C	
				<i>Parvimolge townsendi</i> (Dunn, 1922)	A	CR	LACM PC 2526	A	
				<i>Pseudoeurycea lineola</i> (Cope, 1865)	Pr	EN	LACM PC 2527	I	
				<i>Thorius pennatululus</i> Cope, 1869	Pr	CR	LACM PC 2528	I	
				BUFONIDAE Gray, 1825	<i>Incilius valliceps</i> (Wiegmann, 1833)			LACM PC 2529	A
				CRAUGASTORIDAE Hedges, Duellman, y Heinicke, 2008	<i>Craugastor decoratus</i> (Taylor, 1942)	Pr	VU	LACM PC 2530	A
			<i>Craugastor laki</i> (Shannon & Werler, 1955)				LACM PC 2531	C	
			<i>Craugastor pygmaeus</i> (Taylor, 1937)			VU	LACM PC 2532	R	
				ELEUTHERODACTYLIDAE Lutz, 1954	<i>Eleutherodactylus cystignathoides</i> (Cope, 1877)			LACM PC 2533	R
		ANURA	Fischer von Waldheim, 1813	HYLIDAE Rafinesque, 1815	<i>Bromeliohyla dendroscarta</i> (Taylor, 1940)	Pr	CR	LACM PC 2563	R
	<i>Smilisca baudinii</i> (Duméril & Bibron, 1841)						LACM PC 2536	A	
	<i>Smilisca cyanosticta</i> (Smith, 1953)					NT	LACM PC 2537	C	
	<i>Tripriion spinosus</i> (Steindachner, 1864)						LACM PC 2535	A	
							PHYLLOMEDUSIDAE Günther, 1858	<i>Agalychnis moreletii</i> (Duméril, 1853)	
				RANIDAE Batsch, 1796	<i>Lithobates berlandieri</i> (Baird, 1859)	Pr		LACM PC 2538	A

Clase	Orden	Suborden	Familia	Nombre Científico	NOM-059	IUCN	Num. Catálogo	Abundancia				
REPTILIA	SAURIA	Macartney, 1802	DACTYLOIDAE Fitzinger, 1843	<i>Anolis cymbops</i> Cope, 1864	A		LACM PC 2541	R				
				<i>Anolis tropidonotus</i> Peters, 1863		LACM PC 2542	A					
			PHRYNOSOMATIDAE Fitzinger, 1843	<i>Sceloporus salvini</i> Günther, 1890	A		LACM PC 2539	R				
				<i>Sceloporus variabilis</i> Wiegmann, 1834		LACM PC 2540	A					
			SCINCIDAE Gray, 1825	<i>Scincella gemmingeri</i> (Cope, 1864)	Pr		LACM PC 2543	R				
			XENOSAURIDAE Cope, 1866	<i>Xenosaurus grandis</i> (Gray, 1856)	Pr	VU	LACM PC 2544	A				
			SQUAMATA	Oppel, 1811	SERPENTES	Linnaeus, 1758	BOIDAE Gray, 1825	<i>Boa imperator</i> Daudin, 1803	A		LACM PC 2545	R
							<i>Drymarchon melanurus</i> (Duméril, Bibron & Duméril, 1854)		LACM PC 2546	R		
							<i>Lampropeltis polyzona</i> Cope 1861	A		LACM PC 2547	R	
							<i>Leptophis mexicanus</i> Duméril, Bibron & Duméril, 1854	A		LACM PC 2548	R	
	COLUBRIDAE Oppel, 1811	<i>Mastigodryas melanolomus</i> (Cope, 1868)						LACM PC 2549	I			
	<i>Spilotes pullatus</i> Linnaeus, 1758						LACM PC 2550	R				
	<i>Stenorrhina degenhardtii</i> (Berthold, 1846)						LACM PC 2551	R				
	<i>Amastridium sapperi</i> (Werner, 1903)						LACM PC 2552	R				
	DIPSADIDAE Bonaparte, 1838	<i>Coniophanes fissidens</i> (Günther, 1858)		LACM PC 2553	I							
		<i>Geophis semidoliatus</i> (Duméril, Bibron & Duméril, 1854)		LACM PC 2554	I							
		<i>Imantodes cenchoa</i> Linnaeus, 1758	Pr		LACM PC 2555	R						

Clase	Orden	Suborden	Familia	Nombre Científico	NOM-059	IUCN	Num. Catálogo	Abundancia
REPTILIA	SQUAMATA Oppel, 1811	SERPENTES Linnaeus, 1758	DIPSADIDAE Bonaparte, 1838	<i>Leptodeira septentrionalis</i> (Kennicott, 1859)			LACM PC 2556	R
				<i>Ninia diademata</i> Baird & Girard, 1853			LACM PC 2557	I
				<i>Ninia sebae</i> (Duméril, Bibron & Duméril, 1854)			LACM PC 2558	R
				<i>Pliocercus elapoides</i> Cope, 1860			LACM PC 2559	R
				<i>Rhadinaea cuneata</i> Myers, 1974	Pr		LACM PC 2560	I
				<i>Tropidodipsas sartorii</i> (Cope, 1863)	Pr		LACM PC 2561	R
				ELAPIDAE Boie, 1827	<i>Micrurus elegans</i> (Jan, 1858)	Pr		R
			VIPERIDAE Oppel, 18	<i>Metlapilcoaltus nummifer</i> (Rüppell, 1845)	A		LACM PC 2564	R
				<i>Bothrops asper</i> (Garman, 1883)			LACM PC 2562	R

Los estimadores Chao 2 e ICE estimaron una riqueza similar entre ellos (32.77 y 35.01 especies respectivamente), pero son superiores a la riqueza obtenida de 26 especies, lo que indica un 79% y 74% de completitud respectivamente (Fig. 3).

REGISTROS NOTABLES E HISTORIA NATURAL

La herpetofauna de la CARF posee registros notables, ampliaciones de distribución, así como nuevas poblaciones de especies endémicas y en alguna categoría de riesgo (Caudata, Fig. 4; Anura, Fig. 5; Sauria, Fig. 6; y Serpentes, Figs. 7a y 7b).

Caudata

***Pseudoeurycea lineola*.** Se registraron un total de 21 individuos. El 5 de septiembre del 2014, alrededor de las 11:00 h, se registraron dos individuos adultos debajo de un tronco podrido en un pequeño parche con cultivo de maíz (18°43'1.92"N, 96°50'44.90"O; WGS 84; elev. 1051m). El 15 de octubre 2014, alrededor de las 12:00 h, se registraron tres individuos adultos bajo una laja de roca (18°43'3.59"N, 96°50'54.75"O, WGS 84, elev.

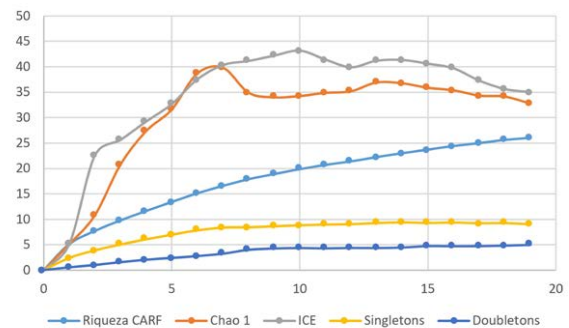


Figure 3. Reptiles species accumulation curve of the sampling performed in the Colonia Agrícola Rincón de las Flores.

Figura 3. Curva de acumulación de especies de reptiles del muestreo en la Colonia Agrícola Rincón de las Flores.



Figure 4. Species of salamanders found in La Colonia Agrícola Rincón de las Flores, municipality of Tezonapa, Veracruz, from April 2014 to January 2015. A) *Bolitoglossa platydictyla*, B) *Bolitoglossa rufescens*, C) *Parvimolge townsendi*, D) *Pseudoeurycea lineola*, E) *Thorius pennatulus*.

Figura 4. Especies de salamandras encontradas en La Colonia Agrícola Rincón de las Flores, municipio de Tezonapa, Veracruz, de abril del 2014 a enero del 2015. A) *Bolitoglossa platydictyla*, B) *Bolitoglossa rufescens*, C) *Parvimolge townsendi*, D) *Pseudoeurycea lineola*, E) *Thorius pennatulus*.

1053) dentro de un parche de cultivo de café, palma camedor y plátano. El 19 de enero del 2015, alrededor de las 9:30 h, se registraron 12 individuos, nueve debajo de una mata de plátano caída, dos de ellos juveniles. Se registraron tres individuos más bajo rocas (18°43'1.05"N, 96°50'48.08"O; WGS 84; elev. 1065 m). El 23 de enero del 2015, alrededor de las 10:30 h, se registran 4 individuos adultos (18°42'54.30"N, 96°50'59.56"O; WGS 84; elev. 1152m) bajo troncos podridos en un parche de selva mediana subperenifolia. Estos registros representan una ampliación de distribución de 25 km al suroeste de la localidad Cuautlapan, Municipio de Ixtaczoquilan (Brodie et al., 2002) y a 18 km al noroeste del municipio de Zongolica (Cázares-Hernández et al., 2018). Sumando seis los municipios conocidos para esta especie, en Veracruz: Amatlán de los Reyes, Ixtaczoquilan, Tezonapa, Xalapa y Zongolica (Cázares-Hernández et al., 2018; Pérez-Sato et al., 2018; AmphibianWeb, 2019) y en Puebla: en el municipio de San Pablo Zoquitlán (Canseco-Márquez et al., 2000).

Anura

Craugastor decoratus (18°43'8.62"N, 96°50'55.50"O; WGS 84; elev. 1050 m). Durante el estudio se obtuvieron 38 registros de *C. decoratus*, tanto en parches con vegetación primaria, dentro de los cultivos y en los jardines de las casas. Durante el día se encuentran inactivos entre las grietas de las rocas calizas y durante la noche se pueden observar activas en las rocas calizas y entre la vegetación herbácea. Esta población se encuentra a 25 km al sureste de la localidad más cercana en Cuautlapan en el municipio de Ixtaczoquitlán (Cerón-de la Luz et al., 2016).

Smilisca cyanosticta (18°43'25.51"N, 96°50'56.85"O; WGS 84; elev. 1023 m). El 12 de Abril del 2014, alrededor de las 12:00 h, se registraron dos individuos machos adultos dentro de un tanque de concreto en una plantación de café de sombra. 13 de abril del 2014, alrededor de las 23:00 h, se observaron 3 individuos, una hembra adulta y dos machos adultos, dentro de un tanque



Figure 5. Frog species found in La Colonia Agrícola Rincón de las Flores, Tezonapa municipality, Veracruz, from April 2014 to January 2015. A) *Agalychnis moreletii*, B) *Bromeliohylla dendroscarta*, C) *Smilisca cyanosticta*, D) *Smilisca baudinii*, E) *Tripriion spinosus*, F) *Craugastor decoratus*, G) *Craugastor loki*, H) *Craugastor pygmeus*, I) *Eleutherodactylus cystignathoides*, J) *Lithobates berlandieri*, K) *Incilius valliceps*.

Figura 5. Especies de ranas encontradas en La Colonia Agrícola Rincón de las flores, municipio de Tezonapa, Veracruz, de abril del 2014 a enero del 2015. A) *Agalychnis moreletii*, B) *Bromeliohylla dendroscarta*, C) *Smilisca cyanosticta*, D) *Smilisca baudinii*, E) *Tripriion spinosus*, F) *Craugastor decoratus*, G) *Craugastor loki*, H) *Craugastor pygmeus*, I) *Eleutherodactylus cystignathoides*, J) *Lithobates berlandieri*, K) *Incilius valliceps*.

artificial en un cultivo de café de sombra y palma camedor (18°43'8.19"N, 96°50'57.58"O; WGS 84; elev. 1057 m) ambos machos se encontraban vocalizando. Posteriormente, durante las lluvias se observaron múltiples individuos adultos en estos sitios, así como postmetamórficos en el mes de octubre. Esta

nueva localidad representa una ampliación de distribución de 26 km al norte de la localidad más cercana en Tepequezquiapan, municipio de Eloxochitlán, Puebla (García-Vázquez et al., 2009) y 190 km al oeste de la localidad Dos Amates en Veracruz (Duellman, 2001).



Figure 6. Lizard species found in La Colonia Agrícola Rincón de las Flores, Tezonapa municipality, Veracruz, from April 2014 to January 2015. A) *Anolis cymbops*, B) *Anolis tropidonotus*, C) *Sceloporus salvini*, D) *Sceloporus variabilis*, E) *Scincella gemmingeri*, F) *Xenosaurus grandis*.

Figura 6. Especies de lagartijas encontradas en La Colonia Agrícola Rincón de las flores, municipio de Tezonapa, Veracruz, de abril del 2014 a enero del 2015. A) *Anolis cymbops*, B) *Anolis tropidonotus*, C) *Sceloporus salvini*, D) *Sceloporus variabilis*, E) *Scincella gemmingeri*, F) *Xenosaurus grandis*.

Squamata: Lacertilia

Anolis cymbops (18°43'2.44"N, 96°50'54.10"O; WGS 84; elev. 1065m). El 15 de diciembre del 2014, alrededor de las 10:00 h se registró un individuo adulto en una grieta de roca caliza, en un parche de cultivo de café de sombra, palma camedor y plátano. El 19 de enero del 2015, alrededor de la 13:00 h, se registró un segundo individuo adulto en una grieta de una roca caliza (18°42'54.30"N, 96°50'59.56"O; WGS 84; elev. 1152 m), en un

parche de selva mediana subperennifolia. Adicionalmente, se observaron dos crías en el mes de agosto en el segundo sitio. Este es el cuarto registro de una población de *Anolis cymbops*, ampliando su distribución a 25 km de la localidad tipo en Cuautlapan, Veracruz (Nieto-Montes de Oca, 1994) y a 26 km de la localidad de Tepequezquiapan en el municipio de Eloxotitlan, Puebla (García-Vázquez et al., 2009).

Xenosaurus grandis (18°42'58.41"N, 96°50'53.81"O; WGS84; elev. 1100m). A lo largo del estudio se registraron varios individuos de esta especie, en todos los casos en el interior de grietas en roca caliza. Se observaron tanto en vegetación primaria como en cultivo mixto de café de sombra, palma camedor y plátano, así como en los alrededores de las casas. Se observaron crías en los meses de mayo, junio y julio. Esta población se encuentra a 18 km de la localidad más cercana en el municipio de Zongolica, Veracruz (Nieto-Montes de Oca et al., 2016) y a 25 km al suroeste y a 28 km al este de las localidades Cuautlapan, municipio de Ixtacotitlan (Cerón de la Luz et al., 2016) y Matzinga, municipio de Tlilapan (Vásquez-Cruz et al., 2019b) respectivamente.

Scincella gemmingeri (18°43'10.59"N, 96°50'35.47"O; WGS 84; elev. 988 m). El 12 de mayo del 2014, alrededor de las 12:30 h, se encontró un individuo adulto dentro de una grieta de roca caliza, en un parche con cultivo mixto de café de sombra con palma camedor y plátano. El 5 de diciembre del 2014 se observó un individuo activo en la orilla de un sendero en un parche con vegetación secundaria (18°43'15.83"N, 96°51'13.38"O; WGS 84; elev. 1070 m). El 3 de enero del 2015, alrededor de las 10:00 h, se encontró un individuo adulto activo entre la hojarasca en un parche con selva mediana subperennifolia (18°42'56.31"N, 96°50'41.46"O; WGS 84; elev. 1070 m). Este registro se encuentra a 27 km al este de la localidad más cercana en Petlalcala, municipio de San Andrés Tenejapa, Veracruz (Kelly-Hernández, 2017).

Squamata: Serpentes

Amastridium sapperi (18°43'3.27"N, 96°50'50.30"O; WGS 84; elev. 1050 m). El 15 de diciembre del 2014, alrededor de las 11:00 h se registró un individuo macho adulto dentro de una grieta de una pared de roca caliza, en un parche con mosaico de café plantado, árboles nativos con abundantes bromelias y otras epífitas, palmera y plátano. El individuo presentó una LHC-340 mm, LC-117 mm, escamas ventrales-154 y escamas subcaudales-117. Este registro representa una ampliación de distribución de 166 km al sur-suroeste de la localidad de La Cueva, Municipio de Pisaflores, Hidalgo y 184 km al este de la localidad de los Tuxtlas, Veracruz (Lara-Tuñiño et al., 2013).

Rhadinaea cuneata (18°43'5.12"N, 96°50'54.92"O; WGS 84; elev. 1046 m). El 12 de abril del 2014, alrededor de las 9:30 h se registró un individuo adulto en la entrada a una cueva, dentro de un parche con café de sombra, con árboles nativos y palma camedor. Posteriormente, el 16 de mayo del 2014, alrededor de las 12:00 h, se encontró un individuo juvenil dentro de una grieta en una pared de roca caliza (18°42'54.22"N, 96°50'54.01"O; WGS 84; elev. 1120 m), en el interior de un parche de selva mediana subperennifolia. Adicionalmente, en este último sitio,

se observaron dos individuos más el 15 de diciembre del 2014 y el 15 de enero del 2015, sin embargo, no se lograron fotografiar. Este registro representa el cuarto municipio conocido para esta especie, situada a 21 km al sur de la localidad tipo en el municipio de Córdoba, Veracruz, a 31 km al norte del municipio de Tlacotepec de Porfirio Díaz, Puebla y a 102 km al noroeste de la localidad de Tuxtepec, Oaxaca (Luría-Manzano et al., 2014b). Cabe señalar que no se había reportado en el estado de Veracruz desde hace 48 años, cuando Myers (1974) describió la especie con base en tres individuos del centro de Córdoba, Veracruz, dos individuos juveniles recolectados en 1940 y 1941 y un individuo hembra recolectada en 1966, siendo este tercer individuo el último reportado para el estado.

DISCUSIÓN

Veracruz es uno de los estados con mayor riqueza de herpetozoos, con 323 especies que lo sitúa en tercer lugar después de Chiapas y Oaxaca. La herpetofauna de la CARF (42 especies) representa el 13% de la riqueza total en el estado, con seis especies de anfibios y seis de reptiles (31%) endémicas de México. De acuerdo con la lista de la NOM-059-SEMARNAT-2010, la CARF posee 13 especies bajo protección especial y siete como amenazadas, de igual forma en la lista de la IUCN se consideran dos como casi amenazadas, tres vulnerables, una en peligro y cuatro se encuentran en peligro crítico. Siete especies son consideradas en ambas listas, por lo que un total de 23 especies (55%) se encuentran bajo alguna categoría de riesgo. Tomando en cuenta la extensión del área de estudio (177 ha) y el número de especies (42) la riqueza es alta en comparación con lo reportado en otras áreas estudiadas dentro de la Región de las Altas Montañas que cuentan con vegetación y altitud similar. Cerón-de la Luz et al. (2016) en la localidad de Cuautlapan reportan 78 especies en una extensión de 1 380 ha; Almaraz-Vidal & Canfield-Limón (2008) en Córdoba reportan 94 especies en un área de 13 901 ha en Córdoba. Tomando en cuenta su riqueza, el número de especies en riesgo y los endemismos, la CARF es un área biológicamente importante o "hot spot" para el estudio y conservación de los anfibios y reptiles.

Debido a la creciente actividad antropogénica que se observó en la CARF durante este estudio, así como, en localidades aledañas, es necesaria la protección del área para aumentar la supervivencia de la riqueza de anfibios y reptiles, debido a que la CARF se encuentra fuera de alguna ANP, lo que amenaza a corto plazo sus poblaciones.

Particularmente, de las ocho especies de anfibios con mayor abundancia en la CARF, seis son especies con amplia distribución, asociados a zonas con crecimiento poblacional



Figure 7a. Snake species found in La Colonia Agrícola Rincón de las Flores, Tezonapa municipality, Veracruz, from April 2014 to January 2015. A) *Coniophanes fissidens*, B) *Geophis semidoliatus*, C) *Imantodes cenchoa*, D) *Leptodeira septentrionalis*, E) *Ninia diademata*, F) *Ninia sebae*, G) *Pliocercus elapoides*, H) *Rhadinaea cuneata*, I) *Tropidodipsas sartorii*, J) *Drymarchon melanurus*, K) *Lampropeltis polyzona*, L) *Boa imperator*.

Figura 7a. Especies de serpientes encontradas en La Colonia Agrícola Rincón de las flores, municipio de Tezonapa, Veracruz, de abril del 2014 a enero del 2015. A) *Coniophanes fissidens*, B) *Geophis semidoliatus*, C) *Imantodes cenchoa*, D) *Leptodeira septentrionalis*, E) *Ninia diademata*, F) *Ninia sebae*, G) *Pliocercus elapoides*, H) *Rhadinaea cuneata*, I) *Tropidodipsas sartorii*, J) *Drymarchon melanurus*, K) *Lampropeltis polyzona*, L) *Boa imperator*.



Figure 7b. Continuation of snake species found in La Colonia Agrícola Rincón de las Flores, Tezonapa municipality, Veracruz, from April 2014 to January 2015. M) *Leptophis mexicanus*, N) *Mastigodryas melanolomus*, Ñ) *Stephanorhinus degenhardtii*, O) *Amastridium sapperi*, P) *Spilotes pullatus*, Q) *Bothrops asper*, R) *Metlapilcoatlus nummifer*.

Figura 7b. Continuación de las especies de serpientes encontradas en La Colonia Agrícola Rincón de las flores, municipio de Tezonapa, Veracruz, de abril del 2014 a enero del 2015. M) *Leptophis mexicanus*, N) *Mastigodryas melanolomus*, Ñ) *Stephanorhinus degenhardtii*, O) *Amastridium sapperi*, P) *Spilotes pullatus*, Q) *Bothrops asper*, R) *Metlapilcoatlus nummifer*.

en zonas con perturbación, como el caso de *Smilisca baudinii*, *Lithobates berlandieri*, *Incilius valliceps* (Duellman, 2001; Oliver et al., 2009; AmphibianWeb, 2019). Caso contrario se tiene con *Craugastor decoratus* y *Pseudoeurycea lineola*, que presentaron abundancias altas en la CARE, son especies endémicas, consideradas en alguna categoría de riesgo (Parra-Olea et al.,

2008; Santos-Barrera & Canseco-Márquez, 2010), sus hábitats se encuentran fragmentados y no toleran la perturbación.

En la CARE tres especies de lagartijas tuvieron las abundancias más altas para los reptiles; *Anolis tropidonotus*, *Sceloporus variabilis* y *Xenosaurus grandis*. En el caso de *A. tropidonotus* y de *S. variabilis*,

presentan distribución amplia en México y Centro América (Uetz et al., 2019). Por otra parte, *X. grandis* es una especie endémica, considerada bajo protección especial de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) así como vulnerable en la IUCN Redlist (Canseco-Márquez, 2007).

Algunas especies resultaron poco frecuentes, es probable que se deba a la baja detectabilidad, a causa de sus hábitos o a la baja tolerancia a la perturbación, como el caso de *Bromeliohyala dendroscarta* (Vásquez-Cruz et al., 2019a), *Anolis cymbops* (Nieto-Montes de Oca, 1994) y *Sceloporus salvini* (Castillo-Juárez et al. en revisión) consideradas especies en riesgo. Algunas otras no se habían reportado para la región de las Altas Montañas, este es el caso de la serpiente *Amastridium sapperi* y la rana *Smilisca cyanosticta*.

CONCLUSIÓN

Se registró una riqueza de 42 especies de herpetozoos que representan el 13% de la diversidad de anfibios y reptiles registrada para el estado, dos de ellas no se reportan en estudios previos en la región centro-oeste. Tomando en cuenta la curva de acumulación de especies la lista de anfibios y reptiles de la CARF se considera casi completa, alrededor de siete especies extra aún pueden ser registradas. La CARF es un reservorio de un alto número de especies endémicas (31% de su riqueza) y más de la mitad de sus especies consideradas en alguna categoría de riesgo o protección (55%), por lo que representa una excelente oportunidad para estudios ecológicos en algunos grupos en especial aquellas especies raras y de implementar estrategias de educación ambiental para su conservación.

Agradecimientos.— A José Luis Servín Torres por su apoyo durante el estudio. A Arleth Reynoso-Martínez por su apoyo en la preparación del manuscrito. A Adam G. Clause por sus sugerencias que mejoraron el manuscrito. A Alfonso Kelly Hernández por proporcionar la fotografía 7.I. A Diego Alberto Zepahua Xochiquistle, Alfonso Kelly Hernández, Abigail Mora Reyes, Eduardo Michell Pérez Gámez, Eder León López, Nelson Martín Cerón de la Luz, Axel Fuentes Moreno, Monserrath Campos-Cerón, Dania Guadalupe Venerozo Tlazalo, Ángel Iván Contreras Calvario e Hilario Pérez Pacheco por su asistencia de campo, y a Nefalí Camacho (LACM PC) por su apoyo catalogando las fotografías digitales.

LITERATURA CITADA

Aguilar-López, J.L., E. Pineda & U. García-Vázquez. 2010. Ampliación del ámbito geográfico-altitudinal de *Duellmanohyla chamulae*

(Amphibia: Hylidae) y primer registro para la anfibiofauna de Veracruz. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81:579-580.

Aguilar-López, J.L., E. Pineda, R. Luría-Manzano & L. Canseco-Márquez. 2016. Species Diversity, Distribution, and Conservation Status in a Mesoamerican Region: Amphibians of the Uxpanapa-Chimalapas Region, Mexico. *Tropical Conservation Science* 2016:1-16.

Almaraz-Vidal, D. & R. Canfield-Limón. 2008. Lista actualizada de los Anfibios y Reptiles de Córdoba, Veracruz. *Memorias X Reunión Nacional De Herpetología*. México.

AmphibiaWeb. 2020. Information on Amphibian Biology and Conservation. <http://amphibiaweb.org/>. [Consultado en Mayo 2020].

Brodie, E.D., Jr., J.R. Mendelson, III & J.A. Campbell. 2002. Taxonomic revision of the Mexican plethodontid salamanders of the genus *Lineatriton*, with the description of two new species. *Herpetologica* 58:194-202.

Canseco-Márquez, L., G. Gutiérrez-Mayen & J. Salazar-Arenas. 2000. New Records and Range Extensions for Amphibians and Reptiles from Puebla, Mexico. *Herpetological Review* 31:259-263.

Canseco-Márquez, L. 2007. *Xenosaurus grandis*. In IUCN 2019. IUCN Red List of threatened species. Versión 2019-3. <http://www.iucnredlist.org> [Consultado en Febrero 2020].

Canseco-Márquez, L., C.J. Pavón-Vázquez, M.A. López-Luna & A. Nieto-Montes de Oca. 2016. A new species of earth snake (Dipsadidae, *Geophis*) from Mexico. *ZooKeys* 610:131-145.

Cázares-Hernández, E., E. Molohua-Tzitzihua, E.C. Méndez-Quiahua, E. Quiahua-Colotl, I. Temoxtle-Marquez, J.C. Rodrigo-Merino & R. Apale-Pacheco. 2018. Tlaconetes. Los Hijos de la Tierra. Zongolica. Instituto Tecnológico Superior de Zongolica. México.

Cerón-de la Luz, N.M., J.A. Lemos-Espinal & G.R. Smith. 2016. A diversity and conservation inventory of the Herpetofauna of the Cuautlapan Valley, Veracruz, Mexico. *Zootaxa* 4205:127-142.

Crump, M. & N. Scott. 1994. Visual encounter surveys. Pp. 84-92. En R. Heyer, R., M. Donnelly, R. McDiarmid, L. Hayek, & M. Foster (Eds.), *Measuring and Monitoring Biological Diversity: standard methods for amphibians*. Smithsonian Institution Press. Washington.

- Duellman, W.E. 2001. The Hylid Frogs of Middle America. 2 Volumes. 2nd Edition. Ithaca. Contributions to Herpetology, Volume 18, Society for the Study of Amphibians and Reptiles. USA.
- Flores-Villela, O., H.M. Smith & D. Chizar. 2004. The history of Herpetological Exploration in Mexico. *Bonner Zoologische Beiträge* 52:311-335.
- Flores-Villela, O.A. & U.O. García-Vázquez. 2014. Biodiversidad de reptiles en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad Supl.* 85:S467-S475.
- García-Castillo, M.G., A.F. Soto-Pozos, J.L. Aguilar-López, E. Pineda-Arredondo & G. Parra-Olea. 2018. Two new species of *Chiropetrotriton* (Caudata: Plethodontidae) from central Veracruz, Mexico. *Amphibian & Reptile Conservation* 12:37-54.
- García-Vázquez, U.O., L. Canseco-Márquez, J.L. Aguilar-López, I. Solano-Zavaleta, & R.J. Maceda-Cruz. 2009. Noteworthy Records of Amphibians and Reptiles from Puebla, México. *Herpetological Review* 40:467-470.
- Guzmán-Guzmán, S. 2011. Anfibios y Reptiles de Veracruz: Guía ilustrada. Gobierno del Estado de Veracruz, Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología. Veracruz, México.
- Guzmán-Guzmán, S., J.E. Morales-Mávila & E.O. Pineda-Arredondo. 2011. Anfibios. Pp 517-529. En Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (Conabio). La Biodiversidad en Veracruz: estudio de estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México.
- IUCN 2019. The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2019-3. <https://www.iucnredlist.org> [Consultado en Febrero 2020].
- Jiménez-Valverde, A. & J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología* 8:151-161.
- Kelly-Hernández, A. 2017. Actualización de la herpetofauna del Cerro Petlalcala, municipio de San Andrés Tenejapan, Veracruz, México. Tesis de licenciatura. Universidad Veracruzana, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.
- Lara-Tufiño, D., R. Hernández-Austria, L.D. Wilson, C. Berriozabal-Islas & A. Ramírez-Bautista. 2013. New state record for the snake *Amastridium sapperi* (Squamata: Dipsadidae) from Hidalgo, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:654-657.
- López-Luna, M.A., R. Vogt & M.A. De la Torre-Loranca. 1999. A new species of montane pitviper from Veracruz. *Herpetologica* 55:382-389.
- Luría-Manzano, R., J.L. Aguilar-López, L. Canseco-Márquez & M.G. Gutiérrez-Mayén. 2014a. Distribución geográfica de *Anotheca spinosa* (Anura: Hylidae) en México: nuevo registro para la anfibiafauna de Puebla. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:1285-1288.
- Luría-Manzano, R., A. Ramírez-Bautista & L. Canseco-Márquez. 2014b. Rediscovery of the Rare Snake *Rhadinaea cuneata* Myers, 1974 (Serpentes: Colubridae: Dipsadinae). *Journal of Herpetology* 48:122-124.
- Myers, C.W. 1974. The systematics of *Rhadinaea* (Colubridae), a genus of New World snakes. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 153:1-262.
- Morales-Mávila, J.E., S. Guzmán-Guzmán, L. Canseco-Márquez, G. Pérez-Higareda, A. González-Romero & R.C. Voght. 2011. Reptiles: diversidad y conservación. Pp 531-543. En Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). La Biodiversidad en Veracruz: estudio de estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México.
- Nieto-Montes de Oca, A. 1994. A taxonomic review of the *Anolis schiedii* group (Squamata: Polychrotidae). Tesis de doctorado. University of Kansas - Lawrence. Kansas, USA.
- Nieto-Montes de Oca, A., A.J. Barley, R.N. Meza-Lázaro, U.O. García-Vázquez, J.G. Zamora-Abrego, R.C. Thomson & A.D. Leaché. 2016. Phylogenomics and species delimitation in the knob-scaled lizards of the genus *Xenosaurus* (Squamata: Xenosauridae) using ddRADseq data reveal a substantial underestimation of diversity. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 106:241-253.
- Ochoa-Ochoa, L.M. & O.A. Flores-Villela. 2006. Áreas de diversidad y endemismo de la herpetofauna mexicana. UNAM-CONABIO, México, D.F.
- Ochoa-Ochoa, L.M. & O.A. Flores-Villela. 2011. Endemismo de la herpetofauna: Análisis y problemáticas. Pp. 545-558. En Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México.

- Oliver López, L., G.A. Woolrich Piña & J.A. Lemos Espinal. 2009. La familia Bufonidae en México. Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Parra-Olea, G., T.J. Papenfuss & D.B. Wake. 2001. New species of lungless salamanders of the genus *Pseudoeurycea* (Amphibia: Caudata: Plethodontidae) from Veracruz, Mexico. *Scientific Papers. Natural History Museum, University of Kansas* 20:1-9.
- Parra-Olea, G., D. Wake, J. Raffaelli, J. Hanken & M. García-París. 2008. *Pseudoeurycea lineola*. In IUCN 2019. IUCN Red List of threatened species. Versión 2019-3. <http://www.iucnredlist.org> [Consultado en Febrero 2020].
- Parra-Olea, G., S.M. Rovito, L. Márquez-Valdelamar, G. Cruz, R. Murrieta-Galindo & D.B. Wake. 2010. A new species of *Pseudoeurycea* from the cloud forest in Veracruz, México. *Zootaxa* 2725:57-68.
- Parra-Olea, G., O. Flores-Villela & C. Mendoza-Almeralla. 2014. Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad Supl.* 85:S460-S466.
- Pelcastre, V.L. & O. Flores-Villela. 1992. Lista de especies y localidades de recolecta de la herpetofauna de Veracruz, México. *Publicaciones Especiales del Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM* 4:25-96.
- Pérez-Sato, J.A., N.M. Cerón-de la Luz, R. Serna-Lagunes, J.E. Rivera-Hernández, N. Mora-Collado & J. Salazar-Ortiz. 2018. Herpetofauna de tres localidades del municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. *Agroproductividad* 12:38-44.
- Reynoso-Martínez, A., V. Vásquez-Cruz, A. Kelly-Hernández & L. Canseco-Márquez. 2018. *Bolitoglossa rufescens* (Cope, 1869), sharing refuge with *Cupiennius salei* (Araneae: Ctenidae). *Mesoamerican Herpetology* 5:154-157.
- Sandoval-Comte, A., E. Pineda-Arredondo, S.M. Rovito & R. Luría-Manzano. 2017. A new species of *Isthmura* (Caudata: Plethodontidae) from the montane cloud forest of central Veracruz, Mexico. *Zootaxa* 4277:573-582.
- Santos-Barrera, G. & L. Canseco-Márquez. 2010. *Craugastor decoratus*. In IUCN 2019. IUCN Red List of threatened species. Versión 2019-3. <http://www.iucnredlist.org> [Consultado en Febrero 2020].
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. 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, jueves 30 de diciembre de 2010, Ciudad de México, Mexico.
- Taylor, E.H. 1940. Two new anuran amphibians from Mexico. *Proceedings of the United States National Museum* 89: 43-123.
- Taylor, E.H. 1941. New amphibians from the Hobart M. Smith Mexican collections. *University of Kansas Science Bulletin* 27:141-167.
- Uetz, P., P. Freed & J. Hosek (Eds). 2019. The Reptile Database. <http://www.reptile-database.org>. [Consultado en Julio 2019]
- Urbina-Cardona, J.N. & O.A. Flores-Villela. 2010. Ecological-Niche Modeling and Prioritization of Conservation-Area Networks for Mexican Herpetofauna. *Conservation Biology* 24(4):1031-1041.
- Vásquez-Cruz, V., A. Kelly-Hernández, N.M. Cerón-de la Luz & L. Canseco-Márquez. 2017a. *Anothea spinosa* (Steindachner, 1864). Predation by *Cupiennius salei* (Araneae: Ctenidae). *Mesoamerican Herpetology* 4:914-915.
- Vásquez-Cruz, V., A. Reynoso-Martínez, L. Canseco-Márquez & E.M. Pérez-Gámez. 2017b. *Atropoides nummifer* (Rüppell, 1845). Cannibalism. *Mesoamerican Herpetology* 4:934-936.
- Vásquez-Cruz, V., L. Canseco-Márquez & A. Reynoso-Martínez. 2019a. Distributional and natural history notes for *Bromeliohylla dendroscarta* (Anura: Hylidae) in Veracruz, Mexico. *Phyllomedusa* 18:27-36.
- Vásquez-Cruz, V., E. León-López, A. Kelly-Hernández & E.M. Pérez-Gámez. 2019b. *Xenosaurus grandis* (Knob-scaled Lizard). eye color variant. *Natural History. Herpetological Review* 50:147-148.
- Vite-Silva, V. D., A. Ramírez-Bautista & U. Hernández-Salinas. 2010. Diversidad de anfibios y reptiles de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81:473-485.



DETECCIÓN DE *BATRACHOCHYTRIUM DENDROBATIDIS* (CHYTRIDIOMYCOTA) EN LOCALIDADES DEL VALLE DEL CAUCA POR TÉCNICA DE PCR

DETECTION OF *BATRACHOCHYTRIUM DENDROBATIDIS* (CHYTRIDIOMYCOTA) IN LOCALITIES OF VALLE DEL CAUCA BY PCR TECHNIQUE

RONALD ANDRÉS VIÁFARA VEGA^{1,2,*}, FERNANDO CASTRO HERRERA² Y HEIBER CÁRDENAS HENAO^{1,3}

¹Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento de Biología, Universidad del Valle, Santiago de Cali 76001, Colombia.

²Grupo de investigación Laboratorio de Herpetología, Escuela de Ciencias Básicas, Universidad del Valle, Santiago de Cali 76001, Colombia.

³Grupo de Estudios Ecogenéticos y de Biología Molecular, Departamento de Biología, Universidad del Valle, Santiago de Cali 76001, Colombia.

*Correspondence: ronaldv2507@hotmail.com

Abstract.— Chytridiomycosis caused by the *Batrachochytrium dendrobatidis* fungus is one of the most important infectious diseases in amphibians in recent times. Since its discovery in 1999, the fungus has been recorded in multiple locations around the world and has been responsible for the decline of global amphibian populations. The objective of this work was to examine the presence of the fungus in seven locations in Valle del Cauca using the PCR technique. We sampled fungal presence in seven locations in Valle del Cauca by taking amphibian epithelium samples via swabbing. Samples were transported to the laboratory where PCR technique and specific primers were used to detect the presence or absence of *Batrachochytrium dendrobatidis* zoospores. Of the 241 samples analyzed, four were positive for the disease, all found in the Chicoral locality in La Cumbre municipality and belonging to the Craugastoridae family: *Pristimantis palmeri*, *P. erythropleura*, *P. orpacobates* and *P. calcaratus*. This work identifies a new locality in the Valle de Cauca department that is infected by chytridiomycosis, as well as two new species reported with the infection; Further studies in other localities within the department are needed to search new sites of infection.

Keywords.— Amphibians, chytridiomycosis, population decline, skin-swabbing.

Resumen.— Actualmente, una de las causas de la declinación de anfibios en el mundo son las enfermedades infecciosas, y entre ellas, la quitridiomycosis producida por el hongo *Batrachochytrium dendrobatidis* es una de las más importantes. Desde su descubrimiento, el hongo ha sido registrado en múltiples lugares en todo el mundo, convirtiéndolo en un foco de estudio si se desea conservar las especies de anfibios. Con el fin de examinar la presencia del hongo en el Valle del Cauca mediante la técnica de PCR, en este trabajo se muestrearon siete localidades del Valle del Cauca. A partir de muestras de epitelio de anfibios por raspado con hisopos se detectó la presencia o ausencia de zoosporas de *Batrachochytrium dendrobatidis* por medio de la técnica PCR. De las 241 muestras analizadas (40 especies), cuatro resultaron positivas para la enfermedad, todas ubicadas en la localidad de Chicoral, municipio La Cumbre, y pertenecientes a la familia Craugastoridae: *Pristimantis palmeri*, *P. erythropleura*, *P. orpacobates* y *P. calcaratus*. Se agrega una nueva localidad infectada con quitridiomycosis al departamento de Valle de Cauca y dos nuevas especies reportadas con la infección, por lo que es necesaria la realización de muestreos en otros lugares en la búsqueda de nuevos sitios infectados.

Palabras clave.— Anfibios, declinación poblacional, muestreo de hisopado, quitridiomycosis.

INTRODUCCIÓN

Desde hace varios años se ha observado una rápida y constante disminución en las poblaciones de anfibios en todo el mundo, llegando al grado de que un 40% de las especies descritas se encuentran en algún grado de amenaza (Pechmann & Wilbur, 1994; Houlahan et al., 2000; Alford et al., 2001; IUCN 2019). Las principales causas de este declive son la pérdida de hábitat, la sobreexplotación, las especies introducidas, el cambio climático, la contaminación química y las enfermedades infecciosas (Young et al., 2001; Heatwole, 2013). Dentro de las enfermedades infecciosas, el hongo *Batrachochytrium dendrobatidis* (Longcore et al., 1999), ha sido reportado como una de las principales causas de pérdida de anfibios en bosques lluviosos de Australia y Centroamérica, y en general, esparciéndose rápidamente a muchos ecosistemas del mundo, afectando a diferentes poblaciones de anfibios (Berger et al., 1998).

Este hongo se dispersa por medio del agua, donde se movilizan sus zoosporas y una vez, al llegar a un huésped, la zoospora se enquista y penetra en la epidermis empezando a alimentarse de la queratina, lo que inhibe el transporte de electrolitos en el organismo, llevándolo a un desequilibrio osmótico y paros cardíacos hasta su muerte (Berger et al., 2005a). El diagnóstico incluye hiperplasia, hiperqueratinosis y enrojecimiento de las partes afectadas, sobre todo la ingle, las extremidades, las membranas interdigitales y el vientre (Berger et al., 2005a). La detección de la infección por *Batrachochytrium dendrobatidis* (*Bd.* en adelante) puede realizarse por análisis histológico de los individuos infectados, ya sea recién recolectados o fijados en formol y preservados en alcohol al 70% (Berger et al., 1999), o mediante la técnica de PCR, ya sea convencional o de tiempo real, usando cebadores específicos para las regiones ITS1 y ITS2 del gen 5,8S del ADNr (Annis et al., 2004; Kriger et al., 2006).

Para el neotrópico se ha encontrado la presencia del hongo en gran parte de Centroamérica, en zonas donde las poblaciones de anfibios han ido disminuyendo drásticamente desde 1980 como: Panamá (Lips et al., 2006), México (Lips et al., 2004) y Costa Rica (La Marca et al., 2005). Para Colombia el primer reporte de *Bd.* se dio para los departamentos de Santander y Cundinamarca, donde Ruiz & Rueda-Almonacid (2008) encontraron individuos de *Atelopus mittermeieri*, *Pristimantis elegans* y *Hyloscirtus bogotensis* infectados por quitridiomycosis (el primero de ellos recolectado en 1981 y los otros dos en el 2005), mediante análisis histológico de organismos preservados en colecciones desde 1968 hasta el 2006. Por otro lado, Urbina & Galeano (2011) reportaron el hongo en la Cordillera Central para el departamento de Antioquia, en individuos de *P. piceus*, *P. uranobates* y *H. larinopygion*.

Adicionalmente, Vásquez-Ochoa et al. (2012) reportaron individuos infectados de *Leptodactylus colombiensis*, *Dendropsophus labialis* y *D. mathiassoni* para localidades de la Cordillera Oriental. Flechas et al. (2012) ampliaron la distribución de *Bd.* para la Isla De Gorgona, siendo uno de los primeros registros para tierras bajas tropicales. Finalmente, Acevedo et al. (2016) reportaron su presencia en localidades del Parque Nacional Natural Tamá entre los 2000-3200 msnm, infectando 12 de las 14 especies que se encuentran en la zona.

Para el departamento del Valle del Cauca los primeros reportes de este hongo se hicieron mediante el estudio histológico de Velásquez et al. (2008) en individuos de la colección de anfibios y reptiles de la Universidad del Valle (UV-C), donde se identificaron cuatro localidades con el hongo: Reserva Natural Cerro El Ingles, Municipio El Cairo; Reserva Natural Bosque de Yotoco, Municipio Yotoco; Hacienda San Pedro (El Queremal), Municipio Dagua y Bosque del cerro de San Antonio, Municipio de Cali. Por otro lado, al examinar más localidades del departamento mediante la técnica de PCR, Mojica (2010) logró confirmar la presencia del hongo en las localidades de El Queremal y Yotoco, previamente analizadas por Velásquez et al. (2008).

El departamento del Valle del Cauca posee una alta variabilidad paisajística y geográfica que le permite albergar cerca de 187 especies de anfibios en su territorio (Castro-H & Vargas-S, 2008; Cardona et al., 2013), lo que corresponde al 23% de las especies del país (AmphibiaWeb, 2019). Sin embargo, la diversidad de la región ha sufrido una disminución gradual de sus poblaciones similar a la ocurrida en otras partes del mundo, sobre todo para las zonas ubicadas en los bosques andinos de las Cordilleras Occidental y Central, registrándose un empobrecimiento en el número de especies e individuos encontrados en cada visita y la desaparición de especies antes comunes, principalmente de los géneros *Gastrotheca*, *Pristimantis* y *Atelopus* (Lynch & Grant, 1998; Herrera-Montes, 2006; Castro-Herrera et al., 2007; Velásquez et al., 2008; Mojica, 2010; Kuri, 2015).

Debido a la gran diversidad de anfibios presente en el Valle del Cauca y al especial interés que la quitridiomycosis representa por su rápida dispersión, amplio rango de huéspedes y su capacidad de infectar en zonas destinadas a la conservación, donde otros factores como la contaminación y la deforestación se encuentran reducidos o ausentes (Lips et al., 2004), es importante localizar sitios infectados o monitorear la propagación de la enfermedad, para la conservación de los anfibios. Por lo tanto, el presente trabajo examinó la presencia del hongo en siete localidades del Valle del Cauca mediante la técnica de PCR.

Table 1. Sampled localities.

Tabla 1. Localidades muestreadas.

Localidad	Municipio	Coordenadas	Altura (m)
Bosque río Bitaco	La Cumbre, corregimiento Bitaco, vereda Chicoral	03°33.940' N 76°35.570' W	1900-2000
Reserva Amor y Paz	Cali, corregimiento de Pance, vereda El Pato	03°19.780' N 76°39.717' W	2300-2600
Reserva Natural Cerro El Inglés	El Cairo, corregimiento El Boquerón, vereda El Brillante	04°44'29.4" N 76°17'46.0" W	2000-2400
Finca Bellavista	Trujillo, corregimiento de Andinópolis, vereda Arauca	04°10'28" N 76°15'45" W	1900-2000
Reserva Forestal Protectora Nacional	Yotoco	03°52'72" N 76°25'87" W	1000-1700
Bosque del Cerro de San Antonio	Cali, corregimiento El Saladito	03°38' N 76°38' W	1800-2100
Centro de educación ambiental La Sirena	Palmira, corregimiento Tienda Nueva	03°31'31.9" N 76°06'27.5" W	2300-2550

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se tomaron muestras de poblaciones de anfibios de seis localidades de la Cordillera Occidental y una de la Cordillera Central del Valle del Cauca (Tabla 1 y Figura 1).

Toma de muestras

Entre octubre del 2012 y julio del 2013, se realizaron salidas de campo a las diferentes localidades en los meses de temporada de lluvias. Los muestreos se realizaron tanto en el día como en la noche dependiendo de la actividad de las especies, implementando el método de relevamiento por encuentros visuales (RES) (Heyer et al., 1994). Cada uno de los individuos fue capturado con bolsas plásticas individuales, con el fin de evitar contaminación, tomando muestras según el método por hisopado descrito por Boyle et al. (2004), deslizando un hisopo estéril unas 30 veces sobre la superficie ventral, la ingle, las piernas y las membranas interdigitales del anfibio, aplicando cierta presión sin lastimar al animal. El hisopo fue almacenado en un tubo eppendorf de 1.5mL con 600µL de etanol al 70% rotulado con un código único (Mojica, 2010) y los individuos fueron liberados luego de la toma de la muestra. Las muestras fueron conservadas a 4°C hasta su llegada al laboratorio, donde fueron guardadas en el congelador a -20 °C hasta su análisis.

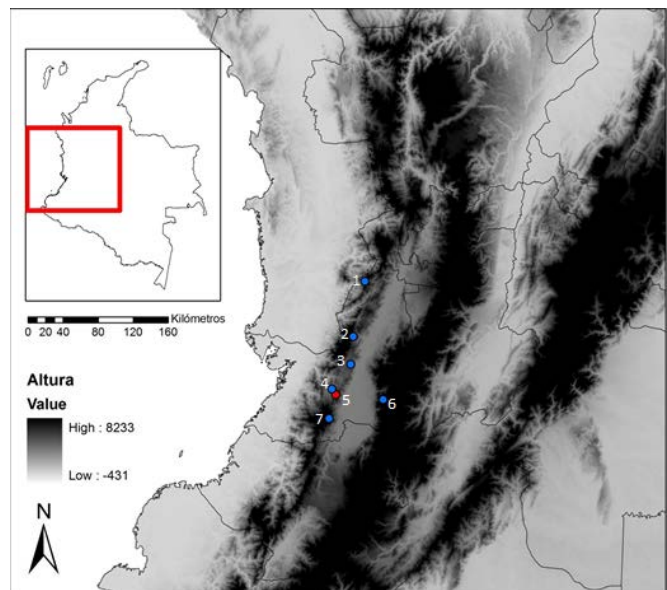


Figure 1. Map with sampling locations in the Valle del Cauca: (1) Reserva Natural Cerro El Inglés, (2) Finca Bellavista-Trujillo, (3) National Protective Forest Reserve Bosque de Yotoco, (4) Forest Cerro de San Antonio-Cali (5) Forest río Bitaco-La Cumbre, (6) Environmental education center La Sirena-Palmira and (7) Forest reserve Amor y Paz-Cali. Red circle marks the location of individuals affected by *Bd* in this research.

Figura 1. Mapa con las localidades muestreadas en el Valle del Cauca: (1) Reserva Natural Cerro El Inglés, (2) Finca Bellavista-Trujillo, (3) Reserva Forestal Protectora Nacional Bosque de Yotoco, (4) Bosque del Cerro de San Antonio-Cali (5) Bosque río Bitaco-La Cumbre, (6) Centro de educación ambiental La Sirena-Palmira, (7) Reserva forestal Amor y Paz-Cali. El punto rojo indica la localidad en donde se encontraron individuos afectados por *Bd* en este estudio.

Localidad	Género	especie	Total	Bd. positivo
Bosque Chicoral	<i>Caecilia</i>	<i>subdermalis</i>	1	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>erythropleura</i>	10	1
	<i>Pristimantis</i>	<i>palmeri</i>	22	1
	<i>Pristimantis</i>	<i>orpacobates</i>	4	1
	<i>Centralene</i>	<i>savagei</i>	2	0
	<i>Nymphargus</i>	<i>ignotus</i>	1	0
	<i>Colostethus</i>	sp.	3	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>brevifrons</i>	3	0
	<i>Hypodactylus</i>	<i>mantipus</i>	3	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>calcaratus</i>	2	1
	<i>Pristimantis</i>	sp.	2	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>viridicans</i>	2	0
	<i>Bolitoglossa</i>	<i>walkeri</i>	8	0
Reserva Bosque de Yotoco	<i>Pristimantis</i>	<i>palmeri</i>	7	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>erythropleura</i>	1	0
	<i>Strabomantis</i>	<i>ruizi</i>	1	0
	<i>Andinobates</i>	<i>bombetes</i>	5	0
Reserva amor y paz, Pance	<i>Pristimantis</i>	<i>palmeri</i>	7	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>brevifrons</i>	1	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>orpacobates</i>	3	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>calcaratus</i>	1	0
	<i>Pristimantis</i>	sp. 1	4	0
	<i>Pristimantis</i>	sp. 2	2	0
	<i>Pristimantis</i>	sp. 3	1	0
	<i>Pristimantis</i>	sp. 4	1	0
	<i>Pristimantis</i>	sp. 5	5	0
	<i>Pristimantis</i>	sp. 6	1	0
Finca Bellavista, Trujillo	<i>Strabomantis</i>	<i>ruizi</i>	3	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>palmeri</i>	7	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>erythropleura</i>	6	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>w-nigrum</i>	1	0
	<i>Dendropsophus</i>	<i>columbianus</i>	2	0
Reserva Natural Cerro El Ingles	<i>Rhinella</i>	<i>paraguas</i>	12	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>silverstonei</i>	17	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>palmeri</i>	5	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>restrepoi</i>	11	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>quantus</i>	2	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>phalarus</i>	6	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>achatinus</i>	1	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>kelephus</i>	2	0
	<i>Pristimantis</i>	sp. 1	1	0
	<i>Pristimantis</i>	sp. 2	1	0
	<i>Bolitoglossa</i>	sp.	2	0
Bosque de San Antonio	<i>Pristimantis</i>	<i>palmeri</i>	5	0
	<i>Hypodactylus</i>	<i>mantipus</i>	1	0
Reserva La Sirena	<i>Pristimantis</i>	<i>buckleyi</i>	4	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>piceus</i>	7	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>thectopternus</i>	2	0
	<i>Pristimantis</i>	<i>alalocophus</i>	3	0
	<i>Pristimantis</i>	sp.	31	0
	<i>Hyloscirtus</i>	<i>larinopygion</i>	2	0
	<i>Bolitoglossa</i>	sp.	4	0

Table 2. Species analyzed in the seven sampling locations.

Tabla 2. Especies analizadas para la detección de *Batrachochytrium dendrobatidis* en siete localidades del Valle del Cauca.

Extracción de ADN

Todos los procedimientos de extracción y amplificación de ADN fueron realizados en el laboratorio de Biología Molecular de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Sección Genética, Universidad del Valle. En el laboratorio, el hisopo fue exprimido con pinzas estériles, tomando 300µL del contenido y colocándolos en un tubo eppendorf de 0.6mL. Estos tubos se centrifugaron (IEC Centra-MP4R) a 12 000 rpm por 3 minutos, después de lo cual fue posible observar un pellet en la mayoría de los tubos, posteriormente se vaciaron por inversión sobre una toalla de papel y se llevaron al Speedvac Concentrator (Savant: SVC 100H) por 25 minutos; al terminar se adicionó 10µL de agua purificada MilliQ y se llevó al vortex. Por último, se transfirió el contenido a un tubo de PCR donde se adicionó 20µL del reactivo Genereleaser (Bioventures, Inc.) y se llevó al ciclo de extracción recomendado por la casa comercial en el termociclador AmpliTron II serie 1091 (Banstead International).

Amplificación por PCR

El ADN extraído fue procesado mediante PCR utilizando los cebadores Bd1a y Bd2a descritos por Annis et al, (2004), que amplifican entre la región ITS1 y ITS2 del ADNr 5.8S. Se implementó las condiciones de PCR y el programa de amplificación utilizado por Mojica (2010), el cual consiste en una desnaturalización inicial a 95 °C por dos minutos, seguido de 35 ciclos que incluyen una desnaturalización a 95 °C por 45seg, un anillaje a 55 °C por 45seg y una extensión a 72 °C por un minuto; por último termina con una extensión final a 72 °C por 10 minutos. Los fragmentos de ADN amplificados fueron separados por electroforesis en gel de agarosa (1%) durante 40 minutos a 90 voltios, y se visualizaron en el trasiluminador UV por medio del colorante EZ-vision.

RESULTADOS

En total se analizaron 241 muestras pertenecientes a 40 especies distribuidas en los tres órdenes de anfibios: Gymnophiona (1), Caudata (2) y Anura (37) (Tabla 2). La mayoría de los individuos (199) pertenecían a la familia Craugastoridae. Se detectó el hongo en cuatro muestras correspondientes a la localidad de Chicoral, municipio de La Cumbre. Las especies infectadas pertenecen a la familia Craugastoridae: *Pristimantis palmeri* (Boulenger, 1912), *P. erythropleura* (Boulenger, 1896), *P. orpacobates* (Lynch, Ruiz-Carranza & Ardila-Robayo, 1994) y *P. calcaratus* (Boulenger, 1908). Ninguno de los individuos infectados mostró signos de

quitridiomycosis, tales como hiperqueratinosis, letargo, pérdida de reflejos, anorexia, entre otras (Berger et al., 1998).

DISCUSIÓN

Todas las especies infectadas en este estudio pertenecen al género *Pristimantis* y se ubicaron en un bosque de niebla de la Cordillera Occidental. Este tipo de bosque corresponde al bosque húmedo premontano según las zonas de vida de Holdridge (1967) y fue categorizada como un sitio de alta idoneidad para *Bd.* por Ron (2005), pues presenta condiciones óptimas para el establecimiento y sobrevivencia del hongo (temperatura ambiental entre los 15-25°C y alta humedad relativa) (Piotrowski et al., 2004), aunque no se excluye los bosques de tierras bajas como sitios para el hallazgo del mismo. En los anteriores trabajos de detección de *Bd.* en el Valle del Cauca las localidades infectadas también correspondieron a bosques húmedos premontanos y la mayoría de los individuos afectados pertenecían a la familia Craugastoridae, por ejemplo para Velásquez et al. (2008) la mitad de las especies con *Bd.* pertenecían a esta familia, de igual manera para Mojica (2010) todos los individuos afectados eran del género *Pristimantis*. Teniendo en cuenta que para el Valle del Cauca las comunidades de anuros de las Cordilleras Occidental y Central, están compuestas por un 50% o más de especies del género *Pristimantis* (Kattan, 1987; Cardona et al., 2013) por lo que no es de extrañar que los individuos de este género se encuentren entre los más afectados por la enfermedad. Y abré la discusión sobre si gran parte de la diversidad de anuros del departamento podría encontrarse amenazada por *Bd.*

De las cuatro especies infectadas, solo *P. orpacobates* y *P. calcaratus* no se habían reportado antes con presencia de *Bd.* Adicionalmente, ninguno de los individuos afectados mostraron signos de quitridiomycosis, algo muy común en los casos de infección por quitridiomycosis en Colombia (Velásquez et al., 2008; Mojica, 2010; Urbina & Galeano, 2011; Vázquez-Ochoa et al., 2012). Esta aparente falta de diagnóstico puede deberse a que algunos individuos son resistentes a la infección y pueden sobrellevarla sin efectos negativos o a que el individuo se encuentra en las primeras etapas de la infección. Se han reportado múltiples casos de resistencia por parte de diferentes anfibios en el mundo: la rana toro *Lithobates catesbeianus* (Hanselmann, 2004; Daszak, 2004), *Xenopus laevis* (Weldon et al., 2004), *Litoria wilcoxii*, (Kriger & Hero, 2006), *Rana cascadae*, *Hyla regilla* (Blaustein et al., 2005) entre otros. Gran parte de esta resistencia se debe a la presencia de péptidos antimicrobianos en el sistema inmune de los anfibios, que tienen una amplia capacidad antimicrobiana de bacterias, virus y hongos, incluyendo *B. dendrobatidis* (Carey et al., 1999, Rollins-Smith et al., 2002a, b; Gibble et al., 2007;

Woodhams et al., 2007) y también a la asociación simbiótica con bacterias que reducen o inhiben el crecimiento del patógeno (Harris et al., 2006; Woodhams et al., 2007; Flechas et al., 2012). Esta resistencia permite a los individuos sobrevivir a la infección pero también crea reservorios del hongo y permite su establecimiento en una localidad (Blaustein et al., 2005; Kriger & Hero, 2006).

La poca prevalencia del hongo en la localidad infectada (4 de un total de 13 especies muestreadas) y en los individuos (solo 1 individuo infectado de cada especie) puede ser explicada por la baja sensibilidad de la técnica empleada (PCR punto final) para la cual se necesita una mayor cantidad de zoosporas si se quiere declarar una muestra como positiva, esto al compararla con la técnica de PCR en tiempo real (Kriger et al., 2006). Sin embargo, otros estudios en el país han mostrado también bajas prevalencias de *Bd.* con técnicas de PCR en tiempo real: Urbina et al. (2011) detectó un total de 32 individuos infectados de 111, mientras que Vázquez et al. (2012) encontró 3 individuos con *Bd.* entre 336 muestras. Incluso con métodos histológicos Velásquez et al. (2008) halló 22 individuos infectados de un total de 466.

Parte de la disminución global en las poblaciones de anfibios ha sido atribuida a la quitridiomycosis. En el presente trabajo fue posible observar una disminución en el número de especies observadas en las localidades de bosque de niebla visitadas en comparación con las reportadas en la literatura y colecciones. Por ejemplo, para el área del bosque de Yotoco solo se capturaron 4 de las 19 especies registradas en la zona (Castro-Herrera et al., 2007), mientras que para la Reserva Cerro El Inglés solo se registraron 11 de las 55 especies reportadas en la zona. De igual manera para el bosque de Chicoral donde se hace el reporte de *Bd.* por primera vez, la riqueza de especies disminuyó de 24 (Herrera-Montes, 2006; Cardona et al., 2013) a 13 especies encontradas en este trabajo y a 11 en el trabajo de Kuri (2015). Esta disminución ha afectado indistintamente a las especies con relación a su dependencia de cuerpos de agua, tanto especies con hábitos acuáticos de las familias Centrolenidae (*Centrolene geckoideum*, *C. buckleyi*, *Nymphargus griffithsi*) y Dendrobatidae (*Hyloxalus abditaurantis* y *H. lehmani*); como con desarrollo directo Hemiphractidae (Género *Gastrotheca*) y Craugastoridae (Algunas especies de los géneros *Craugastor* y *Pristimantis*) se han dejado de registrar desde hace varios años en las anteriores localidades donde antes eran muy comunes (Castro-Herrera et al., 2007; Velásquez et al., 2008; Cardona et al., 2013; Kuri, 2015). Debido a que estos bosques se encuentran en buen estado de conservación y se han disminuido los efectos de la contaminación y la deforestación, además de que se ha reportado *Bd.* en todas estas

zonas se propone como causa de disminución en la riqueza de anfibios a la quitridiomycosis.

El hallazgo del hongo en la localidad de Chicoral ofrece una posible solución al entendimiento de la disminución de anfibios en esta zona, sin embargo, no significa que la enfermedad sea la única causa de esta disminución, pues como se ha propuesto anteriormente, pudo haber sido una combinación de efectos del clima y el patógeno (Hipótesis del “clima ligado a la epidemia”) (Burrowes et al., 2004). Por ejemplo, las especies del género *Pristimantis* se caracterizan por presentar desarrollo directo, por lo que no son dependientes de hábitats acuáticos, no obstante requieren de humedad para la rehidratación y evitar la desecación de sus posturas. Durante las temporadas secas, muchos *Pristimantis* dependen de la absorción de agua a través del parche pélvico para sobrevivir, de esta manera las especies infectadas con *B. dendrobatidis* en la parte pélvica podrían ser más vulnerables (por no poder obtener agua por esta vía) durante los periodos secos (Burrowes et al., 2004). Los cambios ambientales también pueden “estresar” a los anfibios y aumentar la producción de hormonas de estrés que incrementan la virulencia del patógeno (Carey et al., 1999) o deprimen el sistema inmune (Crawshaw et al., 1992, Carey et al., 1993, Blaustein et al., 1994).

Se hallaron tres de las especies positivas para la infección cerca del río Bitaco, mientras que uno de los individuos (*P. calcaratus*) se encontró en el interior de bosque lejos de fuentes de agua (más o menos 500m de la fuente de agua más cercana), aparentemente el modo de dispersión principalmente acuático de la enfermedad no concuerda con el modo de reproducción y los hábitats de muchas especies del género *Pristimantis*, pero el comportamiento de los anuros está influenciado por parámetros ambientales como la temperatura y la humedad disponible, y pueden haber efectos directos sobre la migración a diferentes hábitats (Donnelly & Crump, 1998). Durante la estación seca muchas especies pueden converger en los sitios más húmedos, las ranas arbóreas pueden ser forzadas a buscar áreas más húmedas, donde son más vulnerables a parásitos y depredadores (Donnelly & Crump, 1998). Esto sumado a la persistencia del hongo en las aguas como saprófito al infectar algas y artrópodos, así como en suelos húmedos, hojarasca e incluso hojas; y a su dispersión por plumas y patas de aves acuáticas y reptiles (Johnson & Speare, 2003; Johnson & Speare, 2005; Kilburn et al., 2011; Kolby et al., 2015; Burrowes & De la Riva, 2017), explica la infección de especies que no están relacionadas con cuerpos de agua permanentes (ríos, lagos, etc.).

CONCLUSIÓN

El hallazgo de una nueva localidad con la presencia de *Bd.*, se suma a las reportadas por Velásquez et al. (2008) para el departamento Valle del Cauca, lo que hace una llamado a la conservación de la fauna anfibia colombiana. La ausencia de signos de la enfermedad en individuos positivos, concuerda con lo encontrado en otros trabajos en localidades colombianas, por lo que se hace necesario estudios adicionales acerca de la patogenicidad y/o virulencia del hongo, o del sistema inmune de los organismos que puedan explicar la diferencia en las prevalencias y sintomatología de infección. Por otro lado, el hallazgo de un individuo positivo lejos de fuentes de agua, confirma el establecimiento y transporte del patógeno por medios diferentes al acuático tal como lo reportan otros estudios, que le facilitan la infección de especies de anfibios que no están ligadas directamente con los cuerpos de agua.

Agradecimientos.— Agradecemos a Steven Alejandro Valencia y a Andrés Felipe Jaramillo por su valiosa colaboración en la toma de muestra de campo y en la identificación de los especímenes; a Andrea Echeverri, Victoria Cardona y Oscar Hernández por su colaboración en campo; a Rony Orobio por su ayuda en la capacitación de técnicas moleculares, al Laboratorio de Biología Molecular de la Universidad del Valle por permitirnos el uso de las instalaciones durante la fase de laboratorio y finalmente, a la corporación SERRANIAGUAS por permitirnos la entrada y el hospedaje en la reserva natural Cerro El Inglés.

LITERATURA CITADA

- Acevedo, A.A., R. Franco & D.A. Carrero. 2016. Diversity of Andean amphibians of the Tamá National Natural Park in Colombia: a survey for the presence of *Batrachochytrium dendrobatidis*. *Animal biodiversity and conservation* 39(1):1-10.
- Alford, R. A., P. M. Dixon, & J. H. Pechmann. 2001. Ecology: Global amphibian population declines. *Nature*, 412(6846), 499.
- AmphibiaWeb. 2019. <<https://amphibiaweb.org>> University of California, Berkeley, CA, USA. Accessed 1 Nov 2019.
- Annis, S.L., F.P. Dastor, H. Ziel, P. Daseak, J.E. & Longcore. 2004. A DNA based assay identifies *Batrachochytrium dendrobatidis* in amphibians. *Journal of Wildlife diseases* 40:420-428.
- Berger, L., R. Speare, P. Daszak, D.E. Green, A.A. Cunningham, C.L. Goggin, R. Slocombe, M.A. Ragan, A.D. Hyatt, K.R. McDonald, H.B. Hines, K.R. Lips, G. Marantelli & H. Parkes. 1998.

- Chytridiomycosis causes amphibian mortality associated with population declines in the rain forests of Australia and Central America. *Population Biology* 95:9031-9036.
- Berger, L., R. Speare, & A. Kent. 1999. Diagnosis of chytridiomycosis in amphibians by histologic examination, in: <http://www.jcu.edu.au/school/phtm/PHTM/frogs/histo/chhisto.htm>. [Consultado en mayo 20, 2013].
- Berger, L., A.D. Hyatt, R. Speare, & J.E. Longcore. 2005a. Life cycle stages of the amphibian chytrid *Batrachochytrium dendrobatidis*. *Diseases of aquatic organisms* 68:51-63.
- Berger, L., G. Marantelli, L.F. Skerratt, & R. Speare. 2005b. Virulence of the amphibian chytrid fungus *Batrachochytrium dendrobatidis* varies with the strain. *Diseases of aquatic organisms* 68:47-50.
- Blaustein, A.R., P.D. Hoffman, D.G. Hokit, J.M. Keisecker, S.C. Walls & J.B. Hays. 1994. UV repair and resistance to solar UV-B in amphibian eggs: a link to population declines. *Proceedings of the National Academy of Science* 91:1791-1795.
- Blaustein, A.R., J.M. Romansic, E.A. Scheessele, B.A. Han, A.P. Pessier & J.E. Longcore. 2005. Interspecific variation in susceptibility of frog tadpoles to the pathogenic fungus *Batrachochytrium dendrobatidis*. *Conservation Biology* 19(5):1460-1468.
- 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.
- Burrowes, P.A., R.L. Joglar & D.E. Green. 2004. Potential causes for amphibian declines in Puerto Rico. *Journal Information* 60(2):141-154.
- Burrowes, P. A., & I. De la Riva. 2017. Detection of the amphibian chytrid fungus *Batrachochytrium dendrobatidis* in museum specimens of Andean aquatic birds: implications for pathogen dispersal. *Journal of wildlife diseases*, 53(2):349-355.
- Cardona-Botero, V.E., R.A. Viáfara-Vega, A. Valencia-Zuleta, A. Echeverry-Bocanegra, O.D. Hernández-Córdoba, A.F. Jaramillo-Martinez, R. Galvis-Cruz, J.A. Gutiérrez & Castro-Herrera, F. 2013. Diversidad de la herpetofauna en el Valle del Cauca (Colombia): un enfoque basado en la distribución por ecorregiones, altura y zonas de vida. *Biota Colombiana*: 14(2).
- Carey, C. 1993. Hypothesis concerning the causes of the disappearance of boreal toads from the mountains of Colorado. *Conservation Biology* 7(2):355-362.
- Carey, C., N. Cohen & L. Rollins-Smith. 1999. Amphibian declines: an immunological perspective. *Developmental y Comparative Immunology* 23(6):459-472.
- Castro-Herrera, F., W. Bolívar-García & M. I. Herrera-Montes. 2007. Guía de los anfibios y reptiles del bosque de Yotoco, Valle del Cauca, Colombia. Grupo de Investigación Laboratorio de Herpetología, Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- Castro-Herrera, F. & F. Vargas-Salinas. 2008. Anfibios y reptiles en el departamento del Valle del Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*: 9(2).
- Crawshaw, G.J. 1992. The role of disease in amphibian decline. Pp. 60-62. En: Bishop, C.A. & Pettit, K.E. (Eds.), *Declines in Canadian amphibian populations: designing a national monitoring strategy*. Occasional Paper Canadian Wildlife Service. Ontario.
- Daszak, P., A. Strieby, A.A. Cunningham, J.E. Longcore, C.C. Brown & D. Porter. 2004. Experimental evidence that the bullfrog (*Rana catesbeiana*) is a potential carrier of chytridiomycosis, an emerging fungal disease of amphibians. *Herpetological Journal* 14(4):201-207.
- Donnelly, M.A. & M.L. Crump. 1998. Potential effects of climate change on two neotropical amphibian assemblages. *Climatic change* 39(2-3):541-561.
- Duellman, W.E. 1979. The herpetofauna of the Andes: Patterns of distribution, origin, differentiation and present communities. Pp. 371-459. En: Duellman, W.E. (Ed.). *The South American Herpetofauna: Its origin, Evolution and Dipersal*. Museum of Natural History Monograph 7. The University of Kansas.
- Flechas, S.V., C. Sarmiento, M.E. Cárdenas, E.M. Medina, S. Restrepo, & A. Amézquita. 2012. Surviving Chytridiomycosis: Differential Anti-*Batrachochytrium dendrobatidis* Activity in Bacterial Isolates from Three Lowland Species of *Atelopus*. *PloS one* 7(9):1-7.
- Gibble, R.E., L. Rollins-Smith & K.N. Baer. 2008. Development of an assay for testing the antimicrobial activity of skin peptides against the amphibian chytrid fungus (*Batrachochytrium dendrobatidis*) using *Xenopus laevis*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 71(2):506-513.

- Hanselmann, R., A. Rodríguez, M. Lampo, L. Fajardo-Ramos, A. Alonso Aguirre, A. Marm Kilpatrick, J.P. Rodríguez, & P. Daszak. 2004. Presence of an emerging pathogen of amphibians in introduced bullfrogs *Rana catesbeiana* in Venezuela. *Biological Conservation* 120(1):115-119.
- Harris, R.N., T.Y. James, A. Lauer, M.A. Simon & A. Patel. 2006. Amphibian pathogen *Batrachochytrium dendrobatidis* is inhibited by the cutaneous bacteria of amphibian species. *EcoHealth* 3(1):53-56.
- Heatwole, H. 2013. Worldwide decline and extinction of amphibians. Pp. 413. En: Rohde, K. *The balance of nature and human impact*. Cambridge University Press.
- Heyer, W.R., M.A. Donnelly, R.W. McDiarmid, L.C. Hayek & M.S. Foster. 1994. *Measuring and Monitoring Biological Diversity: Standard Methods for Amphibians*. Eds Washington, Smithsonian Institution Press.
- Herrera-Montes, A. 2006. Análisis Multitemporal de la Riqueza de Herpetofauna en un Transecto de Bosque de Niebla, en el Departamento del Valle del Cauca, Suroccidente Colombiano. Tesis de pregrado. Universidad del Valle. Cali-Colombia.
- Holdridge, L. R. 1967. *Life zone ecology*. Tropical Science Center. San José, Costa Rica.
- 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(6779):752.
- IUCN 2019. *The IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2019-2. <https://www.iucnredlist.org> [Consultado en Noviembre 2019]
- Johnson, M.L. & R. Speare. 2003. Survival of *Batrachochytrium dendrobatidis* in water: quarantine and disease control implications. *Emerging infectious diseases* 8(8):922-925.
- Johnson, M.L. & R. Speare, 2005. Possible modes of dissemination of the amphibian chytrid *Batrachochytrium dendrobatidis* in the environment. *Diseases of aquatic organisms* 65(3): 181–186.
- Kattan, G.H. 1987. Patrones de composición taxonómica y de modos reproductivos en comunidades de ranas en el Valle del Cauca. *Cespedesia* 16(51-56):75-83.
- Kilburn, V.L., R. Ibáñez & D.M. Green. 2011. Reptiles as potential vectors and hosts of the amphibian pathogen *Batrachochytrium dendrobatidis* in Panama. *Diseases of aquatic organisms* 97(2):127-134.
- Kolby, J.E., S.D. Ramirez, L. Berger, K.L. Richards-Hrdlicka, M. Jocque & L.F. Skerratt. 2015. Terrestrial Dispersal and Potential Environmental Transmission of the Amphibian Chytrid Fungus (*Batrachochytrium dendrobatidis*). *PLoS one* 10(4), e0125386. doi:10.1371/journal.pone.0125386
- Kruger, K.M. & J.M. Hero. 2006. Survivorship in wild frogs infected with chytridiomycosis. *EcoHealth* 3:171-177.
- Kruger, K.M., J.M. Hero & K.J. Ashton. 2006. Cost efficiency in the detection of chytridiomycosis using PCR assay. *Diseases of aquatic organisms* 71(2):149-154.
- Kuri J.D. 2015. Ensamblaje de anuros en hábitats modificados en un bosque andino (vereda Chicoral, Valle del Cauca). Tesis de pregrado. Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- La Marca, E., K.R. Lips, S. Lotters, R. Puschendorf, R. Ibáñez, J.V. Rueda-Almonacid, R. Schulte, C. Marty, F. Castro, J. Manzanilla-Puppo, J.E. Garcia-Perez, F. Bolaños, G. Chaves, J.A. Pounds, E. Toral & B.E. Young. 2005. Catastrophic Population Declines and Extinctions in Neotropical Harlequin Frogs (Bufonidae: *Atelopus*). *Biotropica* 37(2):190-201.
- Lips, K.R., J.R. Mendelson III, A. Muñoz-Alonso, L. Canseco-Márquez & D.G. Mulcahy. 2004. Amphibian population declines in montane southern Mexico: resurveys of historical localities. *Biological Conservation* 119(4):555-564.
- Lips, K.R., F. Brem, R. Brenes, J.D. Reeve, R.A. Alford, J. Voyles, C. Carey, L. Livo, A.P. Pessier & J.P. Collins. 2006. Emerging infectious disease and the loss of biodiversity in a Neotropical amphibian community. *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America* 103(9):3165-3170.
- Longcore, J.E., A.P. Pessier & D.K. Nichols. 1999. *Batrachochytrium dendrobatidis* gen. et sp. nov. a chytrid pathogenic to amphibians. *Mycologia* 91:219-227.
- Lynch, J.D. 1986. New species of *Eleutherodactylus* of Colombia (Amphibia: Leptodactylidae) II: Four species from the cloud forest of the western cordilleras. *Caldasia* 15:629-647.
- Lynch, J.D. & T. Grant. 1998. Dying frogs in western Colombia: catastrophe or trivial observation. *Revista de la Academia*

- Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 22(82):149-152.
- Lynch, J.D. 1999. Ranas pequeñas, la geometría de evolución, y la especiación en los Andes Colombianos. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 23(86):143-159.
- Mojica, C. 2010. Detección de *Batrachochytrium dendrobatidis* (CHYTRIDIALES: CHYTRIDIOMICETES) en nueve localidades de valle del cauca mediante el uso de PCR. Tesis de pregrado. Universidad del Valle. Cali-Colombia.
- Parris, M.J. & J.G. Beaudoin. 2004. Chytridiomycosis impacts predator-prey interactions in larval amphibian communities. *Oecologia* 140(4):626-632.
- Pechmann, J.H.K. & H.M. Wilbur. 1994. Putting declining amphibian populations in perspective: natural fluctuations and human impacts. *Herpetologica* 50:65-84.
- Piotrowski, J.S., S.L. Annis & J.E. Longcore. 2004. Physiology of *Batrachochytrium dendrobatidis*, a chytrid pathogen of amphibians. *Mycologia* 96(1):9-15.
- Rollins-Smith, L.A., J.K. Doersam, J.E. Longcore, S.K. Taylor, J.C. Shamblin, C. Carey, & M.A. Zasloff. 2002a. Antimicrobial peptide defenses against pathogens associated with global amphibian declines. *Developmental and Comparative Immunology* 26(1):63-72.
- Rollins-Smith, L.A., C. Carey, J. Longcore, J.K. Doersam, A. Boutte, J.E. Bruzgal & J.M. Conlon. 2002b. Activity of antimicrobial skin peptides from ranid frogs against *Batrachochytrium dendrobatidis*, the chytrid fungus associated with global amphibian declines. *Developmental and Comparative Immunology* 26(5):471-479.
- Ron, S.R. 2005. Predicting the Distribution of the Amphibian Pathogen *Batrachochytrium dendrobatidis* in the New World. *Biotropica* 37(2):209-221.
- Ruiz, A. & J.V. Rueda-Almonacid. 2008. *Batrachochytrium dendrobatidis* and chytridiomycosis in anuran amphibians of Colombia. *Ecohealth* 5(1):27-33.
- Urbina, J.C. & S.P. Galeano. 2011. *Batrachochytrium dendrobatidis* detected in Amphibians of the Central Andres Cordillera of Colombia. *Herpetological Review* 42(4):558-560.
- Vásquez-Ochoa, A., P. Bahamón-Carmona, L.D. Prada-Salcedo & M. Franco-Correa. 2012. Detección y cuantificación de *Batrachochytrium dendrobatidis* en anfibios de las regiones andina central, oriental, Orinoquia y amazonia de Colombia. *Herpetotropicos* 8(1-2):3-21.
- Velásquez, B.E., F. Castro-Herrera, W. Bolívar & M.I. Herrera. 2008. Infección por el hongo quitrido *Batrachochytrium dendrobatidis* en anuros de la Cordillera Occidental de Colombia. *Herpetotropicos* 4(2):65-70.
- 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(5):1213-1223.
- Weldon, C., L.H. du Preez, A.D. Hyatt, R. Muller & R. Speare. 2004. Origin of the amphibian chytrid fungus. *Emerging infectious diseases* 10(12):2100-2105.
- Woodhams, D.C., K. Ardipradja, R.A. Alford, G. Marantelli, L.K. Reinert, & L.A. Rollins-Smith. 2007. Resistance to chytridiomycosis varies among amphibian species and is correlated with skin peptide defenses. *Animal Conservation* 10(4):409-417.
- Woodhams, D.C., V.T. Vredenburg, M.A. Simon, D. Billherimer, B. Shakhtour, Y. Shyr, C. Briggs, L.A. Rollins-Smith & R.N. Harris. 2007. Symbiotic bacteria contribute to innate immune defenses of the threatened mountain yellow-legged frog, *Rana muscosa*. *Biological Conservation* 138:390-398.



COMPORTAMIENTO ARBÓREO DEL SAPO DE CAÑA MESOAMERICANO (*RHINELLA HORRIBILIS*) EN COQUIMATLÁN, COLIMA, MÉXICO

ARBOREAL BEHAVIOR OF THE MESOAMERICAN CANE TOAD (*RHINELLA HORRIBILIS*) AT COQUIMATLAN, COLIMA, MEXICO

DAMIAN BERRA-ALANIS

Instituto de Investigaciones Sobre los Recursos Naturales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, San Juanito Itzicuaro, s/n Col. Nva. Esperanza 58337, Morelia, Michoacán, México.

Preparatoria "Rector Melchor Díaz Rubio" A.C., Álvaro Obregón Sur No. 403 Col. Centro C.P 61420 Tuxpan, Michoacán, México.

Correspondence: damianberraa@gmail.com

Abstract.— I report an observation of the anuran *Rhinella horribilis* (Mesoamerican cane toad) from Mexico perched on a tree branch 194 cm above the forest floor. The toad is suspected to have been foraging on ants that were observed walking on the branch, although a direct observation of predation by the toad was not observed. This report provides new information about the natural history of this species.

Keywords.— Arboreal behavior, climbing behavior, *Rhinella marina*, ants, tree.

Resumen.— Se reporta en México la observación del anuro *Rhinella horribilis* (sapo de caña mesoamericano) situado en la rama de un árbol de 194cm de altura. Se sospecha que el sapo estaba forrajeando, ya que se observaron hormigas caminando en la rama, aunque no se observó al sapo directamente involucrado en la depredación. Este reporte provee nueva información sobre la historia natural de esta especie.

Palabras clave.— Comportamiento arbóreo, comportamiento de escalada, *Rhinella marina*, hormigas, árbol.

El sapo de caña mesoamericano (*Rhinella horribilis*), es un anuro de la familia Bufonidae, este junto al sapo de la caña (*Rhinella marina*) son considerados unos de los anfibios de mayor tamaño en América, de hábitos terrestres y comparte similitudes morfológicas, excepto por caracteres en la morfometría craneal (Acevedo et al. 2016). Es una especie nativa de América con amplia distribución que va desde el sur de Texas hasta la región de la Cordillera de los Andes (Ron & Read 2012, Bonett et al. 2017). Presenta una dieta generalista, alimentándose de una gran variedad de invertebrados, vertebrados pequeños y en algunos casos de plantas (Botero-Trujillo 2006, Escudero & Ortega 2009, Sampedro-Marín et al. 2011).

Hudson et al. (2016) reporta que en algunas regiones de Australia y Hawaii, donde ha sido introducido, *R. marina* trepa a superficies casi verticales (troncos de árboles, acantilados, cercas) durante actividades de alimentación o dispersión, durante el estudio realizaron pruebas de escalada en los sapos de caña con lo cual concluyeron que al menos en algunas poblaciones los sapos son expertos escaladores. En esta contribución, informo cuál es, según mi conocimiento, el primer caso documentado

de comportamiento escansorial en la especie estrechamente relacionada *R. horribilis*.

En la localidad de El Chical (19.229007°, -103.849492°, elev. 380 m WGS84) situada en el Municipio de Coquimatlán en el Estado de Colima, México, el día 20 de Julio del 2018, se observó durante un muestreo nocturno a la 01:23 horas un ejemplar adulto de *R. horribilis* sobre un árbol joven de mango (*Mangifera sp.*) (Figura 1) localizado cerca de un manantial con vegetación riparia y remanentes de bosque tropical seco. El animal posiblemente se encontraba forrajeando ya que se observaron hormigas negras de la familia Formicidae en las ramas del árbol, aunque no se observó al sapo directamente involucrado en la depredación. El ejemplar se encontró sobre una rama gruesa bifurcada a 343 cm desde la base del tronco (Figura 2). La rama estaba inclinada formando un ángulo de 46° y con una distancia recta desde la horqueta al suelo de 194 cm. La corteza del árbol presentaba surcos reticulados poco profundos y la base del árbol se encontraba a la orilla de un canal del riego.



Figure 1. Position Height of *R. horribilis* on the mango tree (*Mangifera sp.*) over the ground. (Photography of Damian Berra Alanis).

Figura 1. Altura de la posición de *R. horribilis* en el árbol de mango (*Mangifera sp.*) con respecto al suelo. (Fotografía de Damian Berra Alanis).

En concordancia con el estudio realizado por Hudson et al. (2016), podemos deducir que la especie *R. horribilis* es capaz de trepar por superficies inclinadas, como lo demuestra la evidencia registrada.

LITERATURA CITADA

Acevedo, A.A., M. Lampo, & R. Cipriani. 2016. The cane or marine toad, *Rhinella marina* (Anura, Bufonidae): two genetically and morphologically distinct species. *Zootaxa*, 4103(6):574-586.



Figure 1. Position of *R. horribilis* on the mango tree (*Mangifera sp.*). (Photography of Damian Berra Alanis).

Figura 1. Posición de *R. horribilis* en el árbol de mango (*Mangifera sp.*). (Fotografía de Damian Berra Alanis).

Botero-Trujillo, R. 2006. Anuran predators of scorpions: *Bufo marinus* (Linnaeus, 1758) (Anura: Bufonidae), first known natural enemy of *Tityus nematochirus* Mello-Leitão, 1940 (Scorpiones: Buthidae). *Revista Ibérica de Aracnología*, 13:199-202.

Bonett, R.M., J. Boundy, F.T. Burbrink, B.I. Crother, K. de Queiroz, D.R. Frost, & K.L. Krysko. 2017. Scientific and Standard English Names of Amphibians and Reptiles North of Mexico, with Comments Regarding Confidence in Our Understanding.

- Escudero, M.B. & A.M.J. Ortega, 2009. Dieta Entomofágica en Una Población de *Rhinella Marina* en La Selva Pluvial Central, Chocó, Colombia. Revista Institucional Universidad Tecnológica Del Chocó Investigación Biodiversidad Y Desarrollo, 28(2).
- Hudson, C.M., G.P. Brown & R. Shine. 2016. Athletic anurans: the impact of morphology, ecology and evolution on climbing ability in invasive cane toads. Biological journal of the Linnean Society, 119(4):992-999.
- Ron, S.R. & M. Read. 2012. *Rhinella horribilis*. En Ron, S. R., J.M. Guayasamin, M.H. Yanez-Muñoz, A. Merino Viteri, D.A. Ortiz, & D.A. Nicolalde. 2017. AmphibiaWebEcuador. Version 2017.0. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 30 de mayo 2019.
- Sampedro-Marín, A.C., Y.Y. Angulo Villalba, F.I. Arrieta Diaz & D.M. Dominguez Atencia. 2011. Alimentación de *Bufo marinus* (Linnaeus, 1758) (Bufonidae: Anura), en una localidad de Sucre, Colombia. Caldasia, 33(2):495-505.



DEPREDACIÓN DEL SAPO, EN PELIGRO CRÍTICO, *INCILIUS CRISTATUS* (ANURA: BUFONIDAE) POR *THAMNOPHIS SUMICHRASTI* (SQUAMATA: NATRICIDAE) EN VERACRUZ, MÉXICO

PREDATION OF THE CRITICALLY ENDANGERED TOAD *INCILIUS CRISTATUS* (ANURA: BUFONIDAE) BY *THAMNOPHIS SUMICHRASTI* (SQUAMATA: NATRICIDAE) IN VERACRUZ, MEXICO

NELSON MARTÍN CERÓN-DE LA LUZ^{1,2}, VÍCTOR VÁSQUEZ-CRUZ^{2*}, LUIS CANSECO-MÁRQUEZ³ Y FELIPE A. LARA-HERNÁNDEZ²

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Km. 36.5, México 136 5, Montecillo, Montecillo, Méx. C. P. 56230.

²PIMV Herpetario Palancoatl, Avenida 19 número 5525, Colonia Nueva Esperanza, C.P. 94540, Córdoba, Veracruz, México.

³Departamento de Biología Evolutiva, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM, AP 70-399 México, D.F. 04510, México.

*Correspondence: victorbiolvc@gmail.com

Abstract.— *Incilius cristatus* is distinguished from other toad species by presenting prominent crests. It is classified as a critically endangered species by the IUCN, and under special protection by NOM-059-SEMARNAT-2010. Also, it is an endemic species of Mexico. In this note, we report a predation event of *I. cristatus* by Sumichrast's Garter Snake, *Thamnophis sumichrasti*, and we provide records of the toad in the Tepexilotla community, municipality of Chocamán, Veracruz.

Keywords.— Large Crested Toad, Sumichrast's Garter Snake, Tadpole, Altas Montañas Region, Veracruz.

Resumen.— *Incilius cristatus* es un sapo que se distingue de otras especies por presentar crestas craneales prominentes. Se encuentra catalogada como una especie en peligro crítico por la IUCN y sujeta a protección especial por la NOM-059-SEMARNAT-2010. Además, es una especie endémica a México. En esta nota, reportamos un evento de depredación de *I. cristatus* por la jarretera huasteca *Thamnophis sumichrasti* y proveemos un registro de la especie en la comunidad de Tepexilotla, municipio de Chocamán.

Palabras clave.— Sapo de Cresta Grande, Jarreterra Huasteca, Renacuajo, Región de las Altas Montañas, Veracruz.

México ocupa el quinto lugar en diversidad de anfibios a nivel mundial, con más del 50% de endemismo en este grupo (Parra-Olea et al., 2014), pero también es el segundo lugar con especies amenazadas (Stuart et al., 2006). De acuerdo a la lista roja de la IUCN, las especies mexicanas amenazadas están agrupadas en tres categorías: vulnerable, en peligro y en peligro crítico de extinción, esto con base en el nivel de riesgo de las poblaciones (Frías-Alvarez et al., 2010). La familia Bufonidae en México posee 31.25% de especies amenazadas: dos vulnerables, siete en peligro y una en peligro crítico; en esta última categoría se encuentra el Sapo de cresta grande *Incilius cristatus* (Wiegmann 1833) (Frías-Álvarez et al., 2010). De igual forma, esta especie se enlista en la NOM-059-SEMARNAT-2010 como sujeta a protección especial (SEMARNAT 2010).

Incilius cristatus se distribuye discontinuamente en el bosque mesófilo de montaña en la región central de la Sierra Madre Oriental. En Veracruz se ha descrito para los municipios de Xalapa, Atzalan, Huatusco, Coscomatepec y La Perla (Pueblo de

Chilapa); en Puebla, para las cercanías de Chichiquila, Teziutlán, Xocoyolo (Cuetzalan del Progreso) y Zacapoaxtla (Mendelson, 1997; Mendelson & Canseco, 1998; Pineda & Halffter, 2004; Clause et al., 2015b; Oropeza-Sánchez et al., 2018) y se encuentra entre los 1200 y 2000 msnm (Mendelson et al., 1999).

A pesar de haberse descubierto hace más de 180 años, no fue hasta en los últimos 25 años que se comenzó a estudiar esta enigmática especie (Mendelson, 1997; Mendelson & Canseco-Márquez, 1998; Pineda & Halffter, 2004; Vázquez-Corzas, 2012). Recientemente, Hernández-Díaz (2013) recolectó individuos en Barranca de Xocoyolo, Puebla y los utilizó para comenzar una colonia cautiva. Por su parte, Clause et al. (2015 a, b) documentaron el comportamiento reproductivo, así como, un evento de interferencia reproductiva, en condiciones naturales cerca de Atzalan, Veracruz. Recientemente, Oropeza-Sánchez et al. (2018) realizaron un trabajo más detallado sobre la estructura poblacional, distribución espacial, uso de hábitat y dieta de *I. cristatus* en una localidad de Puebla y en tres de Veracruz. A pesar

de esto, existen sustanciales vacíos en nuestro conocimiento sobre esta especie, como son las interacciones interespecíficas: depredación, competencia, parasitismo, etc.

Incilius cristatus es un sapo mediano. Alcanzan una longitud hocico cloaca (LHC) máxima de 101.3 mm hembras y 70.0 mm en los machos (Oropeza-Sánchez et al., 2018). Poseen crestas craneales grandes y evidentemente engrosadas, crestas parietales que se expanden vertical y lateralmente para formar masas grandes sobresalientes de forma ovoide, fusionándose con las crestas postoculares. La cresta preocular son angostas en las hembras más grandes, o bien marcada por tubérculos ligeramente apreciables, que en los machos está ausente (Oliver et al., 2009).



Figure 1. A) Microhabitat of *Incilius cristatus*. B) Adult female of *I. cristatus* (LACM PC 2427). C) Tadpoles y D) postmetamorphic. E) *Thamnophis sumichrasti* feeding from an *I. cristatus* juvenile.

Figura 1. A) Microhábitat de *Incilius cristatus*. B) Hembra adulta de *I. cristatus* (LACM PC 2427). C) Renacuajos y D) postmetamórfico. E) *Thamnophis sumichrasti* alimentándose de un juvenil de *I. cristatus*.

En este documento presentamos el primer caso de depredación de *Incilius cristatus*, en una localidad no conocida previamente para la especie en un área de bosque mesófilo de montaña en la comunidad de Tepexilotla, municipio de Chocamán, en la región centro-oeste de Veracruz, México.

El 28 de marzo de 2015 a las 15:50 h, encontramos un individuo juvenil de *Incilius cristatus*, el cual estaba siendo depredado por un individuo adulto de *Thamnophis sumichrasti* (Natricidae; Fig. 1). Estos se encontraban entre las hojas secas de álamo (*Platanus mexicanus*), dentro del cauce del río a 1.5 m de la corriente (18.9805 N, 97.08707 O; WGS 84; elev. 1484 m). Al inicio de nuestra observación la serpiente recién había capturado el sapo, como método antidepredatorio el sapo infló su cuerpo, por lo que le tomó alrededor de 50 min a la serpiente el ingerirlo por completo. La serpiente presentó una longitud hocico-cloaca (LHC) de 600 mm. Adicionalmente se registraron 20 crías de *I. cristatus* posmetamórficos (en etapas 42-46 Gonsler, 1960) desplazándose entre las rocas en la orilla del río (Fig.1).

El 7 de octubre de 2015 a las 14:39 h registramos el primer organismo adulto de *I. cristatus* en la localidad, el sitio presentó como vegetación principal álamos, el sapo lo encontramos desplazándose en la hojarasca, entre la vegetación ribereña, aproximadamente a 10 metros del arroyo, a una elevación de 1483 m (18.9802 N, 97.0869 O; WGS 84). El sexo se determinó por la observación de la estructura de las crestas preoculares propias de las hembras (Oliver et al., 2009). El organismo presentó una LHC de 88.5 mm, longitud de glándula parotoide derecha e izquierda 16.2 mm y 16 mm, respectivamente; longitud de tibia 38.6 mm y pie de 61 mm. Depositamos un voucher fotográfico en la colección digital del Natural History Museum of Los Angeles County (LACM PC 2427). Adicionalmente se encontraron varias puestas y renacuajos en el río.

Aquí, presentamos el primer reporte de depredación de *I. cristatus* por la culebra acuática *Thamnophis sumichrasti*, una especie endémica y considerada amenazada (SEMARNAT, 2010). La dieta de esta serpiente incluye anuros, renacuajos, salamandras del género *Pseudoeurycea* y peces pequeños (Lemos-Espinal et al., 2000; Dixon & Lemos-Espinal, 2010; Heimes, 2016). Aunque existen reportes de anuros en la dieta de *T. sumichrasti*, no se especifica la presencia de miembros de la familia Bufonidae. Sin embargo, los sapos han sido identificados como presas en otras especies de *Thamnophis* (Heimes, 2016). *Incilius cristatus* es una especie rara, en la que no existen observaciones de interacciones depredador-presa (Oropeza-Sánchez et al., 2018). Por lo que este es el primer caso de *Incilius cristatus* como presa.

Ciertamente este fenómeno es un hecho natural, sin embargo, existen ciertas condiciones en esta población que pueden aumentar la frecuencia de este fenómeno. Varios estudios que demuestran los efectos de la estrecha relación de las poblaciones de presa-depredador con la disponibilidad de refugio para las poblaciones presas (p. ej. Sih, 1987; Kumar, 2006; Das & Samanta, 2019). Nuestras observaciones revelan la existencia de puestas, renacuajos y posmetamórficos en el río, sin embargo, solo logramos localizar un individuo adulto. Aunque actualmente Tepexilotla cuenta con iniciativas de conservación (Mikery-Gutiérrez et al., 2018), la disminución de la mayor parte del hábitat natural con lleva a una pérdida de refugio espacial para la población de *I. cristatus* aumentando la presión de depredación para los individuos postmetamórficos y juveniles y a su vez un aumento de la población de depredadores. Por otro lado, los individuos que utilizan los refugios disponibles sufren una disminución de actividad alimenticia y reproductiva.

Esta población está ubicada a 7.38 kilómetros al este de la localidad más cercana previamente conocida en el pueblo Chilapa en el municipio de La Perla (MCZ 35764; fig. 2). Esta especie está asociada a bosque mesófilo de montaña, desafortunadamente es un tipo de vegetación considerada en peligro (Ochoa-Ochoa et al., 2017) y la vegetación natural en Tepexilotla se encuentra reducida a pequeños fragmentos en una matriz de potreros y cultivo de maíz. Recientemente, Oropeza-Sánchez et al. (2018) realizaron estudios poblacionales en cuatro localidades: en los alrededores del sitio de Chichiquila en Puebla, en Veracruz en los municipios de Atzalan, al sur de Huatusco y al norte de Coscomatepec. Solo en la localidad de Atzalan registraron un número alto de individuos, esta variación nos muestra la posible pérdida de las poblaciones en las demás localidades en los próximos años. Tepexilotla es una comunidad rural con actividad agro-ecoturística, el principal atractivo de la localidad son sus recursos naturales, parte de las actividades es la observación de fauna silvestre (Mikery-Gutiérrez et al., 2018). Por lo cual, la población que reportamos aquí es una oportunidad para la divulgación, conservación y estudio de la especie.

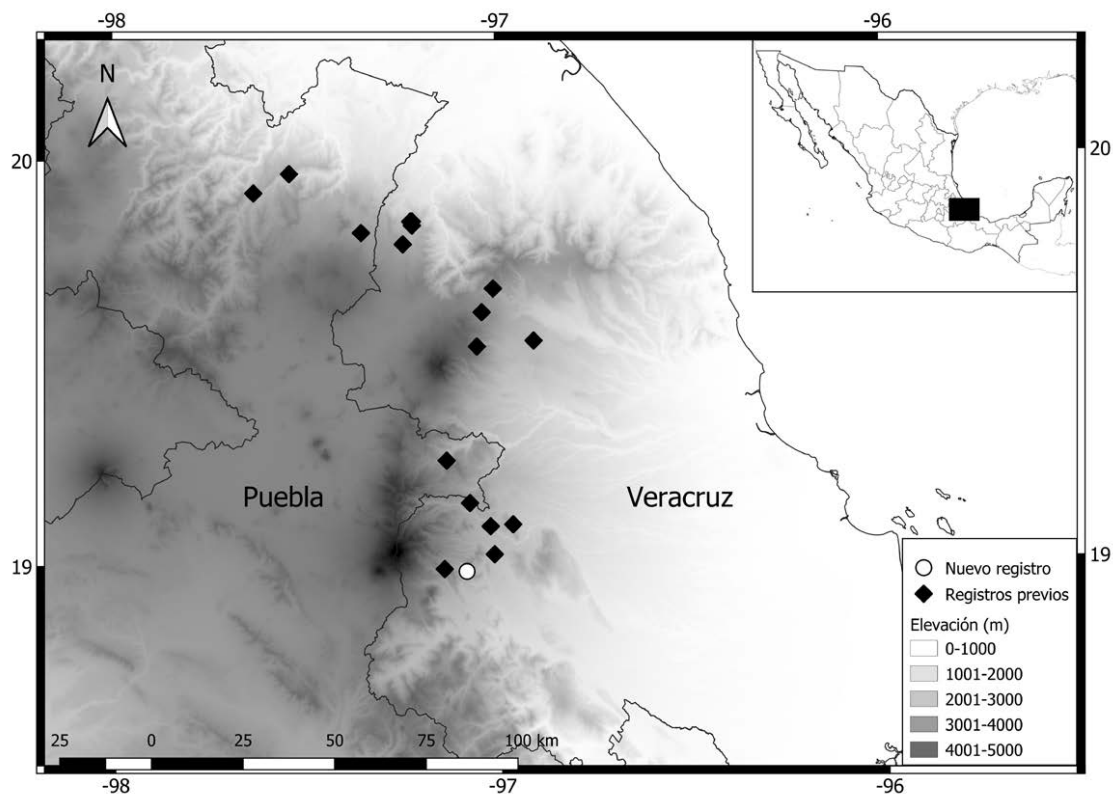


Figure 2. Geographic distribution of *Incilius cristatus*, showing the new locality (white circle) in Tepexilotla, Chocaman, Veracruz, Mexico.

Figura 2. Distribución geográfica de *Incilius cristatus*, mostrando la nueva localidad (círculo blanco) en Tepexilotla, Chocaman, Veracruz, México.

Agradecimientos.— A Neftali Camacho por catalogar la fotografía, a Arleth Reynoso-Martínez, quien revisó el manuscrito y un agradecimiento especial a dos revisores anónimos por sus comentarios de los cuales el manuscrito se benefició enormemente.

LITERATURA CITADA

- Clause, A.G., M.A. Greeley & K.A. Soto-Huerta. 2015a. *Ecnomihyla miotypanum* (Small-eared Treefrog) and *Incilius cristatus* (Large-crested Toad). Heterospecific Amplexus. *Herpetological Review* 46:230.
- Clause, A.G., K.A. Soto Huerta & M.A. Greeley. 2015b. *Incilius cristatus* (Large-crested Toad). Reproductive behavior. *Herpetological Review* 46:233-234.
- Das, A., & G.P. Samanta. 2019. A prey-predator model with refuge for prey and additional food for predator in a fluctuating environment. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications* 122844.
- Dixon, J.R. & J.A. Lemos-Espinal. 2010. Anfibios y reptiles del estado de Querétaro, México. Universidad Nacional Autónoma de Querétaro. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Frías-Álvarez, P., J.J. Zúñiga-Vega & O. Flores-Villela. 2010. A general assessment of the conservation status and decline trends of Mexican amphibians. *Biodiversity and Conservation* 19:3699-3742.
- Gosner, K.L. 1960. A simplified table for staging anuran embryos and larvae with notes on identification. *Herpetologica* 16:183-190.
- Heimes, P. 2016. *Herpetofauna Mexicana Vol. 1: Snakes of Mexico*. Edition Chimaira, Frankfurt am Main, Germany.
- Hernández-Díaz, J.A. 2013. Large-crested Toad release in the North Sierra of Puebla, Mexico. *AArk Newsletter* 24:11-12.
- Kumar Kar, T. 2006. Modelling and analysis of a harvested prey-predator system incorporating a prey refuge, *Journal of Computational and Applied Mathematics* 185:19-33.
- Lemos-Espinal, J.A., A. Ramirez-Bautista, G. Woolrich-Piña & J. E. González-Espinoza. 2000. *Thamnophis sumichrasti* (Sumichrasti's Garter Snake). Prey. *Herpetological Review* 31(4):248-249.
- Mendelson, J.R. III. 1997. A new species of toad (Anura: Bufonidae) from Oaxaca, Mexico with comments on the status of *Bufo cavifrons* and *Bufo cristatus*. *Herpetologica* 53:59-70.
- Mendelson, J.R. III & L. Canseco-Márquez. 1998. *Bufo cristatus*. (México: Puebla: Zacapoaxtla; Apulco, Cascada la Gloria). *Herpetological Review* 29(2):106.
- Mendelson, J.R. III, P. Ustach & A. Nieto-Montes de Oca. 1999. Description of the tadpole of *Bufo tutelarius*, natural history note on the *Bufo valliceps* group, and a key to the tadpoles of the group. *Journal of Herpetology* 33(2):324-328.
- Mikery-Gutiérrez, M.J., A. Pérez-Vázquez, M.A. Piñar-Álvarez, J.C. García-Albarado, & A. Asiain-Hoyos. 2018. Valoración agroecoturística de Tepexilotla, Chocamán, Veracruz; desde la perspectiva del visitante. *Agroproductividad* 11:10-16.
- Ochoa-Ochoa L.M., N.R. Mejía-Domínguez & J. Bezaury-Creel. 2017. Priorización para la Conservación de los Bosques de Niebla en México. *Ecosistemas* 26:27-37.
- Oliver López, L., G.A. Woolrich Piña & J.A. Lemos Espinal. 2009. La familia Bufonidae en México. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Oropeza-Sánchez, M.T., E. Pineda & R. Luría-Manzano. 2018. Population characteristics, habitat, and diet of the large-Crested toad (*Incilius cristatus*; Anura: Bufonidae): a Critically endangered species endemic to Mexico. *Herpetological Conservation and Biology* 13(3):558-568.
- Parra-Olea, G., O. Flores-Villela & C. Mendoza-Almeralla. 2014. Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. Suplemento 85: 460-466.
- Pineda E. & G. Halffter. 2004. Species diversity and habitat fragmentation: frogs in a tropical montane landscape in Mexico. *Biological Conservation* 117:499-508. doi:10.1016/j.biocon.2003.08.009.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental de 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, Segunda Sección, 30 de diciembre de 2010, Ciudad de México, México.

- Sih, A. 1987. Prey refuges and predator-prey stability, *Theoretical Population Biology* 31(1):1-12.
- Stuart, S.N. J.S. Chanson, N.A. Cox & B.E. Young. 2006. El estado global de los anfibios: 19–42. En A. Angulo, J.V. Rueda-Almonacid, J.V. Rodríguez-Mahecha & E. La Marca (Eds.). *Técnicas de Inventario y Monitoreo para los Anfibios de la Región Tropical Andina*. Conservación Internacional, Andes CBC. Bogotá, Colombia.
- Vázquez-Corzas, F.G. 2012. Aportes al conocimiento de *Incilius cristatus* (Anura: Bufonidae), una especie prioritaria para su conservación. B.Sc. Thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México. 71 p.



NUEVO REGISTRO EN LA DIETA DE LA BEJUQUILLO PARDA *OXYBELIS AENEUS* (SERPENTES: COLUBRIDAE)

NEW RECORD IN THE DIET OF THE MEXICAN VINE SNAKE *OXYBELIS AENEUS* (SERPENTES: COLUBRIDAE)

OSCAR CID-MORA¹ Y VÍCTOR VÁSQUEZ-CRUZ^{2*}

¹Grupo Xcaret, Carretera Chetumal-Puerto Juárez Km 282. Playa del Carmen, Quintana Roo, México.

²PIMVS Herpetario Palancoatl, Avenida 19 número 5525, Colonia Nueva Esperanza, Córdoba, Veracruz, México.

Correspondence: victorbiolvc@gmail.com

Abstract.— We report for first time the lizard *Anolis sagrei* (introduced species) as a prey item of *Oxybelis aeneus* in Quintana Roo, Mexico.

Keywords.— Dactyloidae, diet, invasive species, Mexico.

Resumen.— Reportamos por primera vez a la lagartija *Anolis sagrei* (especie introducida) como presa de *Oxybelis aeneus*, en Quintana Roo, México.

Palabras clave.— Dactyloidae, dieta, especie invasora, México.

La serpiente *Oxybelis aeneus* (Wagler, 1824) es una especie arborícola ampliamente distribuida, se le puede encontrar desde el sur de América del Norte hasta América Central y casi todo el continente sudamericano (Savage, 2002; Uetz et al., 2019), en México ocurre en los estados de Aguascalientes, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán (Pérez-Higareda et al., 2007; Uetz et al., 2019). *O. aeneus* tiene una estrategia de acecho, su dieta está compuesta por una amplia variedad de especies, en las que se incluye aves, pequeños mamíferos, insectos (Campbell, 1998), anfibios (Campbell, 1998; Stafford & Meyer, 2000; Savage, 2002), peces (Hetherington, 2006), pero el principal componente en la dieta de esta serpiente son las lagartijas, en las que se incluyen: *Ameivula ocellifera*, *Tropidurus semitaeniatus*, *Lygodactylus klugei* (Vitt & Vangilder, 1983), *Basiliscus plumifrons* (Grant & Lewis, 2010), *B. vittatus* (Henderson, 1982), *Cnemidophorus lemniscatus*, *Gymnophthalmus speciosus* (Smith & Grant, 1958), *Tropidurus cocorobensis* (Almeida et al., 2009) *T. hispidus* (p. ej. Da Silva et al., 2015; Sousa et al., 2020), *T. hygomi* (Santos et al., 2012), *Sceloporus melanorhinus* (López-de la Cruz et al., 2016), *S. squamosus* (Alcázar & Rodríguez-Romero, 2012), *Gonatodes vittatus* (Blanco-Torres & Renjifo, 2014), *G. albogularis* (Sosa-Bartuano & Di Trani, 2016), *Iguana iguana*, *Anolis laevis*, *A. rodriguezii*, *A. uniformis* (Campbell, 1998), *Urosaurus bicarinatus* (Lemos-Espinal & Smith, 2007; Canseco-Márquez & Gutiérrez-Mayén, 2010), *Brasiliscincus heathi* (Mesquita et



Figure 1. *Oxybelis aeneus* feeding on a male of *Anolis sagrei* in Quintana Roo, Mexico. Photo by María Salustia Valencia.

Figura 1. *Oxybelis aeneus* alimentándose de un macho de *Anolis sagrei* en Quintana Roo, México. Foto de María Salustia Valencia.

al., 2012), *Hemidactylus mabouia* (p. ej. Franzini et al., 2018) y *Aspidoscelis deppii* (Ramírez-Ramírez et al., 2020).

El 15 de noviembre del 2019, aproximadamente a las 1000 h. Se encontró un individuo de *Oxybelis aeneus* (posiblemente adulto) que había capturado un macho adulto de *Anolis sagrei* (especie introducida). El suceso aconteció en el Parque Xel-Há (20.580611°N, 87.119528°O; WGS 84; elev. 10 m), Municipio de Cozumel, Quintana Roo, México. El evento duró aproximadamente 5 minutos, durante ese tiempo la lagartija mordió en reiteradas ocasiones al depredador sin éxito de persuasión, finalmente la serpiente engulló a su presa aún viva iniciando por la cabeza (Fig. 1) e inmediatamente después la serpiente escapó entre la vegetación.

Anolis sagrei es común en el Parque Xel-Há (Cid-Mora obs. pers.), su presencia puede tener un impacto negativo en el ecosistema, como se ha reportado en otras poblaciones introducidas (p. ej. Delaney et al., 2014a; Delaney et al., 2014b; Thawley, 2019). Debido a esto, consideramos que *O. aeneus*, una especie principalmente saurófaga, representa un control natural importante sobre la población de *A. sagrei* en esta localidad; sin embargo, existe la posibilidad de que los individuos de *O. aeneus*, adquieran parásitos y enfermedades por alimentarse de este anólido. Previamente, Platt et al. (2002), en Belice, observó un *Oxybelis aeneus* alimentándose de un *Anolis*, e infieren que se trataba de un *Anolis sagrei*, sin embargo, no se confirma la identidad de la especie presa. Por lo tanto, nuestra observación representa el primer registro confirmado de *Oxybelis aeneus* depredando la lagartija introducida *A. sagrei*.

Agradecimientos.— A María Salustia Valencia por su ayuda en el trabajo de campo y la fotografía. Un agradecimiento especial a dos revisores anónimos por sus comentarios de los cuales el manuscrito se benefició enormemente.

LITERATURA CITADA

Alcázar, C.A.N. & F. Rodríguez-Romero. 2012. *Oxybelis aeneus*. (Mexican Vinesnake). Diet. Herpetological Review 43:150.

Almeida G.V., G.L. Silva, T.F. Campos, S.L. Muniz & E.M. Santos. 2009. Predação do lagarto *Tropidurus cocorobensis* pela serpente *Oxybelis aeneus*. Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão 25:83-86.

Blanco-Torres, A. & J. Renjifo. 2014. Herpetofauna de Cerrejón. Pp. 150-169. En L. Baéz & F. Trujillo (Eds.). Biodiversidad en Cerrejón.

Carbones de Cerrejón. Fundación Omacha, Fondo para la Acción Ambiental y la Niñez, Bogotá, Colombia.

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, México D.F., México.

Campbell, J.A. 1998. Amphibian and reptiles of northern Guatemala, the Yucatán, and Belize. Norman: University of Oklahoma Press. USA.

Da Silva, C.F., E. Paulino de Alcántara, H.F. de Oliveira, M.A. Soares do Oliveira & R. Waldemar Ávila. 2015. *Oxybelis aeneus* (brown vinesnake). Diet. Herpetological Review 46:648.

Delaney, D.M., C.D. Cates & D.A. Warner. 2014a. *Anolis sagrei* (Brown Anole). *Gopherus polyphemus* burrow commensalism. Herpetological Review 45:694.

Delaney, D.M., C.D. Cates, A.M. Buckelew, D.M. Delaney, A.M. Durso, S.S. French, A.M. Reedy & D.A. Warner. 2014b. *Anolis sagrei* (Brown Anole). Prey stealing behavior. Herpetological Review 45:324-325.

Franzini, L.D., C.K. Bacalháo, L.P. Barbosa de Queiroga Cavalcanti & D. Oliveira Mesquita. 2018. Predation of *Hemidactylus mabouia* (Sauria: Gekkonidae) by a vine snake *Oxybelis aeneus* (Serpentes: Colubridae) in an Atlantic Forest fragment, Northeastern Brazil. Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza 2:67-70.

Grant, P.B. & T.R. Lewis. 2010. Predation attempt by *Oxybelis aeneus* (Wagler) (Mexican Vine-snake) on *Basiliscus plumifrons* (Cope). Acta Herpetologica 5:19-22.

Henderson, R.W. 1982. Trophic relationships and foraging strategies of some New World Tree Snakes (*Leptophis*, *Oxybelis*, *Uromacer*). Amphibia-Reptilia 3:71-80.

Hetherington, T.E. 2006. *Oxybelis aeneus* (Brown Vinesnake). Diet. Herpetological Review 37:94-95.

Lemos-Espinal, J.A. & H.M. Smith. 2007. Anfibios y reptiles del estado de Chihuahua, México. Universidad Nacional Autónoma de México-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, D.F. México.

- López-De La Cruz, J., C.S. Burnett-Pérez & A.H. Escobedo-Galván. 2016. *Oxybelis aeneus*. (Brown Vinesnake). Diet. *Herpetological Review* 47:314.
- Mesquita P.C.M.D., D.M. Borjes-Nojosa, D.C. Passos & C.H. Bezerra. 2012. Activity patterns of the Brown Vine Snake *Oxybelis aeneus* (Wagler, 1824) (Serpentes, Colubridae) in the Brazilian semiarid. *Animal Biology* 62:289-299.
- Platt, S.G., J.C. Meerman & T.R. Rainwater. 2002. *Oxybelis aeneus* (Wagler): an addition to the herpetofauna of Turneffe Atoll, Belize. *Herpetological Bulletin* 82:30-31.
- Pérez-Higareda, G., M.A. López-Luna & H.M. Smith. 2007. Serpientes de la región de Los Tuxtlas, Veracruz, México. Guía de identificación ilustrada, UNAM, México.
- Ramírez-Ramírez, V.A., M. Martínez-Coronel, & J. Ramírez-Ramírez. 2020. Predation by a Brown Vinesnake, *Oxybelis aeneus* (Colubridae), on a Black-bellied Racerunner, *Aspidoscelis deppii* (Teiidae). *IRCF Reptiles & Amphibians* 27:101-102.
- Santos, R.A., D.O. Santana, F.L.S. Caldas, & R.G. Faria. 2012. *Tropidurus hygomi*. (Reinhardt's Lava Lizard). Predation. *Herpetological Review* 43:490-491.
- Savage J.M. 2002. The amphibians and reptiles of Costa Rica. University of Chicago Press. Chicago. USA.
- Schüttler, E. & C. Karez. 2008. Especies exóticas invasoras en las Reservas de Biosfera de América Latina y el Caribe. Un informe técnico para fomentar el intercambio de experiencias entre las Reservas de Biosfera y promover el manejo efectivo de las invasiones biológicas. Oficina Regional de Ciencia de la UNESCO para América Latina y el Caribe, Montevideo, Uruguay.
- Smith, H.M. & C. Grant. 1958. New and noteworthy snakes from Panama. *Herpetologica* 14:207-215.
- Sosa-Bartuano, A. & J. Di Trani. 2016. *Gonatodes albogularis*. Predation by a Brown Vinesnake (*Oxybelis aeneus*). *Mesoamerican Herpetology* 3:721-723.
- Sousa, J.D., J.H.A. Lima, & M.N.C. Kokubum. 2020. Predation of *Tropidurus hispidus* (Squamata, Tropiduridae) by *Oxybelis aeneus* (Squamata, Colubridae) in two biomes in the state of Pernambuco. Northeast of Brazil 13:171-173.
- Stafford, P.J. & J.R. Meyer. 2000. A Guide to the Reptiles of Belize. Academic Press. San Diego, California. USA.
- Thawley, C.J. 2019. *Anolis cristatellus* (Puerto Rican Crested Anole) and *Anolis sagrei* (Brown Anole). Interspecific mating. *Herpetological Review* 50:362.
- Uetz, P., P. Freed, & J. Hosek (Eds.). 2019. *Oxybelis aeneus*. The Reptile Database. <http://www.reptile-database.org>, [Consultado en Febrero 2020].
- Vitt, L.J. & L.D. Vangilder. 1983. Ecology of a Snake Community in Northeastern Brazil. *Amphibia-Reptilia* 4:273-296.



CONFIRMACIÓN DE LA PRESENCIA DE LA SERPIENTE *PITUOPHIS CATENIFER* (BLAINVILLE, 1835) EN EL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO

CONFIRMATION OF THE PRESENCE OF SERPENT *PITUOPHIS CATENIFER* (BLAINVILLE, 1835) IN THE STATE OF HIDALGO, MEXICO

LEONARDO FERNÁNDEZ-BADILLO^{1,2*}, GONZALO HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ³, RAÚL VALENCIA-HERVERTH³,
IRENE GOYENECHEA⁴ Y CLAUDIO A. MENDOZA PAZ³

¹Centro de Investigaciones Biológicas (CIB), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad del conocimiento, km 4.5 carretera Pachuca-Tulancingo, Col. Carboneras, 42181 Mineral de la Reforma, Hidalgo.

²Predio Intensivo de Manejo de Vida Silvestre X-Plora Reptilia, carretera México-Tampico s/n, Pilas y granadas, 43350, Metztlán, Hidalgo, México.

³Instituto Tecnológico de Huejutla, Tecnológico Nacional de México, carretera Huejutla-Chalahuiyapa, km 5.5. Huejutla de Reyes, Hidalgo.

⁴Laboratorio de Sistemática Molecular. Centro de Investigaciones Biológicas (CIB), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad del conocimiento, km 4.5 carretera Pachuca-Tulancingo, Col. Carboneras, 42181 Mineral de la Reforma, Hidalgo.

*Correspondence: fernandezbadillo80@gmail.com

Abstract.— Recent studies on Hidalgo's herpetofauna only consider one species of the genus *Pituophis*, *P. deppei*, to be present in the state. However, previous records of *P. catenifer* in Hidalgo have not been taken into account. In addition, fieldwork conducted in northern Hidalgo produced four additional individuals of *P. catenifer* from the municipalities of San Felipe Orizatlán and Huejutla de Reyes, corroborating the presence of this species in Hidalgo.

Keywords.— Corroboration, species, genus, herpetofauna.

Resumen.— Los estudios recientes acerca de la herpetofauna de Hidalgo únicamente consideran a una especie del género *Pituophis* presente en la entidad (*P. deppei*). Sin embargo, existen registros previos de *P. catenifer* que no han sido tomados en cuenta. Por otro lado, a partir del trabajo de campo realizado al norte del estado, se registraron otros cuatro ejemplares de *P. catenifer* en los municipios de San Felipe Orizatlán y Huejutla de Reyes, lo que corrobora la presencia de esta especie en Hidalgo.

Palabras clave.— Corroboración, especie, género, herpetofauna.

Pituophis catenifer es un colúbrido que se encuentra ampliamente distribuido en el norte de México y sur de los Estados Unidos de Norteamérica (Bryson et al., 2011; Heimes, 2016); Heimes (2016), muestra un mapa en el que se observa que su distribución abarca hasta la parte norte de Hidalgo, sin embargo, no menciona su presencia para este estado en el apartado de distribución de la especie. Por otro lado, los estudios recientes sobre herpetofauna de Hidalgo (Ramírez-Bautista et al., 2014; Lemos-Espinal y Dixon, 2016; Manríquez-Morán et al., 2017) o específicamente sobre serpientes de la entidad (Fernández-Badillo et al., 2017), consideran únicamente a una especie del género *Pituophis* presente en Hidalgo: *P. deppei*. Sin embargo, Bryson et al. (2011) incluyeron en su análisis tejido de un par de organismos de *Pituophis catenifer* de la localidad de Chalahuiyapa, municipio de Huejutla de Reyes (Las Vegas Tissue Collection, número de voucher 10659, 10660), sin que hasta la fecha se tuvieran otros registros publicados que confirmaran la presencia de

esta especie en Hidalgo. En este trabajo se presentan cuatro localidades nuevas para la especie en Hidalgo, lo que corrobora la información presentada por Bryson et al. (2011) e incrementa el conocimiento de la distribución de la especie en Hidalgo.

A partir de trabajo de campo realizado en los municipios de San Felipe Orizatlán y Huejutla de Reyes, se obtuvieron registros de la serpiente *Pituophis catenifer* en distintas localidades, cuyas fotografías, así como un ejemplar recolectado se depositaron en la colección herpetológica del Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (CH-CIB). Para el caso de San Felipe Orizatlán, se registraron ejemplares en tres localidades: Valle Verde (21.180257°N, 98.588649°O, 206 m elevación; Fig. 1), 10 de mayo de 2016, un ejemplar adulto (CH-CIB 114; Fig. 2a); Zacayahual (21.175684°N, 98.607941°O, 155 m elevación; Fig. 1), 17 de agosto de 2016, un ejemplar adulto recolectado (CH-CIB 5028, Fig. 2b) y Ceecamé

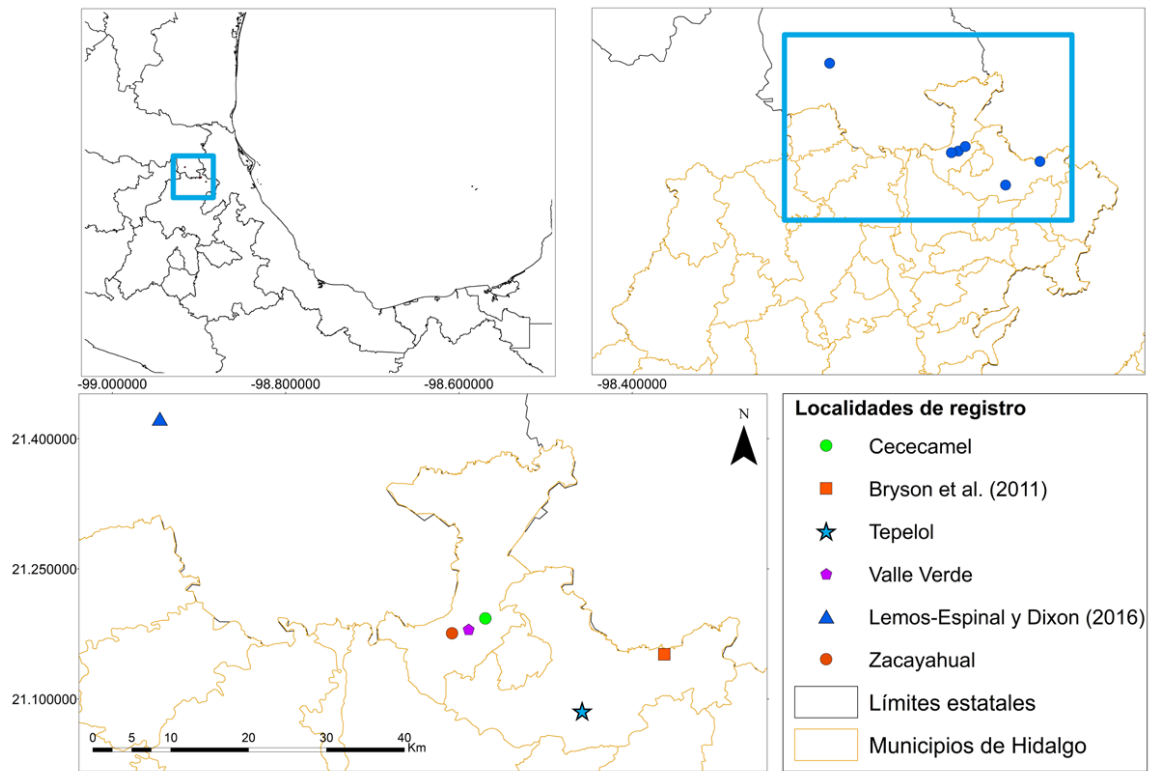


Figure 1. Map that shows the locality records of *Pituophis catenifer* in the state of Hidalgo, as well as its closest locality, located in Xilitla, San Luis Potosí, Mexico.

Figura 1. Mapa que muestra los sitios de registro de *Pituophis catenifer* en el estado de Hidalgo, así como la localidad más cercana a estos, ubicada en Xilitla, San Luis Potosí, México.

(21.192752°N, 98.569455°O, 210 m elevación; Fig. 1), 12 de mayo de 2017, un ejemplar juvenil (CH-CIB 99; Fig. 2c). En el municipio de Huejutla de Reyes, se registró en la localidad de Tepeolol (21.086111°N, 98.457778°O, 259 m elevación; Fig. 1), 18 de octubre de 2017, un ejemplar juvenil (CH-CIB 115; Fig. 2d). El colector para las primeras tres localidades fue Gonzalo Hernández Hernández y Claudio A. Mendoza Paz para la última.

Los ejemplares de las localidades de Valle Verde y Zacayahual fueron encontrados por pobladores locales, quienes avisaron de la presencia de las serpientes y afirmaron haberlas matado porque consideraron que se trataba de serpientes venenosas. Sin embargo, se desconoce si en general todos los habitantes confunden a esta especie con alguna serpiente venenosa. Debido al grado de descomposición del ejemplar de Valle Verde, este no fue recolectado y únicamente se le tomó una fotografía. Las serpientes de Cececamel y Tepeolol fueron encontradas vivas, se fotografiaron y liberaron en el sitio de la observación. Todas las localidades de registro fueron zonas perturbadas (potreros, cultivos) rodeadas de vegetación nativa (bosque tropical perennifolio).

Todos los ejemplares encontrados en este trabajo coinciden con la descripción de la especie mencionada por Lemos-Espinal y Dixon (2013), cuya característica principal es la presencia de cuatro escamas prefrontales, a diferencia de lo que ocurre en *P. deypei*, la cual únicamente presenta dos. Este carácter puede diagnosticarse a simple vista, al observar el dorso de la cabeza de la serpiente (Fig.3). Los ejemplares del municipio de San Felipe Orizatlán, llenan el vacío en la distribución conocida de la especie entre los registros en la localidad de Xilitla en el estado de San Luis Potosí (Lemos-Espinal & Dixon, 2013) y los registros previos para Hidalgo mencionados por Bryson et al. (2011).

La presencia de esta especie en una zona de bosque tropical perennifolio es poco usual, y como tal no ha sido mencionada explícitamente en otros estudios, sin embargo, existen otros registros que concuerdan con este tipo de vegetación, como por ejemplo el de Dixon y Lemos-Espinal (2013) para la localidad de Xilitla, San Luis Potosí. Por otro lado, Pérez-Higareda (1981) menciona los registros de tres ejemplares de la especie cercanos a la ciudad de Veracruz, en las localidades de Boca del Río (13 km al sur del puerto de Veracruz), El Bajo del Ingeniero y San Julián (15



Figure 2. Pictures of specimens of *Pituophis catenifer* registered in Hidalgo, México. Localities: a) Valle Verde (CH-CIB 113); b) Zacayahual (CH-CIB 5028); c) Cececamel (CH-CIB 99), d) Tepeolol (CH-CIB 115). Photographes by: a) Gonzalo Hernández-Hernández, b y c) Leonardo Fernández-Badillo y d) Claudio Mendoza-Paz.

Figura 2. Fotografías de los ejemplares de *Pituophis catenifer* registrados en Hidalgo, México. Localidades: a) Valle Verde (CH-CIB 113); b) Zacayahual (CH-CIB 5028); c) Cececamel (CH-CIB 99), d) Tepeolol (CH-CIB 115). Fotografías: a) Gonzalo Hernández-Hernández, b y c) Leonardo Fernández-Badillo y d) Claudio Mendoza-Paz.

km al norte del puerto de Veracruz), los cuales, por su ubicación, concuerdan con un área de bosque tropical perennifolio, aunque el autor sugiere que probablemente son ejemplares introducidos. Sin embargo, considerando la información aquí presentada, también permite llenar el vacío en la distribución de *P. catenifer*, entre los registros al sur de San Luis Potosí y los registros cercanos a la Ciudad de Veracruz.

Bryson et al. (2011) mencionan que la distribución conocida de *P. catenifer* está conformada por tres filogrupos que presentan divergencias relativamente recientes, lo que sugiere que la especie reconocida como *P. catenifer* debe ser más bien un complejo de especies. Por lo tanto, el tipo de hábitat podría ser otra característica que apoye las diferencias en los filogrupos detectados por Bryson et al. (2011).

Agradecimientos.— A los proyectos “Diversidad Biológica del Estado de Hidalgo (tercera etapa) FOMIX-CONACyT-HGO-2012-191908” y SEP-CONACyT Ciencia Básica 222632, por el apoyo logístico y económico para el trabajo de campo. A la SEMARNAT por la autorización brindada para la recolecta de los ejemplares, mediante el número de oficio SEMARNAT-FAUT-0052.

LITERATURA CITADA

Bryson, R.W. Jr., U.O. García-Vázquez & B.R. Riddle. 2011. Phylogeography of Middle American gophersnakes: mixed responses to biogeographical barriers across the Mexican Transition Zone. *Journal of Biogeography* 38:1570-1584.

Fernández-Badillo, L., N. Morales-Capellán, C.R. Olvera-Olvera, G. Montiel-Canales & I. Goyenechea. 2017. Guía de las serpientes del estado de Hidalgo. Pachuca de Soto, Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca de Soto, Hidalgo.

Heimes, P. 2016. Herpetofauna Mexicana Vol.1. Snakes of Mexico. Edition Chimaira. Frankfurt am Main, Germany.



Figure 3. Pictures showing the dorsal portion of the head of *P. catenifer* (left) and *P. depei* (right), the blue dots indicate the prefrontal scales.

Figura 3. Fotografías que muestran la parte dorsal de la cabeza de *P. catenifer* (a la izquierda) y *P. depei* (a la derecha), con puntos azules se indican las escamas prefrontales.

- Lemos-Espinal, J.A. & J.R. Dixon. 2013. Amphibians and reptiles of San Luis Potosí. Eagle Mountain, Eagle Mountain Publishing L.C. Utah.
- Lemos-Espinal, J.A. & J.R. Dixon. 2016. Anfibios y reptiles de Hidalgo, México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.
- Manríquez-Morán, N.L., J.M. Castillo-Cerón, I. Goyenechea, R. Cruz-Elizalde, U. Hernández-Salinas, D. Lara-Tufiño, L.M. Badillo-Saldaña, C.S. Berriozabal-Islas & A. Ramírez-Bautista. 2017. Riqueza y diversidad de saurópsidos (no aves) del estado de Hidalgo Pp. 536-562. En A. Ramírez-Bautista, A. Sánchez-González, G. Sánchez-Rojas, y M. C. Cuevas-Cardona (Eds.), Biodiversidad del Estado de Hidalgo. Tomo II. UAEH/CONACyT, Pachuca.
- Pérez-Higareda, G., & H. Smith. 1981. Ofidiofauna de Veracruz. Análisis taxonómico y zoogeográfico. Publicaciones especiales Instituto de Biología 7, UNAM, México.
- Ramírez-Bautista, A., U. Hernández-Salinas, R. Cruz-Elizalde, C.S. Berriozabal-Islas, D. Lara-Tufiño, I. Goyenechea Mayer-Goyenechea & J.M. Castillo-Cerón. 2014. Los Anfibios y Reptiles del Estado de Hidalgo, México: Diversidad, biogeografía y conservación. Sociedad Herpetológica Mexicana, Pachuca.



LA RANA LECHERA (*TRACHYCEPHALUS TYPHONIUS*) EN COSTA RICA: REGISTRO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO GRANDE DE TERRABA A TRAVÉS DE INVENTARIOS PARTICIPATIVOS DE BIODIVERSIDAD

THE MILK FROG (*TRACHYCEPHALUS TYPHONIUS*) IN COSTA RICA: RECORD AT THE UPPER BASIN OF THE RÍO GRANDE DE TERRABA THROUGH PARTICIPATIVE INVENTORIES OF BIODIVERSITY

DIEGO A. GÓMEZ-HOYOS^{1,2*}, WILLIAM HERRERA MOLINA³, KAROL ARIAS MARÍN⁴, RAFAEL MÉNDEZ-ARRIETA⁵ Y ADAMS MÉNDEZ-ARRIETA⁵

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

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

³Ciudadano Fila Tigre, Coto Brus, Puntarenas, Costa Rica.

⁴Ciudadana Fila Guinea, Gutiérrez Brawn, Coto Brus, Puntarenas, Costa Rica.

⁵Recuperación y Estudio de Abejas Nativas. Ruta Municipal 135, Puntarenas, Costa Rica.

*Correspondence: dgomez@procat-conservation.org

Abstract.— *Trachycephalus typhoni* (the milk frog) is a common and widely distributed species. In Costa Rica it is distributed from sea level to 1100 m, with no previous records in the upper basin of the Río Grande de Térraba. Herein, we report the milk frog from this basin through participatory records from the local community. Milk frog individuals were found by the local community from Fila Guinea and Fila Tigre, Coto Brus. Its diagnostic characteristics, such as the lack of vertical dark bars on the upper lips, uniform flanks, reticulated pattern of the iris, and glandular skin, were confirmed with photographs that allowed for differentiation from similar species such as *Smislica baudinii* and *Osteopilus septentrionalis*. Therefore, we support the importance of local community efforts to understand and study biodiversity, as they enrich the knowledge of the fauna and allow us to focus future exploration and research efforts in the area.

Keywords.— Amphibians, citizen science, range extension.

Resumen.— *Trachycephalus typhoni* (Rana lechera) es una especie común y con amplia distribución. En Costa Rica se distribuye desde el nivel del mar hasta los 1100 m, sin registros previos en la cuenca alta del Río Grande de Térraba. Aquí, reportamos la Rana Lechera para esta cuenca a través de registros participativos de la comunidad local. Los individuos de la Rana Lechera fueron encontrados por la comunidad local de Fila Guinea y Fila Tigre, Coto Brus. Características como la falta de barras oscuras verticales en sus labios, los flancos uniformes, el patrón reticulado del iris y piel glandular pueden ser confirmadas a través de fotografías y nos permite diferenciarla de especies similares como *Smislica baudinii* y *Osteopilus septentrionalis*. Por lo tanto, apoyamos la importancia de los esfuerzos de la comunidad local por conocer su biodiversidad, dado que enriquecen el conocimiento de la fauna y permiten enfocar esfuerzos futuros de exploración e investigación en la zona.

Palabras clave.— Anfibios, ciencia ciudadana, extensión de rango.

La rana lechera (*Trachycephalus typhoni*) es una especie común y con amplia distribución desde México hasta Paraguay y norte de Argentina (La Marca et al. 2010, Leenders 2016, Cossel & Kubicki 2017). La distribución altitudinal de la Rana lechera es desde el nivel del mar hasta los 1600 m (La Marca et al. 2010). En Costa Rica esta especie se distribuye principalmente en la vertiente Pacífico desde el nivel del mar hasta 1100 m de elevación (Savage 2002, Sasa et al. 2010, Leenders 2016). A pesar de considerarse

una especie común, sus registros en Costa Rica son limitados y no existen registros previos en la cuenca alta del Río Grande de Térraba, específicamente en las subcuencas de los ríos Cotón y Coto en Coto Brus, Puntarenas.

En esta zona de Costa Rica se han realizado ejercicios de inventarios participativos de biodiversidad, especialmente de anfibios, con algunos miembros de la comunidad de Coto Brus

(Gómez-Hoyos et al. 2018a, b). A través de estos inventarios ampliaron el rango altitudinal de *Scinax boulengeri* y se discutió que en áreas rurales del Neotrópico los miembros de las comunidades locales pueden proveer datos de biodiversidad en áreas aisladas que pueden ser útiles, porque contribuyen al conocimiento de la biodiversidad (Gómez-Hoyos et al. 2018a). En esta contribución resaltamos la importancia de los reportes de fauna provenientes de las comunidades de Coto Brus en los ejercicios de inventarios participativos locales (Gómez-Hoyos et al. 2018b) que en esta ocasión representa el primer reporte de la Rana lechera para la cuenca alta del Río Grande de Térraba (subcuencas de los ríos Cotón y Coto) en Costa Rica.

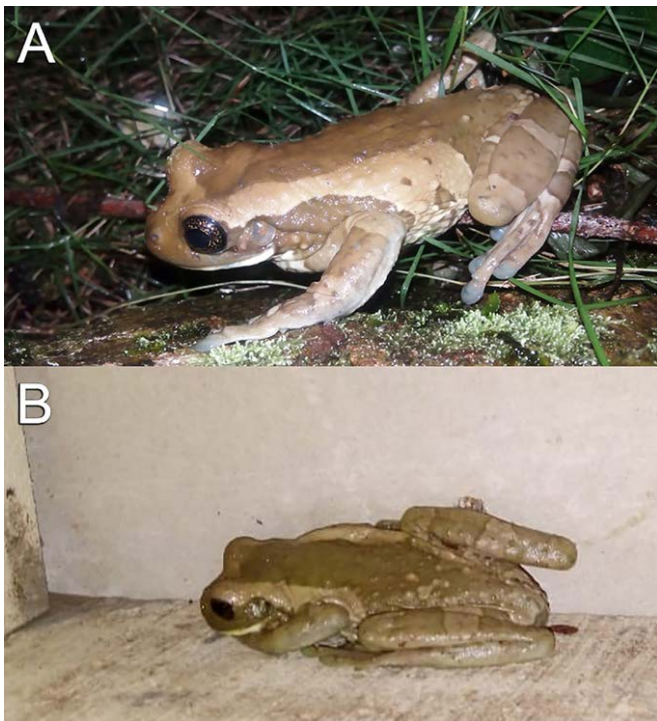


Figure 1. Individuals of the Milk Frog *Trachycephalus typhonius* found in the communities of Fila Tigre (A) and Fila guinea (B), upper basin of the río Grande de Térraba, Coto Brus, Costa Rica. Photographies: William Herrera Molina y Karol Arias.

Figura 1. Individuos de la Rana Lechera *Trachycephalus typhonius* encontrados en las comunidades de Fila Tigre (A) y Fila guinea (B), cuenca alta del río Grande de Térraba, Coto Brus, Costa Rica. Fotos: William Herrera Molina y Karol Arias.

Dos individuos de la Rana Lechera fueron encontrados en las comunidades de Fila Guinea y Fila Tigre, Coto Brus, los días 7 y 24 de julio de 2018 respectivamente (Fig. 1A, B). Los reportes se realizaron a través de fotografías de los individuos y corresponden a la ubicación geográfica 8.901653°N , $82.955763^{\circ}\text{W}$ (Fila Guinea)

y 8.930701°N , $82.921950^{\circ}\text{W}$ (Fila Tigre), aproximadamente a 1092 m de elevación (Figura 2). Estos reportes corresponden a los primeros registros de la especie en las subcuencas de los ríos Cotón y Coto, cuenca alta del río Térraba. Además, se resalta que los reportes provienen de miembros de la comunidad local que están involucrados en inventarios participativos de biodiversidad en Coto Brus.

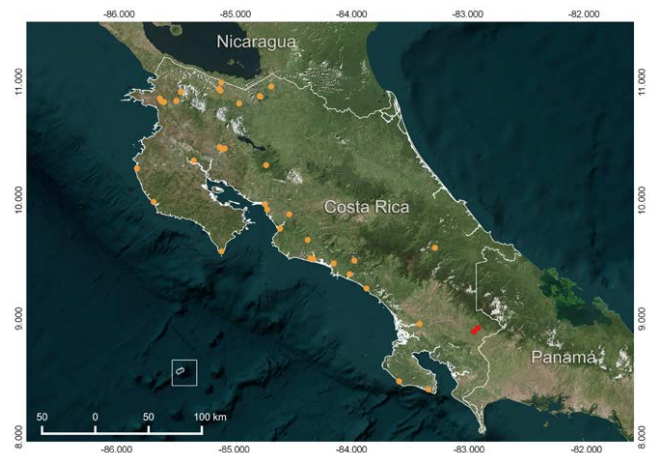


Figure 2. Distribution of the Milk Frog *Trachycephalus typhonius* in Costa Rica based on records stored at the zoological museum of the UCR (orange dots) and new records of the present study (red dots) at the upper basin of the Río Térraba, Coto Brus.

Figura 2. Distribución de la Rana Lechera *Trachycephalus typhonius* en Costa Rica basada en registros almacenados en el museo de zoología de la UCR (puntos anaranjados) y registros nuevos del presente estudio (puntos rojos) en la cuenca Alta del Río Térraba, Coto Brus.

La identificación de esta especie puede considerarse confiable, ya que algunos de sus características diagnósticas pueden ser confirmadas a través de fotografías (Gómez-Hoyos et al. (2018a). La carencia de barras oscuras verticales en sus labios y sus flancos uniformes, así como el patrón reticulado de su iris y su piel glandular pueden diferenciar esta especie de algunas similares como *Smislica baudinii* y *Osteopilus septentrionalis* (Savage 2002, Leenders 2016).

El actual reporte de la Rana lechera apoya la pertinencia de involucrar a las comunidades locales para que contribuyan al conocimiento de la biodiversidad en áreas rurales aisladas (Gómez-Hoyos et al. 2018a). Consideramos que la fotoidentificación de algunas especies de anfibios en particular puede ser confiable, a pesar de sus restricciones en la certidumbre taxonómica en general. No podemos generalizar

que los datos provenientes de la participación ciudadana o comunitaria tienen escaso rigor y calidad (Burgess et al. 2017) pues es relativo al grupo taxonómico, el área geográfica y a la evidencia recolectada. Por lo tanto, apoyamos la pertinencia de considerar los esfuerzos de las comunidades locales por conocer su biodiversidad, dado que enriquecen el conocimiento de la fauna y ayudan a enfocar esfuerzos futuros de exploración e investigación en la zona (Gómez-Hoyos et al. 2018a).

Agradecimientos.— Al profesor Gerardo Chávez por proporcionar los registros almacenados en el Museo de Zoología de la UCR. A Mahamood Sasa por proporcionar literatura necesaria para consolidar el manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Burgess, H.K., L.B. DeBey, H.E. Froehlich, N. Schmidt, E.J. Theobald, A.K. Ettinger, J. HilleRisLambers, J. Tewksbury & J.K. Parrish. 2017. The science of citizen science: Exploring barriers to use a primary research tool. *Biological Conservation* 208: 113-120.
- Cossel, J. O. Jr. & B. Kubicki. 2017. *Field Guide to the Frogs and Toads of Costa Rica*. John O. Cossel Jr.
- Gómez-Hoyos, D.A., R. Méndez-Arrieta, A. Méndez-Arrieta, R. Seisdedos-de-Vergara, J. Abarca, C. Barrio-Amorós & J.F. González-Maya. 2018a. Anuran inventory in a locality of the buffer area of La Amistad International Park, Costa Rica: pilot study for citizen science application. *Anales de Biología* 40: 57-64. <http://dx.doi.org/10.6018/analesbio.40.07>
- Gómez-Hoyos, D.A., P. Cascante, J.H. Flores Rojas, C. Oconitrillo Miranda, R. Méndez Arrieta, R. Seisdedos-de-Vergara & K. Jiménez. 2018b. Inventarios participativos de la comunidad de Coto Brus: fase I evaluación ecológica de la subcuenca del Río Cotón, Coto Brus, Puntarenas, Costa Rica. Informe Técnico Unión Zonal de Asociaciones del sector Pittier y Comisión de Ambiente y Turismo. 31 p. DOI: 10.5281/zenodo.2566686
- La Marca E., C. Azevedo-Ramos, N. Scott, L. Aquino, D. Silvano, L.A. Coloma, S. Ron, J. Faivovich, G. Santos-Barrera, F. Solís, R. Ibáñez, F. Bolaños, L.D. Wilson, J. Hardy & P. Ponce. 2010. *Trachycephalus typhonius* (errata version published in 2016), in: IUCN 2010. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2018.1. <http://www.iucnredlist.org> [consultado en Febrero 2019]
- Leenders T. 2016. *Amphibians of Costa Rica, a field guide*. New York: A Zona Tropical Publication, Cornell University Press.
- Sasa M., G. Chaves & L.W. Porras. 2010. The Costa Rican herpetofauna: conservation status and future perspectives. Pp. 509-603. En L.D Wilson, J.H. Townsend & J.D. Johnson (Eds.), *Conservation of Mesoamerican amphibians and reptiles*. Eagle Mountain Publications, LC, Eagle Mountain, Utah; 2010.
- Savage J.M. 2002. *The amphibians and reptiles of Costa Rica: a herpetofauna between two continents, between two seas*. University of Chicago Press.



AFECTACIÓN INCIDENTAL POR RED DE PESCA EN *MASTICOPHIS FULIGINOSUS* (COLUBRIDAE) EN UNA ZONA DE MARISMA DE BAJA CALIFORNIA

INCIDENTAL AFFECTATION BY FISHING NET ON *MASTICOPHIS FULIGINOSUS* (COLUBRIDAE) IN ONE ZONE OF SALT MARSH FROM BAJA CALIFORNIA

HIRAM RAFAEL MORENO-HIGAREDA^{1,2}, FERNANDA J. MANRRIQUEZ-GÓMEZ³, JORGE H. VALDEZ-VILLAVICENCIO⁴ Y GORGONIO RUIZ-CAMPOS^{2*}

¹Pro Esteros, A.C. Departamento de Investigación, Calle Cuarta 210, Zona Centro, 22800, Ensenada, Baja California, México.

²Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, Carretera Tijuana-Ensenada, 22830, Ensenada, Baja California, México.

³Club de Herpetología, Universidad Autónoma de Baja California, Carretera Tijuana-Ensenada, 22830, Ensenada, Baja California, México.

⁴Conservación de Fauna del Noroeste, A.C., Calle Granada 2100, Colonia Granados, 22785, Ensenada, Baja California, México.

*Correspondence: gruiz@uabc.edu.mx

Abstract.— Incidental entanglement of a specimen of *Masticophis fuliginosus* by discarded fishing material is reported in a Ramsar marsh area in the Estero Punta Banda in Baja California, Mexico. This event is associated with the inadequate disposal of fishing gear waste within coastal areas. This unusual record represents the first case of entanglement or possible mortality of this snake.

Keywords.— Baja California Coachwhip, fishing waste, human alterations, Ramsar, snakes.

Resumen.— Se reporta la afectación incidental de un espécimen de *Masticophis fuliginosus* por restos de material de pesca, en una zona de marismas del sitio Ramsar Estero de Punta Banda, Ensenada, Baja California, México. Este evento se asocia a la disposición inadecuada de residuos derivados de la labor pesquera dentro de las áreas costeras. Este registro inusual representa el primero sobre afectación o posible causa de mortalidad de esta especie.

Palabras clave.— Chirronera de Baja California, residuos pesqueros, alteraciones humanas, Ramsar, serpientes.

Los restos de enseres de pesca abandonados o desechados (i.e. redes de pesca, líneas, trampas y anzuelos) pueden representar un problema ambiental que preocupa cada vez más. Los impactos de estos materiales se concentran principalmente en las zonas marinas y costeras, aunque también se pueden encontrar en sistemas terrestres y dulceacuícolas (Kapfer & Paloski, 2011; Barragán-Ramírez & Ascencio-Arrayga, 2013). Uno de los impactos más significativos de estos materiales abandonados es que continúan capturando especies no objetivo al no ser adecuadamente almacenadas o desechadas, afectando incluso especies bajo alguna categoría de riesgo (Macfadyen et al., 2009). En ambientes terrestres, se han reportado múltiples casos de mal almacenaje o desecho de redes plásticas utilizadas para la exclusión de aves en zonas agrícolas, viñedos, incluso en mallas que se utilizan para el control de erosión, lo que provoca la captura accidental y mortalidad de serpientes (Stuart, et al. 2001; Kapfer & Paloski, 2011), tal es el caso de aquellas del género *Coluber*, *Crotalus*, *Heterodon*, *Lampropeltis*, *Masticophis*, *Natrix*, *Nerodia*, *Pantherophis*, *Pituophis catenifer*, *Sistrurus* y *Thamnophis* (Fauth & Welter, 1994; Stuart, et al. 2001; Walley, et al. 2005;

Kapfer & Paloski, 2011; Foster, 2014). En México, solo se ha reportado mortalidad en la serpiente acuática *Thamnophis eques* debido a redes de pesca abandonadas (Barragán-Ramírez & Ascencio-Arrayga, 2013).

En el caso de un ambiente terrestre, aquí reportamos el primer caso de afectación incidental y posible mortalidad en la Chirronera de Baja California (*Masticophis fuliginosus*) por desechos de redes de pesca.

La serpiente Chirronera de Baja California, *Masticophis fuliginosus* (Baja California Coachwhip) Cope (1895), cuenta con un ámbito de distribución restringido de carácter peninsular en México y Estados Unidos de América; se encuentra desde el sur de California en el condado de San Diego, extendiéndose por toda la península de Baja California hasta el municipio de Los Cabos en el estado de Baja California Sur, México. Esta serpiente alcanza los 1,700 mm de LHC y es altamente generalista con respecto del hábitat, encontrándose en tierras de cultivo, desiertos, zonas de dunas costeras, llanuras de pastizal, matorrales, bosques perennes y terrenos abiertos (Grismer, 2002).

Dentro de los hábitats costeros, *M. fuliginosus* se encuentra presente en el Estero de Punta Banda (EPB) y es una de las serpientes más abundantes en el área (F.J. Manríquez-Gómez *obs. pers.*). El EPB es un sitio prioritario para la conservación en el noroeste de Baja California, designado sitio Ramsar (Martínez Ríos-Del Río, 2005). Para este sitio son sugeridas las artes de pesca de tipo artesanal y deportivo de bajo impacto, únicamente de subsistencia y bajo criterios de sustentabilidad, quedando excluidas el uso de redes agalleras y de arrastre, puesto que su uso pudiera representar una amenaza a la diversidad y dinámica ecológica poblacional de la vida marina (Martínez Ríos-Del Río, 2005). Aunque la actividad pesquera en el EPB es de bajo impacto, la SAGARPA (2017) no hace mención sobre la disposición final de enseres de pesca sin vida útil, por lo que terminan tirados en las zonas utilizadas por los pescadores y finalmente parte de estos residuos llegan a tierra por medio de las mareas, pudiendo afectar a la fauna terrestre.

El 30 de septiembre de 2019, a las 17:00 h, dentro de la zona de marismas del sitio Ramsar Estero de Punta Banda municipio de Ensenada, Baja California, México (31.76151°N; 116.61799°O; WGS 84; elev. 1m), encontramos a un ejemplar adulto vivo de *M. fuliginosus* (LHC= 86 cm, LT=105 cm) aprisionado en restos de una red de pesca. Al momento del encuentro el individuo intento huir, pero le fue imposible debido a que se encontraba enredado en el segundo tercio de su cuerpo en una malla de nylon con una luz de malla de un centímetro (Fig. 1). Posteriormente a la observación, el ejemplar fue liberado y reubicado varios metros adelante en



Figure 1. Adult *Masticophis fuliginosus* entangled in a fishing net waste in Estero de Punta Banda, Baja California, Mexico. Photo: Hiram Moreno-Higareda.

Figura 1. Ejemplar adulto de *Masticophis fuliginosus* atrapado en restos de una red de pesca en el Estero de Punta Banda, Baja California, México. Foto: Hiram Moreno-Higareda.

esta área. Es muy probable que la red de pesca provenga de las actividades de pesca ribereña en la zona y haya sido arrastrada por la marea con ayuda del viento, puesto que es común y notable la dinámica de mareas dentro de estas marismas, modelando directamente las condiciones ambientales y ecológicas de este humedal costero (Moreno-Higareda et al., 2019).

Este registro representa el primer reporte de afectación y posible causa de mortalidad de *M. fuliginosus* por restos de material de pesca en una zona costera. Los diversos registros de mortalidad de serpientes por este tipo de materiales en otros países (principalmente Estados Unidos), nos hace pensar que es altamente probable que el individuo encontrado haya muerto o sido depredado de no haberse liberado. La ubicuidad de la contaminación por restos de material de pesca abandonados en sistemas costeros es algo muy preocupante, puesto que quedan a la deriva en el mar y se convierten en residuos peligrosos, representando una amenaza latente tanto para fauna marina, dulceacuícola (Macfadyen et al., 2009; Eriksen et al., 2014), y terrestre como lo es el caso de *M. fuliginosus*. Por esto, es importante que la disposición de este tipo de materiales esté apegada a la normatividad sobre la calidad y sustentabilidad de los ambientes costeros (Secretaría de Economía, 2016), todo ello para evitar estas y otras interacciones que puedan afectar a la fauna silvestre.

Agradecimientos.— Agradecemos al CONACYT por la beca de maestría (922901) para realizar los estudios de posgrado del primer autor. A la familia Perisky por su continuo apoyo a las investigaciones que se realizan en Estero de Punta Banda.

LITERATURA CITADA

- Barragán-Ramírez, J.L. & J.J. Ascencio-Arrayga. 2013. *Thamnophis eques* (Mexican Garter Snake). Mortality. *Herpetological Review* 44:158.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2017. Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación, 6 de noviembre de 2018. México.
- Secretaría de Economía. 2016. Norma Mexicana NMX-AA-120-SCFI-2016 que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas (cancela a la NMX-AA-120-SCFI-2006). Diario Oficial de la Federación, 1 de diciembre de 2016. México.
- Eriksen M.L.C., M. Lebreton, H.S. Carson, M. Thiel, C.J. Moore, J.C. Borerro, et al. 2014. Plastic pollution in the world's oceans: more

- than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. PLoS ONE 9:e111913.
- Fauth, T.H. & S.M. Welter. 1994. *Nerodia sipedon* (Northern Water Snake). Fatality. Herpetological Review 25:29.
- Foster, J. 2014. Snakes and garden netting. Amphibian and Reptiles Conservation leaflet. Bournemouth, England.
- Grismer, L.L. 2002. Amphibians and reptiles of Baja California, including its Pacific islands and the islands in the Sea of Cortés. University of California Press, Berkeley, California, USA.
- Kapfer, J.M. & R.A. Paloski. 2011. On the threat to snakes of mesh deployed for erosion control and wildlife exclusion. Herpetological Conservation and Biology 6:1-9.
- Macfadyen, G., T. Huntington & R. Cappell. 2009. Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear. UNEP Regional Seas Reports and Studies 185, FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 523. Rome, Italy.
- Martínez Ríos-Del Río, L.M. 2005. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR). Ramsar Sites Information Services, Ramsar, Iran.
- Moreno-Higareda, H. R., E. Campos, H. De la Cueva, M.A. García-Zárate & L. Martínez-Ríos Del Río. 2019. ¿Amenaza un bivalvo exótico al rascón picudo en Baja California? Huitzil 20(2):e-531.
- Stuart, J.N., M.L. Watson, T.L. Brown & C. Eustice. 2001. Plastic netting: an entanglement hazard to snakes and other wildlife. Herpetological Review 32:162-164.
- Walley, H.D., R.B. King, J.M. Ray & J. Robinson. 2005. What should be done about erosion control mesh netting and its destruction of herpetofauna? Journal of Kansas Herpetology 16:26-28.



NOTES ON THE DIET OF *CROTALUS INTERMEDIUS* TROSCHEL, 1865NOTAS SOBRE LA DIETA DE *CROTALUS INTERMEDIUS* TROSCHEL, 1865TRISTAN D. SCHRAMER^{1,2*}, YATIN KALKI^{1,3}, TAYLOR R. WEST^{1,4} AND DANIEL B. WYLIE¹¹Illinois Natural History Survey, Prairie Research Institute, Champaign, Illinois 61820, USA.²Department of Biological Sciences, Clemson University, Clemson, South Carolina 29634, USA.³Agumbe Rainforest Research Station, Suralihalla, Agumbe, Karnataka 577411, India.⁴Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan 48109, USA.

*Correspondence: tdschra@clemson.edu

Resumen.— En la literatura, solo se reportan cuatro presas específicas para la víbora cascabel enana (*Crotalus intermedius*) que ocurre en las sierras centrales y meridionales de México. Para aumentar estos datos, investigamos los contenidos estomacales de los especímenes de *C. intermedius* en la Colección de Herpetología del Museo de Historia Natural de la Universidad de Illinois (UIMNH). De los 23 especímenes examinados, siete contenían presas, todas las cuales eran lagartos del género *Sceloporus*. Como resultado, reportamos dos nuevas presas de la dieta conocida de *C. intermedius*. Además, nuestros datos, junto con la literatura publicada, sugieren que *Sceloporus* spp. son la fuente de alimento predominante de *C. intermedius*. Esta aparente especialización en la dieta puede hacer que *C. intermedius* sea más vulnerable, y por esta razón, mejorar el conocimiento de la historia natural será vital para informar los esfuerzos de conservación.

Palabras clave.— Alimentación, depredador-presa, ecología, historia natural, interacciones de especies, víbora cascabel enana.

Abstract.— Only four specific prey items are reported in the literature for the Mexican small-headed rattlesnake (*Crotalus intermedius*), which occurs in the central and southern Mexican highlands. To augment these data, we dissected museum specimens housed in the University of Illinois Museum of Natural History Herpetology Collection for stomach contents. Of the 23 specimens examined, seven contained prey, all of which were lizards of the genus *Sceloporus*. As a result, we report two novel prey items to the known dietary breadth of *C. intermedius*. Furthermore, our findings, in conjunction with published literature, suggest that *Sceloporus* spp. are the predominant food source of *C. intermedius*. This apparent diet specialization may make *C. intermedius* more vulnerable, and for this reason, improving natural history knowledge will be vital for informing conservation efforts.

Keywords.— Ecology, feeding, Mexican small-headed rattlesnake, natural history, predator-prey, species interactions.

The Mexican small-headed rattlesnake (*Crotalus intermedius*) is a small-sized rattlesnake endemic to the Mexican highlands, disjunctly occupying mixed pine-oak forests in the states of Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca, and Guerrero (Heimes, 2016). However, at certain localities, it may inhabit cloud forests and deserts (SEMNET, 2018). Currently, three subspecies are recognized: *C. i. intermedius*, which occurs in south-east Hidalgo, northern Puebla, Tlaxcala, and west-central Veracruz; *C. i. gloydi*, which occurs in central Oaxaca, and potentially, bordering areas of Puebla and Veracruz; and *C. i. omiltemanus*, which is restricted to the highlands of central Guerrero (Campbell and Lamar, 2004). There is little in terms of published literature on *C. intermedius* and many aspects of its natural history are poorly known.

Crotalus intermedius is thought to feed primarily on lizards of the genus *Sceloporus* and rarely rodents. However, few reported prey items have actually been identified to the specific level (Table 1). To acquire more unambiguous data on the diet of *C. intermedius*, we examined the stomach contents of *C. intermedius* specimens in the University of Illinois Museum of Natural History (UIMNH) Herpetology Collection (n = 23). Specimens were dissected via midventral incisions and prey items were extracted for identification. All prey items were lizards of the genus *Sceloporus* and identifiable remains were distinguished based on the squamation characteristics described by Smith (1936; 1939) and Smith and Bumzahem (1955) as well as direct comparisons with *Sceloporus* specimens in the UIMNH Herpetology Collection. As a result, we report two novel prey items for *C. i. gloydi*, one novel prey item for *C. i. intermedius*,

Tabla 1. Resumen de los artículos de presa publicados para *Crotalus intermedius*. References: [1] Klauber (1972); [2] Campbell (1977); [3] Campbell & Armstrong (1979); [4] Campbell & Lamar (2004); [5] Bryson et al. (2006); [6] Canseco-Márquez & Gutierrez-Mayen (2010).

Table 1. Summary of published *Crotalus intermedius* prey items. References: [1] Klauber (1972); [2] Campbell (1977); [3] Campbell & Armstrong (1979); [4] Campbell & Lamar (2004); [5] Bryson et al. (2006); [6] Canseco-Márquez & Gutierrez-Mayen (2010).

Source	Subspecies	Prey Identity (Quantity)	State
[1]	<i>intermedius</i>	Unidentified lizards (2)	-
[6]	<i>intermedius</i>	Unidentified rodent (1)	Puebla
[5] ITAH 1331	<i>gloydi</i>	<i>Reithrodontomys fulvescens helvolus</i> (1)	Oaxaca
[3]	<i>gloydi</i>	Unidentified <i>Sceloporus</i> lizards (2+)	Oaxaca
[6]	<i>gloydi</i>	<i>Sceloporus bicanthalis</i> (1)	Oaxaca
[1]	<i>omiltemanus</i>	Unidentified lizards (12)	Guerrero
[2,3]	<i>omiltemanus</i>	lizards mostly of the genus <i>Sceloporus</i> (18)	Guerrero
[4]	<i>omiltemanus</i>	<i>Sceloporus formosus</i> s.l. [=druckercolini] (1+)	Guerrero
[1,4]	<i>omiltemanus</i>	<i>Sceloporus mucronatus</i> s.l. [=omiltemanus] (2+)	Guerrero

and ultimately, two total novel prey items for the *C. intermedius* species as a whole.

Six specimens of *C. i. gloydi* contained prey items, of which three were identified to the specific level (Table 2). UIMNH 52973 (collected October 1962 by T. MacDougall) contained one *Sceloporus grammicus* (Fig. 1), UIMNH 53099 (collected on 21 March 1963 by T. MacDougall) contained one *Sceloporus internasalis* (Fig. 2), and UIMNH 73616 (collected between July and December of 1965 by T. MacDougall) contained two *Sceloporus omiltemanus* (Fig. 3). Unassignable *Sceloporus* remains were present in the stomachs of UIMNH 60803, UIMNH 63688, and UIMNH 73617.

Only one *C. i. intermedius* specimen, UIMNH 60804 (collected on 27 July 1964 by M. J. Landy and J. D. Lynch), contained stomach contents—*Sceloporus bicanthalis* (Fig. 4).

Indeed, our results support the notion that lizards, specifically those within the genus *Sceloporus*, are an important prey source for *C. intermedius*. Moreover, being saurophagous may translate to a greater dependency on lizard populations for future persistence, which may be troublesome amidst a changing climate (Sinervo et al., 2010). As of now, the conservation status of *C. intermedius* varies from source to source. According to the Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales

Tabla 2. Resumen de los artículos de presa de *Crotalus intermedius* identificados en la Colección Herpetológica de la UIMNH.

Table 2. Summary of *Crotalus intermedius* prey items identified in the UIMNH Herpetology Collection.

Specimen	Subspecies	Sex	Prey Identity (Quantity)	Location	State	Snout-vent Length (mm)	Total Length (mm)	Direction of Ingestion
UIMNH 52973	<i>gloydi</i>	♀	<i>Sceloporus grammicus</i> (1)	Cerro San Felipe	Oaxaca	227	252	Head-first
UIMNH 53099	<i>gloydi</i>	♀	<i>Sceloporus internasalis</i> (1)	West of La Cumbre	Oaxaca	334	358	Head-first
UIMNH 60803	<i>gloydi</i>	♂	<i>Sceloporus</i> sp. (1)	Cerro San Felipe	Oaxaca	456	498	Head-first
UIMNH 60804	<i>intermedius</i>	♂	<i>Sceloporus bicanthalis</i> (1)	Cofre de Perote	Veracruz	361	394	Head-first
UIMNH 63688	<i>gloydi</i>	♂	<i>Sceloporus</i> sp. (1)	Cerro San Felipe	Oaxaca	305	341	Head-first
UIMNH 73616	<i>gloydi</i>	♀	<i>Sceloporus omiltemanus</i> (2)	Cerro San Felipe	Oaxaca	406	443	Head-first
UIMNH 73617	<i>gloydi</i>	♂	<i>Sceloporus</i> sp. (1)	Cerro San Felipe	Oaxaca	236	259	Head-first



Figura 1. Vista dorsal de *Crotalus intermedius gloydii* (UIMNH 52973) y la presa (*Sceloporus grammicus*) extraída de su estómago.
Figure 1. Dorsal view of *Crotalus intermedius gloydii* (UIMNH 52973) and the prey item (*Sceloporus grammicus*) removed from its stomach.



Figura 3. Vista dorsal de *Crotalus intermedius gloydii* (UIMNH 73616) y la presa (*Sceloporus omiltemanus*) extraída de su estómago.
Figure 3. Dorsal view of *Crotalus intermedius gloydii* (UIMNH 73616) and the prey item (*Sceloporus omiltemanus*) removed from its stomach.



Figura 2. Vista dorsal de *Crotalus intermedius gloydii* (UIMNH 53099) y la presa (*Sceloporus internasalis*) extraída de su estómago.
Figure 2. Dorsal view of *Crotalus intermedius gloydii* (UIMNH 53099) and the prey item (*Sceloporus internasalis*) removed from its stomach.



Figura 4. Vista dorsal de *Crotalus intermedius intermedius* (UIMNH 60804) y la presa (*Sceloporus bicanthalis*) extraída de su estómago.
Figure 4. Dorsal view of *Crotalus intermedius intermedius* (UIMNH 60804) and the prey item (*Sceloporus bicanthalis*) removed from its stomach.

(SEMARNAT, 2018), the status of *C. intermedius* is considered 'Least Concern' (LC) by the IUCN, 'Amenazada' (A)—Threatened—by SEMARNAT, and 'Peligro de Extinción' (P)—Endangered—by Jiménez-Velázquez et al. (2018). *C. intermedius* is also placed in the 'high vulnerability' category of Environmental Vulnerability Scores (EVS) (e.g., Mata-Silva et al., 2015). Similarly, all of the recorded *Sceloporus* in the diet of *C. intermedius* are within the middle or high vulnerability categories of EVS except for *S. grammicus* (Mata-Silva et al., 2015; Palacios-Aguilar & Flores-Villela, 2018).

Moreover, *C. intermedius* also appears to have low fecundity (Armstrong & Murphy, 1979; Canseco-Marquez & Gutierrez-Mayen, 2010; Kalki et al., 2019), so improving natural history knowledge for this species will be vital for informing conservation management and warranting protection. Future studies will likely add to the list of prey items for *C. intermedius* and, perhaps, provide some clarity regarding its conservation status as well as the circumstances under which it consumes non-lizard prey. This study encourages the use of natural history collections to obtain invaluable natural history data for poorly known species, which will form the underpinnings of future conservation efforts.

Acknowledgements.— For providing these imperative contributions to the natural history of Mexican herpetofauna, we acknowledge the collectors of the specimens addressed herein—M. J. Landy, J. D. Lynch, and T. MacDougall. For without their efforts, this investigation would not have been possible.

CITED LITERATURE

- Armstrong, B.L. & J.B. Murphy. 1979. The Natural History of Mexican Rattlesnakes. University of Kansas Printing Service, Lawrence, Kansas, USA.
- Bryson, R.W., F. Mendoza-Quijano, R.F. Mendoza-Paz & J. Pacheco. 2006. *Crotalus intermedius gloydi* (Oaxacan Small-headed Rattlesnake). Diet. Herpetological Review 37:350-351.
- Campbell, J.A. 1977. The distribution, variation, and natural history of the Middle American highland pitvipers, *Bothrops barbouri* and *Bothrops godmani*. Master's Thesis. University of Texas, Arlington, Texas, USA.
- Campbell, J.A. & B.L. Armstrong. 1979. Geographic Variation in the Mexican Pygmy Rattlesnake, *Sistrurus ravus*, with the Description of a New Subspecies. Herpetologica 35:304-317.
- Campbell, J.A. & W.W. Lamar. 2004. The Venomous Reptiles of the Western Hemisphere. Comstock Publishing Associates, Ithaca, New York, USA.
- Canseco-Marquez, L. & M.G. Gutierrez-Mayen. 2010. Anfíbios y Reptiles del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. CONABIO, Fundación para la Reserva de la Biosfera Cuicatlán, A. C., y la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- Heimes, P. 2016. Snakes of Mexico. Edition Chimaira, Frankfurt, Germany.
- Jiménez-Velázquez, G., H.A. Pérez-Mendoza, C. Yañez-Arenas, A.Y. Cisneros-Bernal & S. Cortés. 2018. Coordinación de acciones para la elaboración de un programa nacional para la conservación de las serpientes de cascabel de México. PROCER/CER/43/2018. Dirección de Especies Prioritarias para la Conservación, CONANP. Vida Silvestre Coatl, A.C.
- Kalki, Y., T.D. Schramer, T.R. West & D.B. Wylie. 2019. *Crotalus intermedius* (Mexican Small-headed Rattlesnake). Reproduction. Herpetological Review 50(3):590.
- Klauber, L.M. 1972. Rattlesnakes: Their Habits, Life Histories, and Influence on Mankind. University of California Press, Berkeley, California, USA.
- Mata-Silva, V., J. D. Johnson, L. D. Wilson & E. García-Padilla. 2015. The Herpetofauna of Oaxaca, Mexico: Composition, Physiographic Distribution, and Conservation Status. Mesoamerican Herpetology 2: 6-62.
- Palacios-Aguilar, R. and O. Flores-Villela. 2018. An updated checklist of the herpetofauna from Guerrero, Mexico. Zootaxa 4422(1):1-24.
- SEMARNAT. 2018. Programa de Acción para la Conservación de las Especies (PACE): Serpientes de Cascabel (*Crotalus* spp.). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), México.
- Sinervo, B., F. Mendez-de-la-Cruz, D.B. Miles, B. Heulin, E. Bastiaans, M. Villagrán-Santa Cruz, R. Lara-Resendiz, N. Martínez-Méndez, M.L. Calderón-Espinosa, R.N. Meza-Lázaro, H. Gadsden, L. Javier Avila, M. Morando, I.J. De la Riva, P.V. Sepulveda, C.F. Duarte-Rocha, N. Ibargüengoytia, C. Aguilar-Puntriano, M. Massot, V. Lepetz, T.A. Oksanen, D.G. Chapple & A. Bauer, A. 2010. Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. Science 328:894-899.

Smith, H.M. 1936. The Lizards of the *Torquatus* Group of the Genus *Sceloporus* Wiegmann, 1828. The University of Kansas Science Bulletin 24:539-693.

Smith, H.M. 1939. The Mexican and Central American Lizards of the Genus *Sceloporus*. Field Museum Press, Chicago, Illinois, USA.

Smith, H.M. & C.B. Bumzahem. 1955. The Identity of Trans-Isthmic Mexican Populations of the Malachite Tree Lizards (*Sceloporus malachiticus* Cope). Herpetologica 11:118-120.



FIRST RECORD OF NECROPHILIA IN THE BAJA CALIFORNIA SPINY LIZARD, *SCELOPORUS ZOSTEROMUS* (PHRYNOSOMATIDAE)

PRIMER REGISTRO DE NECROFILIA EN LA LAGARTIJA ESPINOSA DE BAJA CALIFORNIA, *SCELOPORUS ZOSTEROMUS* (PHRYNOSOMATIDAE)

JORGE H. VALDEZ-VILLAVICENCIO* AND ANNY PERALTA-GARCÍA

Conservación de Fauna del Noroeste, A.C., Calle Granada 2100, Colonia Granados, 22785, Ensenada, Baja California, México.

*Correspondence: j_h_valdez@yahoo.com.mx

Resumen.— La necrofilia es un comportamiento reproductivo en el que un animal vivo intenta copular con un animal muerto. Este comportamiento se ha reportado en varias especies de lagartijas. Aquí presentamos el primer caso de necrofilia en *Sceloporus zosteromus*, observado en un macho adulto con una hembra de su misma especie en el noroeste de Baja California, México.

Palabras clave.— Comportamiento reproductivo, especie endémica, lagartija.

Abstract.— Necrophilia is a reproductive behavior in which a live animal attempts to mate with a dead conspecific. This behavior has been reported in several lizard species. Here, we report the first case of necrophilia in *Sceloporus zosteromus*, observed in an adult male with a dead conspecific female in northwestern Baja California, Mexico.

Keywords.— Reproductive behavior, endemic species, lizard.

Necrophilia, necrogamy, or Davian behavior, is the attempted copulation with dead conspecifics (Groffen et al., 2019). This behavior has been reported in some lizard species, but within the family Phrynosomatidae, has been documented only in *Holbrookia maculata* (Brinker & Bucklin, 2006), *Phrynosoma cornutum* (Lane & Van Buren, 2013), *P. mcallii* (Park et al., 2016), *Sceloporus occidentalis* (Shedd & Eisenberg, 2012), and *Urosaurus ornatus* (Garza et al., 2017). Here, we report the first observation of necrophiliac behavior of an adult male *Sceloporus zosteromus* (Cope, 1863) with a dead conspecific female in northwestern Baja California, Mexico.

The Baja California Spiny Lizard (*S. zosteromus*) is a moderate sized lizard, with adults reaching 131 mm SVL (Grismer, 2002). Is endemic to Baja California Peninsula, and ranges from Ensenada in the state of Baja California, southward to Cabo San Lucas, in Baja California Sur, Mexico. It also occurs in several islands in the Pacific Ocean and the Gulf of California. This lizard is a habitat generalist ranging through coastal sand dunes in the northern distribution to tropical dry forest in the Cape Region, and have a spring breeding and a summer egg-laying season (Grismer, 2002).

On 9 April 2019, driving through the road to Sierra San Pedro Mártir, Municipality of Ensenada, Baja California, Mexico,

we encountered a pair of *S. zosteromus* at 16:45 h on the road (30.96617°N, 116.06328°W, WGS84, 109 masl). After we stop, we noticed that an adult male was indented to mate with a dead conspecific female, even though we could not see a full copulation, the male had a bite-hold on the female in the nuchal region (Fig. 1), a common behavior employed during copulation in most lizards. The female was recently killed by being run over



Figura 1. Macho adulto de *Sceloporus zosteromus* intentando copular con una hembra de la misma especie en Baja California, México. Foto: Jorge H. Valdez-Villavicencio.

Figure 1. An adult male *Sceloporus zosteromus* attempting to copulate with dead conspecific female in Baja California, Mexico. Photo: Jorge H. Valdez-Villavicencio.

and still warm without *rigor mortis* when we collected it, and we presume the lizards were trying to mate when a car passes over and kill the female, and probably the pheromones still detectable to the male and he continued trying to mate when we found them, due the date coincides with the spring reproductive season. The dead female was then moved and collected to prevent the living male from being potentially attracted to the road and be killed too. To our knowledge, this is the first report of necrophilia in *S. zosteromus*. The dead female specimen was collected under the permit SEMARNAT SGPA/DGVS/013217/18 issued to the first author, and deposited in the Herpetological collection of Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California in Ensenada (CH-UABC 2427).

CITED LITERATURE

- Brinker A.M. & S.E. Bucklin. 2006. *Holbrookia maculata* (Common Lesser Earless Lizard). Necrophilia. Herpetological Review 37:466.
- Cope, E.D. 1863. Descriptions of new American Squamata in the Museum of the Smithsonian Institution. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia 15:100–106.
- Garza, K.R., J. Schlichte, N. Peters, D.L. Desantis, J.D. Johnson & V. Mata-Silva. 2017. *Urosaurus ornatus* (Ornate Tree Lizard). Necrophilia and Feeding Behavior. Herpetological Review 48:442–443.
- Grismer, L.L. 2002. Amphibians and reptiles of Baja California, including its Pacific islands and the islands in the Sea of Cortés. University of California Press, Berkeley, California, USA.
- Groffen, J., A. Borzée, & Y. Jang. 2019. First record of necrophilia in the prolonged breeder *Rana uenoi*. Herpetology Notes 12:43–44.
- Lane, J.S. & E. Van Buren. 2013. *Phrynosoma cornutum* (Texas Horned Lizard). Necrophilia. Herpetological Review 44:146–147.
- Park, B., J.S. Reimche, M. Parker & M. Goode. 2016. *Phrynosoma mcallii* (Flat-tailed Horned Lizard) Necrophilia. Herpetological Review 47:139.
- Shedd, J.D. & R. Eisenberg. 2012. *Sceloporus occidentalis* (Western Fence Lizard). Necrophilia. Herpetological Review 43:338.



REDESCUBRIMIENTO Y EXTENSIÓN DEL RANGO DE DISTRIBUCIÓN DE LA CUILISA, *BOLITOGLOSSA HERMOSA* PAPENFUSS, WAKE, AND ADLER 1984 (CAUDATA: PLETHODONTIDAE) EN EL ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO

REDISCOVERY AND RANGE EXTENSION OF THE DISTRIBUTION OF CUILISA, *BOLITOGLOSSA HERMOSA* PAPENFUSS, WAKE, AND ADLER 1984 (CAUDATA: PLETHODONTIDAE) IN THE STATE OF GUERRERO, MEXICO

IVÁN T. AHUMADA-CARRILLO^{1,2*}, CHRISTOPH I. GRÜNWARD^{1,2,3,4}, JASON M. JONES^{1,2,3}, RICARDO RAMÍREZ-CHAPARRO^{1,2}, KAREN I. MORALES-FLORES^{1,2}, CARLOS MONTAÑO^{1,2} Y HECTOR FRANZ-CHÁVEZ^{1,2}

¹Biodiversa A. C., Chapala, Jalisco, México.

²Herp.mx A.C., Villa de Alvarez, Colima, México. Biencom Real Estate, Carretera Chapala - Jocotepec #57-1, C.P. 45920, Ajijic, Jalisco, México.

³Herpetological Conservation International - Mesoamerica Division, 450 Jolina Way, Encinitas, California 92024, United States.

⁴Biencom Real Estate, Carretera Chapala - Jocotepec #57-1, C.P. 45920, Ajijic, Jalisco, México.

*Correspondence: lepidus320@hotmail.com

El género *Bolitoglossa* Duméril, Bibron & Duméril, 1854, es uno de los más diversos dentro de la familia Plethodontidae, compuesto por 132 especies descritas (Frost, 2019). El tamaño de estas salamandras es muy variable, y se caracterizan por la presencia de 16 surcos costales; una membrana interdigital amplia que envuelve los dígitos y ausencia de pliegue sublingual (Wake & Elias, 1983). En la última revisión filogenética del género *Bolitoglossa*, donde se analizaron 55 especies, Parra-Olea et al. (2004) erigieron el subgénero *Oaxakia*, endémico a la Sierra Madre del Sur de Guerrero y Oaxaca y compuesto por cinco especies originalmente incluidas en el grupo *B. macrinii*: *B. hermosa*, *B. macrinii*, *B. oaxacensis*, *B. riletti* y *B. zapoteca*. *Bolitoglossa hermosa* es endémica de Guerrero y se distribuye en la vertiente del Pacífico de la Sierra Madre del Sur, México, conocida de localidades en elevaciones medias entre Atoyac de Álvarez y la cima del Cerro Teotepec. A pesar que inicialmente se reportó como común (Papenfuss et al., 1984), con 24 ejemplares recolectados en la década de 1970, no se han reportado recolectas de la especie desde 1977 (Parra-Olea et al., 2002). En este trabajo se reporta la primer recolecta de la especie documentada en la literatura después de 39 años y una ampliación de su distribución geográfica.

Las fotografías de los ejemplares fueron depositadas en la Colección Digital de la Universidad de Texas en Arlington (UTADC), mientras que la verificación de la identidad taxonómica fue realizada por Sean M. Rovito.

Un ejemplar de *B. hermosa* (UTADC 9539 a-c; Fig. 1) fue encontrado 13.1 km al noreste de El Paraíso en la carretera hacia Puerto del Gallo (17.405202° N, -100.190940° O; [WGS84];



Figure 1. *Bolitoglossa hermosa* specimen UTADC-9539c. 13.1 km to the northwest of El Paraíso, Atoyac de Álvarez, Guerrero. Photography: Christoph I. Grünwald.

Figura 1. *Bolitoglossa hermosa* ejemplar UTADC-9539c. 13.1 km al noreste de El Paraíso, Atoyac de Álvarez, Guerrero. Foto: Christoph I. Grünwald.

elev.1170 m) en el Municipio de Atoyac de Álvarez, Guerrero, México el 15 de julio de 2016. El ejemplar se encontró durante la noche sobre una hoja mojada de un arbusto, a una altura de 1.5 metros del suelo, en bosque tropical subperennifolio. Esta localidad se encuentra a 14.5 km de registros previos de la especie y a 19 km de la localidad tipo (Fig. 3).

Un segundo ejemplar de *B. hermosa* (UTADC 9540; Fig. 2), fue encontrado el 5 de octubre de 2017 en la localidad Bajitos de La Laguna (17.576244° N, -100.745036° O; [WGS84]; elev.1014 m), municipio de Técpan de Galeana y representa la localidad más septentrional de la especie, ampliando la distribución conocida



Figure 2. *Bolitoglossa hermosa* specimen UTADC- 9540. Bajitos de la Laguna, Tecpán de Galeana, Guerrero. Photography: Iván T. Ahumada-Carrillo.

Figura 2. *Bolitoglossa hermosa* ejemplar UTADC- 9540. Bajitos de la Laguna, Tecpán de Galeana, Guerrero. Foto: Iván T. Ahumada-Carrillo.

60 km al oeste de la localidad más cercana 18.1 km al noreste de Atoyac (Fig. 3). El ejemplar se encontró durante el día abajo de un tronco muerto en bosque de pino húmedo.

De acuerdo con Papenfuss et al. (1984), *B. hermosa* habita desde los 775–2465 metros sobre el nivel del mar (msnm), en bosque tropical subcaducifolio, bosque mesófilo de montaña, bosque de pino-encino y plantaciones de café bajo sombra. Los especímenes aquí reportados se encontraron entre 1014–1170 msnm. La altura máxima reportada por Papenfuss et al. (1984) para esta especie incluyeron datos inexactos de recolecta del Sr. Alfredo Sartorius Z., quien reportó haber recolectado ejemplares a 2465 m (snm). Adler (1996) sugirió que esta localidad necesita

confirmación. Sin embargo, los demás registros son de entre 775–850 msnm. Proponemos que la distribución altitudinal de *B. hermosa* es entre 775–1200 m aproximadamente, y que los registros del Sr. Alfredo Sartorius Z. venían de una elevación más baja y un hábitat más tropical de lo reportado por él.

Se desconoce gran parte de la biología de esta especie, dado que solo se conocían datos desde la descripción original. Aunado a lo anterior, el área de distribución de la especie se encuentra en una zona de conflicto social, lo que hace difícil la obtención de ejemplares adicionales, información sobre los aspectos básicos de historia natural, así como datos que nos permitan conocer el estado real de sus poblaciones, ya que *B. hermosa* se encuentra enlistada como una especie sujeta a protección especial (Pr) por parte de la ley mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010) y como Casi amenazada (NT) por la UICN.

Agradecimientos.— A Edén Ángeles Castro por la elaboración del mapa, y a Gregory Gabriel Pandelis por la catalogación de las fotografías.

LITERATURA CITADA

Adler, K. 1996. The salamanders of Guerrero, Mexico, with descriptions of five new species of *Pseudoeurycea* (Caudata: Plethodontidae). Occasional Papers of the Museum of Natural History, University of Kansas 177:1-28.

Frost, D.R. 2019. Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 6.0. Disponible en: <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html>. American Museum of Natural History, New York, USA. Ultimo acceso 11 mayo 2019.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2010. 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. 30 de diciembre de 2010, Segunda Sección. México.

Papenfuss, T.J., D.B. Wake & K.A. Adler. 1984 "1983". Salamanders of the genus *Bolitoglossa* from the Sierra Madre del Sur of southern Mexico. *Journal of Herpetology* 17:295-307.

Parra-Olea, G., M. García-París & D.B. Wake 2002. Phylogenetic relationships among the salamanders of the *Bolitoglossa macrinii* species group (Amphibia: Plethodontidae), with descriptions of

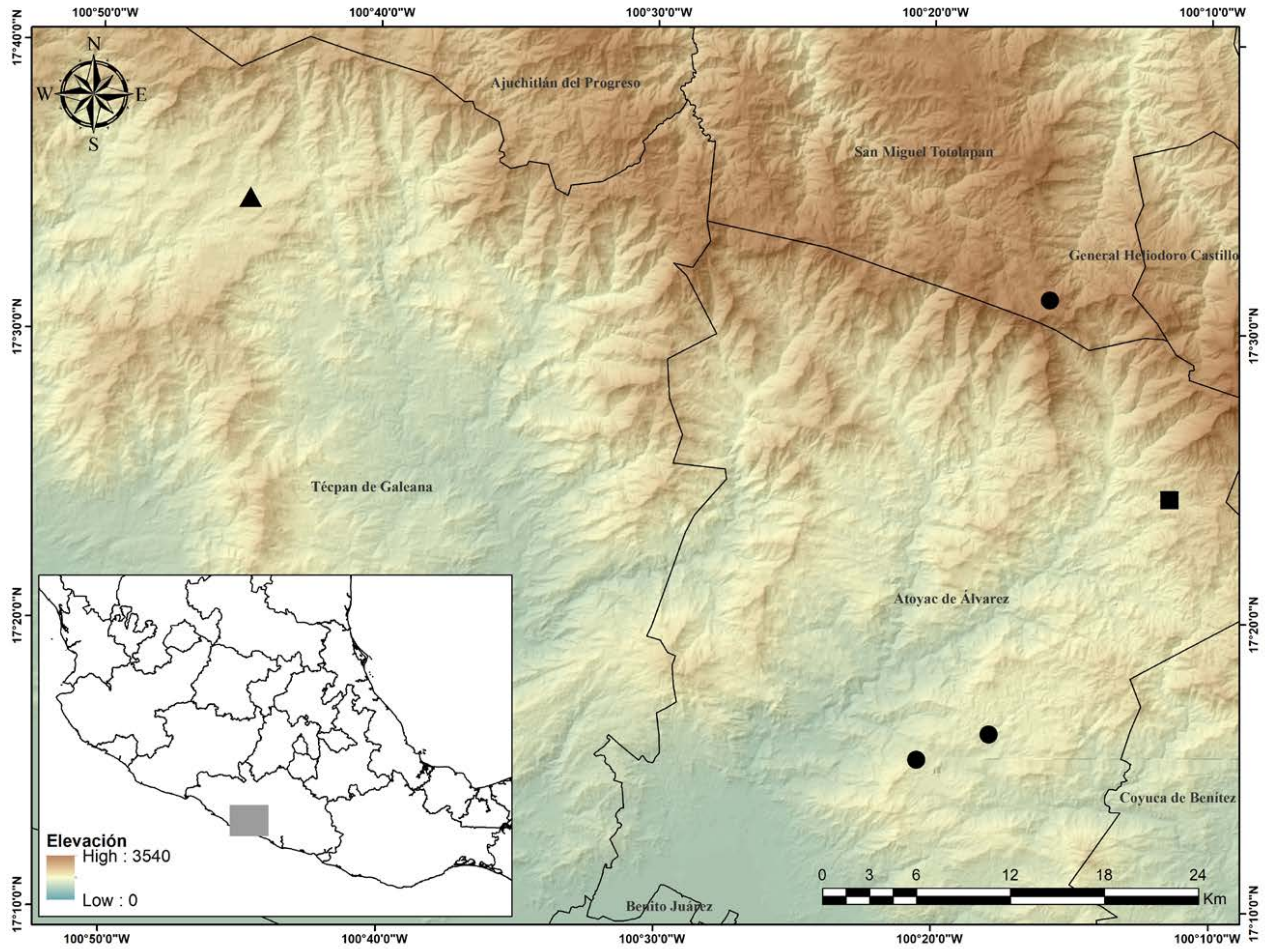


Figure 3. Distribution map of *Bolitoglossa hermosa*. The circles represent previously known localities, the square corresponds to specimen UTADC-9539 and the triangle to specimen UTADC-9540. Elaboration: Edén Ángeles Castro.

Figura 3. Mapa de distribución de *Bolitoglossa hermosa*. Los círculos representan las localidades previamente conocidas, el cuadrado corresponde al ejemplar UTADC-9539 y el triángulo al ejemplar UTADC-9540. Elaboración: Edén Ángeles Castro.

two new species from Oaxaca (Mexico). *Journal of Herpetology* 36:356-366.

Parra-Olea, G., M. García-París & 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.

Wake, D.B. & P. Elias. 1983. New genera and a new species of Central American salamanders, with a review of the tropical genera (Amphibia, Caudata, Plethodontidae). *Los Angeles County Museum Contributions in Science* 345:1-19.



NUEVOS REGISTROS EN LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE *OPHRYACUS SMARAGDINUS* (GRÜNWARD, JONES, FRANZ-CHÁVEZ Y AHUMADA-CARRILLO, 2015) (VIPERIDAE) EN LA REGIÓN DE LAS ALTAS MONTAÑAS, VERACRUZ, MÉXICO

NEW RECORDS ON THE GEOGRAPHIC DISTRIBUTION OF *OPHRYACUS SMARAGDINUS* (GRÜNWARD, JONES, FRANZ-CHÁVEZ Y AHUMADA-CARRILLO, 2015) (VIPERIDAE) IN THE REGION OF THE HIGH MOUNTAINS, VERACRUZ, MEXICO

JORGE LUIS CASTILLO JUÁREZ¹, ÁNGEL IVÁN CONTRERAS CALVARIO^{1*}, LAURA PAMELA TAVALL VELAZQUEZ² Y MAURICIO SÁNCHEZ EUGENIO³

¹Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, camino viejo Peñuela-Amatlán de los Reyes. S/n., Mpio. Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. CP: 94945.

²Fortín de las flores, Colonia San José, México, Veracruz, CP: 94470.

³Grupo Ecologista Explorador de Chocaman (GEECH), Chocaman, Veracruz, México, CP: 94160.

*Correspondence: acontrerascalvario@gmail.com

Este trabajo presenta los primeros registros de *Ophryacus smaragdinus* en la región de las Altas Montañas (Fig.1) , previamente Grünwald et al., 2015 mencionan dos localidades que pertenecen al estado de Veracruz cerca de la región Capital y en la región Huasteca baja, en donde se encuentra la localidad tipo, de igual forma se resalta su distribución restringida para el noreste de Veracruz, desde Huayacocotla hacia el sureste, a través del borde este de la sierra madre oriental, pasando por

el centro-este de Hidalgo, noreste de Puebla y el centro-oeste de Veracruz. Se menciona la presencia de la especie para sitios cercanos a los municipios de San Andrés Tenejapa y Tequila solo como comunicados personales, sin embargo no existen registros formales publicados para la región montañosa , posteriormente Martínez-Vaca et al., (2016) atribuyen cinco nuevos registros municipales para Veracruz y proponen un modelo de distribución potencial en donde nuestros nuevos registros coinciden con dicho modelo, los ejemplares aquí reportados fueron fotografiados, y las fotografías ingresadas a la Colección Nacional de Anfibios y Reptiles (CNAR).

LOCALIDADES

México: Veracruz: Municipio de Huatusco (19° 07' 40.5"N, 97°01' 24.8"O; Datum WGS 84; Elev. 1495 m.) Febrero del 2016. Un ejemplar cría (Fig.2 A (IBH-RF 532) y B.) fue encontrado cruzando una carretera de terracería cerca de las 9:00 horas, la vegetación presente en la zona es bosque mesófilo de montaña en donde sobresale una zona de vegetación riparia, en donde abunda *Platanus mexicana* Moric y vegetación secundaria.

México: Veracruz: Municipio de Nogales, (18°49'58.50"N, 97°11'21.48"O; Datum WGS 84; Elev. 1940 m.) 2 de agosto 2018. Cerca de las 14:00 horas se observó un individuo cría (Fig.3 A (IBH-RF 533) y B.) desplazándose a la orilla de un camino angosto de terracería, el tipo de vegetación del sitio es bosque mesófilo de montaña y vegetación secundaria.

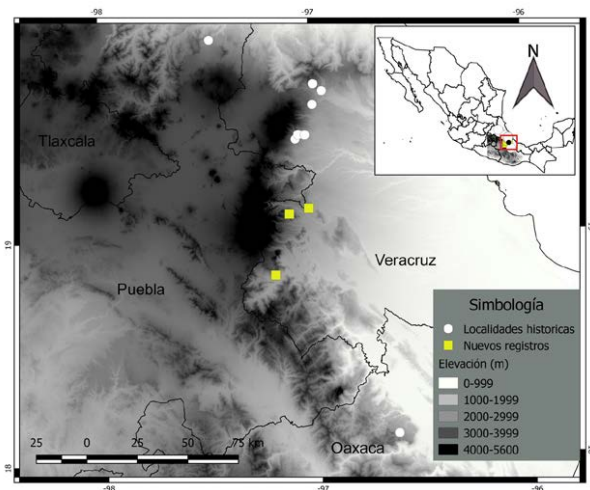


Figure 1. Distribution map of *O. smaragdinus* with historical and new locations.

Figura 1. Mapa de distribución de *O. smaragdinus* con localidades históricas y nuevas.



Figure 2. A) Dorsal view of *O. smaragdinus* municipality of Huatusco, Veracruz. B) Approach to appreciate scail detail. Photography: Mauricio Sánchez Eugenio.

Figura 2. A) Vista dorsal de *O. smaragdinus*, municipio de Huatusco, Veracruz. B) Acercamiento para apreciar detalles de escamación. Fotografías: Mauricio Sánchez Eugenio.



Figure 3. A) Dorsal view of *O. smaragdinus* municipality of Nogales, Veracruz. B) Approach to appreciate scail detail. Photography: Ángel Iván Contreras Calvario.

Figura 3. A) Vista dorsal de *O. smaragdinus*, municipio de Nogales, Veracruz. B) Acercamiento para apreciar detalles de escamación. Fotografías: Ángel Iván Contreras Calvario.

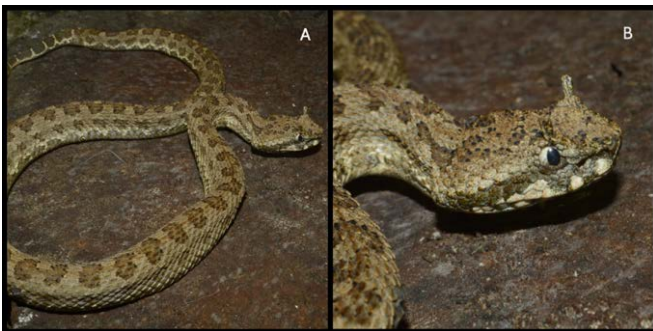


Figure 4. A) Dorsal view of *O. smaragdinus* municipality of Alpatlahuac, Veracruz. B) Approach to appreciate scail detail. Photography: Jorge Luis Castillo Juárez.

Figura 4. A) Vista dorsal de *O. smaragdinus*, municipio de Alpatlahuac, Veracruz. B) Acercamiento para apreciar detalles de escamación. Fotografías: Jorge Luis Castillo Juárez.

México: Veracruz: Municipio de Alpatlahuac, (19° 6'10.75"N, 97° 6'23.45"O; Datum WGS 84; Elev. 1915 m.) 25 de Agosto 2018. Cerca de las 13:00 horas se observó un individuo juvenil (Fig. 4 A (IBH-RF 534) y B.) asoleándose cerca de un cuerpo de agua, el tipo de vegetación de la zona es bosque mesófilo de montaña y vegetación secundaria. Los registros de *O. smaragdinus* que fueron previamente reportados según la literatura los añadimos a una tabla en donde presentamos nuestras nuevas localidades para la distribución de la especie (Tabla 1).

Table 1. Historical and new records in the distribution of *Ophryacus smaragdinus*.

Table 1. Registros históricos y nuevos en la distribución de *Ophryacus smaragdinus*.

Registros	Lat (N)	Lon (W)	Localidad
Históricos	20.3149	-98.2296	Tenango de doria, Hidalgo
Históricos	18.1081	-96.6339	San José Tenango, Oaxaca
Históricos	19.8957	-97.4717	Tlatlauquitepec, Puebla
Históricos	19.4395	-97.0780	Xico, Veracruz
Históricos	20.6557	-98.4248	Huayacocotla, Veracruz
Históricos	19.4598	-97.0633	Xico viejo, Veracruz
Históricos	19.4576	-97.0318	Micoxtla, Veracruz
Históricos	19.6532	-96.9465	Coacoatzintla, Veracruz
Históricos	19.6858	-96.9863	Etlantepec, Veracruz
Históricos	19.5924	-96.9925	San Miguel del soldado
Nuevos	18.8329	-97.1893	Nogales, Veracruz
Nuevos	19.1029	-97.0898	Alpatlahuac, Veracruz
Nuevos	19.1279	-97.0235	Huatusco, Veracruz

Nuestra contribución aporta tres nuevos registros que sumados a los anteriormente mencionados, da como resultado diez municipios en los que se distribuye *Ophryacus smaragdinus* para el estado de Veracruz, se amplía la distribución de la especie 72 km en línea recta desde el punto más cercano conocido (Xico, Veracruz), hacia el más sureño aportado en este trabajo (Nogales, Veracruz). Se reporta la presencia de la especie en el Parque Nacional Cañón del Río Blanco, el cual representa el único refugio natural en Veracruz, ya que el municipio de Nogales se encuentra dentro del polígono de dicha ANP. Consideramos que al tratarse de una especie recientemente descrita, la poca información sobre su historia natural y que según Grünwald et al., 2015 está catalogada por medio de EVS como en “alta vulnerabilidad”, nuestros aportes contribuyen al conocimiento

de dicha especie y por esto se deben plantear futuras estrategias para su conservación y proponer acciones inmediatas para evitar el deterioro de sus hábitats.

LITERATURA CITADA

Grünwald, C.I., J.M. Jones, H. Franz-Chávez & I. Ahumada-Carrillo. 2015. A new species of *Ophryacus* (Serpentes: Viperidae: Crotalinae) from eastern Mexico, with comments on the

taxonomy of related pitvipers. *Mesoamerican Herpetology* 2: 388-416.

Martínez-Vaca León, O. I., E.A. Bello-Sánchez & J.E. Morales-Mávil. 2016. New distributional records of the Emerald Horned Pitviper *Ophryacus smaragdinus*, in central Veracruz. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 32(3):393-397.



KINOSTERNON INTEGRUM (KINOSTERNIDAE)

FABIO G. CUPUL-MAGAÑA^{1*}, ARMANDO H. ESCOBEDO-GALVÁN¹ Y MARCO ANTONIO LÓPEZ-LUNA²

¹Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara, Av. Universidad 203, Delegación Ixtapa, Puerto Vallarta, Jalisco, 48280, México.

²División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carr. Villahermosa-Cárdenas km 0.5, Villahermosa, Tabasco, 86039, México.

*Correspondence: fabiocupul@gmail.com

México: Jalisco: Municipio de Puerto Vallarta: Puerto Vallarta: Fraccionamiento Parques Universidad (20.68020 N, -105.21910 W, datum WGS 84, elev. 6 m). 31 de julio 2019. Un macho adulto (longitud del caparazón de 13.5 cm) fotografiado por el primer autor próximo a un arroyo en el área urbana de Puerto Vallarta (Fig. 1). Este es el registro más noroccidental de la especie para la costa de Jalisco (Casas-Andreu, 1972; Turtle Taxonomy Working Group, 2017). Se encuentra a 12.5 km lineales al sur de una localidad del municipio nayarita de Bahía de Banderas, ubicada a 3 km al suroeste de San Juan de Abajo, 3 km al este del Valle de Banderas y 3 km al noreste de San José de Valle [información obtenida de los ejemplares depositados en la colección del National Museum of Natural History, Washington, D.C., USNM 238066 (29 de febrero de 1976) y USNM 238067 (2 de marzo de

1976); VertNet (2019 a, b)], así como a 42 km lineales al noreste de El Tuito, Jalisco [información obtenida del ejemplar depositado en la Colección Nacional de Anfibio y Reptiles (CNAR) del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), IBUNAM CNAR 2680 (1975); Integrated Digitalized Biocollections (2019)]. La información sobre la distribución de la especie para esta región de Jalisco es relevante, ya que en el trabajo de las tortugas de México de Legler & Vogt (2013) y en la lista anotada de las tortugas del mundo del Turtle Taxonomy Working Group (2017), no se documentan o se omiten localidades para la planicie costera del estado. Una fotografía del ejemplar se depositó en la CNAR del Instituto de Biología de la UNAM (voucher fotográfico IBH RF-562). La identificación se realizó con base en la descripción de Legler & Vogt (2013) y fue corroborada por Gabriel Barrios Quiroz (Centro de Investigación y Experimentación en Alternativas Agroecológicas S. C.).

Agradecimientos.— A Gabriel Barrios Quiroz, Centro de Investigación y Experimentación en Alternativas Agroecológicas S. C., por la verificación de la identificación de los ejemplares. A Adriana J. González Hernández, CNAR del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, por su apoyo en la asignación de número de catálogo del voucher fotográfico. A los revisores por sus comentarios.

LITERATURA CITADA

Casas-Andreu, G. 1972. Anfibios y reptiles de la costa suroeste del estado de Jalisco, con aspectos sobre su ecología y biogeografía. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Integrated Digitalized Biocollections, 2019. Specimen Record: *Kinosternon integrum*. <https://www.idigbio.org/portal/records/793ea8d7-c4ab-4799-a639-204c3baf5c51> [Consultado en Agosto 2019]

Legler, J.M. & R.C. Vogt. 2013. The turtles of Mexico: Land and freshwater forms. University of California Press, Berkeley, USA.

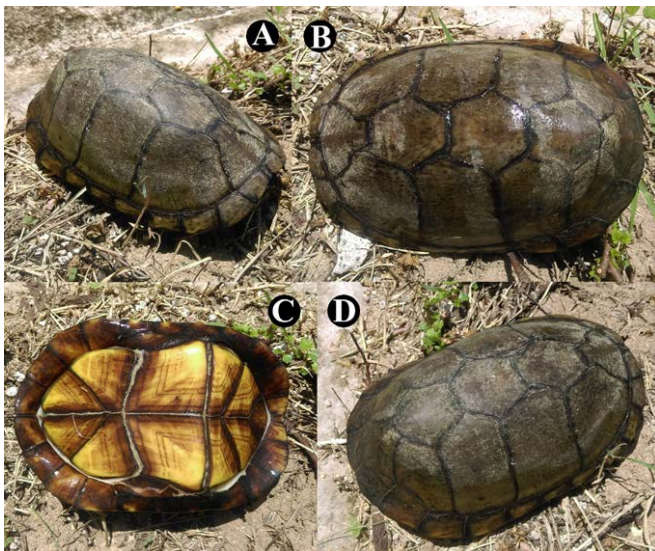


Figure 1. Specimen of *Kinosternon integrum* observed in Puerto Vallarta, Jalisco (photographic voucher: IBH RF-562). A) Right anterolateral view. B) Dorsal view. C) Ventral view. D) Right posterolateral view. Photographies: Fabio G. Cupul-Magaña.

Figura 1. Ejemplar de *Kinosternon integrum* observado en Puerto Vallarta, Jalisco (voucher fotográfico: IBH RF-562). A) Vista anterolateral derecha. B) Vista dorsal. C) Vista ventral. D) Vista posterolateral derecha. Fotos: Fabio G. Cupul-Magaña.

- Turtle Taxonomy Working Group [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.). En A.G.J. Rhodin, 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. Chelonian Research Monographs 7:1-292.
- VertNet. 2019a. USNM Amphibians & Reptiles 238066 *Kinosternon integrum*. <http://portal.vertnet.org/o/usnm/amphibians-reptiles?id=http-n2t-net-ark-65665-3be20a829-ef94-47a1-a12e-93eb72e1816e> [Consultado en Agosto 2019]
- VertNet. 2019b. USNM Amphibians & Reptiles 238067 *Kinosternon integrum*. <http://portal.vertnet.org/o/usnm/amphibians-reptiles?id=http-n2t-net-ark-65665-3f2e64fe8-64c9-4ea6-b404-3776902e9929> [Consultado en Agosto 2019]



PLESTIODON PARVIAURICULATUS (SQUAMATA: SCINCIDAE)

JESÚS A. LOC-BARRAGÁN^{1*}, CHRISTOPH I. GRÜNWARDL^{1,2}, URI O. GARCÍA-VÁZQUEZ³, AND CARLOS J. PAVÓN-VAZQUEZ⁴

¹Biodiversa, Comité Nacional para la Conservación de Ecosistemas Mexicanos A.C. Avenida de la Ribera #203, C.P. 45900, Chapala, Jalisco, México.

²Herpetological Conservation International - Mesoamerica Division, 450 Jolina Way, Encinitas, California 92024, United States.

³Laboratorio de Sistemática Molecular, Unidad de Investigación Multidisciplinaria 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, Ciudad de México, México.

⁴Division of Ecology and Evolution, Research School of Biology, Australian National University, Canberra, ACT 2601, Australia.

*Correspondence: biolocbarragan@gmail.com

Mexico: Nayarit: Municipality of El Nayar, on Federal Road 44 (Ruiz, Nayarit-Fresnillo, Zacatecas), 2.3 km south of the Zacatecas border and 2.5 km south of the Durango border (22.381564°N, 104.348159°W; WGS84; 2244 m elevation), 30 June 2018. This specimen (Fig. 1) represents the southeasternmost record for the species and the first record from the state of Nayarit, extending the known distribution ca. 458 km SW (airline) from the closest known locality, Rancho Madroño, Sierra Surutato, Sinaloa (McDiarmid et al. 1976). The skink was found at 13:30 h, under a piece of dry pine bark in pine-oak forest. The specimen was collected by JALB and CIG, morphologically examined for its identification through scale counts and coloration characters by CJPV and UOGV, and deposited in the Herpetological Collection of the Museo de Zoología, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México (MZFZ 3540).

LITERATURA CITADA

McDiarmid, R.W., J.F. Copp & D.E. Breedlove. 1976. Notes on the herpetofauna of western México: new records from Sinaloa and the Tres Mariás Islands. *Natural History Museum of Los Angeles County, Contributions in Science* 275:1-17



Figura 1. *Plestiodon parviauriculatus* (MZFZ 3540). Municipio de El Nayar, Nayarit, en la carretera federal 44 (Ruiz, Nayarit-Fresnillo, Zacatecas), 2.3 km al sur de la frontera de Zacatecas y 2.5 km al sur de la frontera de Durango, México. Foto por: Jesús A. Loc-Barragán.

Figure 1. *Plestiodon parviauriculatus* (MZFZ 3540). Municipality of El Nayar, Nayarit, on Federal Road 44 (Ruiz, Nayarit-Fresnillo, Zacatecas), 2.3 km south of the Zacatecas border and 2.5 km south of the Durango border, Mexico. Photo by: Jesús A. Loc-Barragán.



SONORA MOSAUERI (SQUAMATA: COLUBRIDAE)

EDITH A. NAVARRO-TIZNADO*, NORMA S. GONZÁLEZ-GUTIÉRREZ Y JORGE H. VALDEZ-VILLAVICENCIO

Conservación de Fauna del Noroeste, Ensenada, Baja California 22800, México.

*Correspondence: andrea.navarro@faunadelnoroeste.org

México: Baja California: Municipio de Ensenada: Ciudad de Ensenada (31.87552°N, 116.63223°W, WGS84, 60 m de elevación), cuatro individuos en la misma localidad: 15 de mayo de 2017, 11 de septiembre, 2 y 17 de octubre de 2018 encontrados por Nicodemo González. Un quinto ejemplar fue encontrado en Sauzal de Rodríguez, ~7 km al noroeste de la Ciudad de Ensenada (31.90051°N, 116.69699°W, WGS84 a 44 m de elevación), 3 de octubre de 2018 por Norma González-Gutiérrez. Otro ejemplar adicional fue recolectado en Cuatro Milpas, ~4.5 km al noroeste de la Ciudad de Ensenada (31.8969°N, 116.67139°W, WGS84 a 36 m de elevación), 20 de mayo de 2005, Ernesto Franco-Vizcaíno, Colección Herpetológica, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California (UABC 1398). Estos registros representan una ampliación de distribución de *S. mosaueri* 100 km al noroeste de la localidad más cercana en el Valle de la Trinidad (Grismer, 2002). Los primeros dos individuos corresponden a organismos adultos y los últimos dos a juveniles de aproximadamente 115-120 mm de LHC (Fig. 1). El quinto individuo se encontró atropellado en la acera peatonal a las 08:15 h. Las fotografías fueron depositadas en la plataforma de Naturalista (CONABIO, 2018) y verificadas por Bradford D. Hollingsworth.

Agradecimientos.— Agradecemos a Nicodemo González Moralez por mostrarnos los ejemplares que se mencionan en el primer sitio.



Figure 1. Juvenil of *Sonora mosaueri* from de City of Ensenada, Baja California, Mexico (www.naturalista.mx/observations/17138185). Photo: Jorge H. Valdez-Villavicencio.

Figura 1. Ejemplar juvenil de *Sonora mosaueri* de la Ciudad de Ensenada, Baja California, México (www.naturalista.mx/observations/17138185). Foto: Jorge H. Valdez-Villavicencio.

LITERATURA CITADA

CONABIO. 2018. Naturalista, <http://www.naturalista.mx/taxa/9662960,16445695,17138185,17166804,18965753-Sonora-semiannulata>. [Accesado el 20 de octubre de 2018].

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. Los Angeles, USA.



FIRST RECORD OF *ATRACTUS MANIZALESENSIS* PRADO, 1940 (SQUAMATA: COLUBRIDAE: DIPSADINAE) FROM THE DEPARTMENT OF ANTIOQUIA, COLOMBIA

PRIMER REGISTRO DE *ATRACTUS MANIZALESENSIS* PRADO, 1940 (SQUAMATA: COLUBRIDAE: DIPSADINAE) EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA, COLOMBIA

LUIS ENRIQUE VERA-PÉREZ

Independent researcher, carrera 8 # 2A-12, Las Quintas, La Plata, Huila, Colombia.

Correspondence: dipsadini@gmail.com

Atractus Wagler, 1828 is the most speciose genus of snakes in the world, with 143 valid species, from which 18 have been described in the course of the present decade (Uetz et al., 2019). With the exception of a single species present in Gorgona Island (*A. medusa*), this genus is confined almost entirely to

the South American mainland, extending northward only to Central Panama (Myers & Schargel, 2006; Passos et al., 2009b; Wallach et al., 2014). However, the greatest diversity of the genus occurs in the Andes, particularly in Colombia, the country with the highest diversity of *Atractus*, with 64 species recorded (40

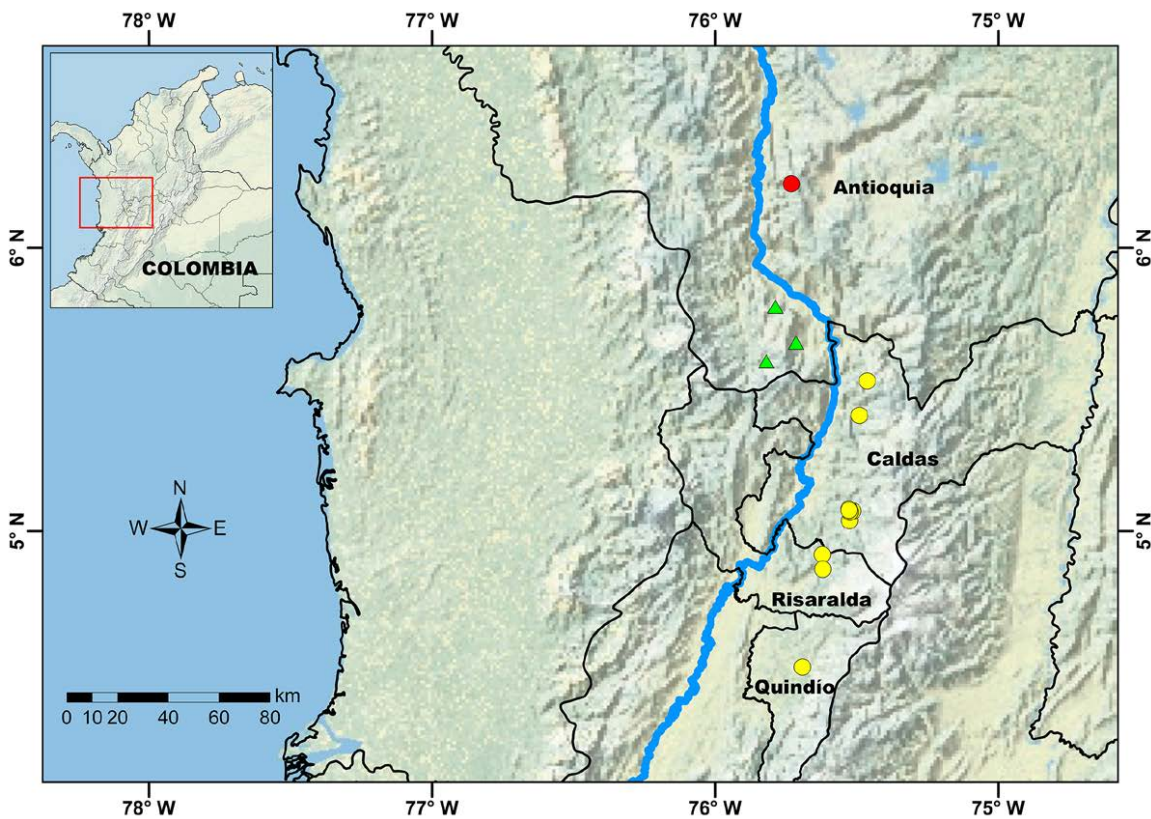


Figura 1. Distribución geográfica de *Atractus manizalesensis* (puntos) y localidades de *A. nicefori* (triángulos). Los puntos amarillos representan las localidades previamente reportadas por Passos et al. (2009a) y Rojas-Morales et al. (2017), y el punto rojo indica la nueva localidad reportada en esta nota. La línea azul representa el río Cauca.

Figure 1. Geographic distribution of *Atractus manizalesensis* (dots) and localities of *A. nicefori* (triangles). Yellow dots represent localities previously reported by Passos et al. (2009a) and Rojas-Morales et al. (2017), and the red dot indicates the new locality reported in this note. The blue line represents the Cauca river.

endemic) (Passos & Arredondo, 2009; Passos et al., 2009a, b; Passos & Lynch, 2010; Uetz et al. 2019).

One of the endemic Colombian species of *Atractus* is *A. manizalesensis*, known only from sub-Andean forests and urban and peri-urban areas of the Western flank of the Cordillera Central of Colombia, between 1500–2160 m from the municipality of Armenia, department of Quindío to Pácora, department of Caldas (Passos et al., 2009a; Rojas-Morales et al., 2017). In total, the distribution of this species only covers around 115 km in a straight line between the northern and southernmost localities. This note presents the first record of *A. manizalesensis* in the department of Antioquia, Colombia (Fig. 1).

A single individual of *Atractus manizalesensis* was captured on 22 August 2016 by LEV-P at vereda Monteadentro, municipality of Heliconia (6°13'30.2"N, 75°43'50.2"W, 1771 m). The individual was found at night while it was descending on a big rock, beside a small ravine located inside a patch of secondary forest.

The specimen (Fig. 2) was deposited in the herpetological collection of the Museo de Historia Natural, Universidad del Cauca (MHNUC-HE-Se-0694) in Popayán, Colombia, and it was verified by Gustavo González Durán, herpetologist from the Wildlife Conservation Society of Colombia. It is an adult female of snout-vent length (SVL) = 432 mm, caudal length (CL) = 45 mm, with long loreal (*sensu* Passos et al, 2007), two postoculars and 1+2 temporals. The specimen is identified as *Atractus manizalesensis* according to the diagnostic characters for females selected by Passos et al. (2009a), although it has a greater number of subcaudals (Table 1). In addition, the coloration of



Figura 2. Vista dorsal (izquierda) y ventral (derecha) de *Atractus manizalesensis* (MHNUC-HE-Se-0694) de la vereda Monteadentro, municipio de Heliconia, departamento de Antioquia, Colombia. Barra de escala = 100 mm.

Figure 2. Dorsal (left) and ventral (right) views of *Atractus manizalesensis* (MHNUC-HE-Se-0694) from vereda Monteadentro, municipality of Heliconia, department of Antioquia, Colombia. Scale bar = 100 mm.



Figura 3. Individuo de *Atractus manizalesensis* (MHNUC-HE-Se-0694) tras su captura en la vereda Monteadentro, municipio de Heliconia, departamento de Antioquia, Colombia.

Figure 3. Individual of *Atractus manizalesensis* (MHNUC-HE-Se-0694) upon its capture in vereda Monteadentro, municipality of Heliconia, department of Antioquia, Colombia.

specimen MHNUC-HE-Se-0694 is the same as that provided in the original description by Prado (1940), as complemented by Rojas-Morales et al. (2017): brown dorsal ground color with dark brown spots on each side of the body, yellowish labial and gular regions, and cream venter with profuse gray or black stipples that cover almost all scales to the tail (Figs. 2, 3).

In relation to its congeners distributed from the Eastern slopes of the Cordillera Occidental, the Cordillera Central and the upper and middle Magdalena drainage of Colombia, *Atractus manizalesensis* is easily differentiated from *A. andinus*, *A. apophis*, *A. atratus*, *A. attenuatus*, *A. chthonius*, *A. lehmanni*, *A. loveridgei*, *A. melanogaster*, *A. nasutus*, *A. obesus*, *A. obtusirostris*, *A. sanguineus* and *A. werneri* by having dorsal scales in 15 rows (vs. dorsal scales in 17 rows) (Boettger, 1898; Passos et al., 2009a; Passos & Lynch, 2010). From geographically related species with 15 dorsal scale rows *A. manizalesensis* differs from *A. biseriatus* and *A. paisa* mainly by having a dorsal color pattern beige to pale brown ground color with paired black dots or irregular transversal blotches (vs. dark brown ground color with cream-white transversal blotches and black ground color uniformly scattered with small cream-yellow dots, respectively), and from *A. ocolotemporalis* by having fewer number of subcaudals (14–22) and CL/SVL ratio (8–10.5) in females (vs. 27 and 11.4, respectively) and two postoculars (vs. postoculars absent) (Amaral, 1932; Passos et al., 2009a).

Tabla 1. Comparación de varios caracteres de diagnóstico de *Atractus manizalesensis* resumidos por Passos et al. (2009a), y valores del espécimen MHNUC-HE-Se-0694. La barra oblicua separa el recuento de los lados derecho/izquierdo.

Table 1. Comparison of several diagnostic characters from *Atractus manizalesensis* summarized by Passos et al. (2009a), and values from specimen MHNUC-HE-Se-0694. Oblique bar separates count of the right/left sides.

Sex	Passos et al. (2009a)		MHNUC-HE-Se-0694
	Males (n=8)	Females (n=16)	Female
Dorsal scale rows		15	15
Ventrals	139-145	143-154	146
Subcaudals	17-23	14-22	25
Supralabials	7-8		7
Infralabials	7-8		7/8
Maxillary teeth	9-11		9
CL/SVL ratio	10.5-15.9	8-10.5	10.4

Atractus manizalesensis is more similar to *A. nicefori*, as the diagnostic characters of both species completely overlap for the case of females, while males only differ in the number of subcaudal scales (Passos et al., 2009a). Thus, the specimen MHNUC-HE-Se-0694 could be identified as *A. nicefori* because the number of subcaudals is within the range of that species (19–26 in females). However, *A. nicefori* has a gray belly profusely spotted with pinkish-yellow (Amaral, 1930), while the belly of *A. manizalesensis* is creamish white to yellow background with profuse dark spots (Prado, 1940; Rojas-Morales et al., 2017). In addition, the distribution of both species is isolated by the inter-Andean depression between the Cordillera Occidental and Cordillera Central drained by Cauca river (Fig. 1). All locality records for geographically close congeners (Marx, 1960; Myers & Schargel, 2006; Passos et al., 2009a; Vanegas-Guerrero et al., 2014) show that the Valley and middle Cauca river drainage could be a potential geographic barrier for those species too: *A. andinus*, *A. loveridgei*, *A. obesus* and *A. oculotemporalis* are restricted to Cordillera Occidental; in contrast with *A. attenuatus*, *A. biseriatus*, *A. nasutus*, *A. paisa*, *A. sanguineus* and *A. titanicus*, which are distributed in the Cordillera Central.

Finally, the record of *Atractus manizalesensis* presented herein extends the known range of the subcaudal scales for females of this species, and represents the first record in the department of Antioquia extending its geographical distribution northwards in around 82 km in a straight line from the municipality of Pácora,

department of Caldas. This finding also implies a positive impact for the conservation of *A. manizalesensis*, specially by the less impact of human activities observed at the new locality and surrounding area, since the species is apparently vulnerable among the previously known localities due to the habitat destruction, roadkill and direct killing by humans (Rojas-Morales, 2012; Rojas-Morales et al., 2017).

Acknowledgments.— Thanks go to Andrés Felipe Liévano Bonilla from the herpetological collection of MHNUC and Gustavo González Durán for the unconditional support they have given to me. To Juan Pablo Ramírez and Juana Parada Sierra for reading the manuscript and providing valuable suggestions. Special thanks to Juan Ricardo Olmos for including me in the field work from which the species was found. The specimen MHNUC-HE-Se-0694 was collected under the project “Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca hidrográfica de los directos río Cauca – río Amagá, quebrada Sinifaná (cód. 2620-01), localizada en el departamento de Antioquia”, contract number CN-1512-252 of 2015 signed by CORANTIOQUIA and CPA Ingeniería S.A.S.

CITED LITERATURE

- Amaral, A. 1930. Studies of Neotropical Ophidia. XVI. Two new snakes from Central Colombia. Bulletin of Antivenin Institute of America 4:27-28.
- Amaral, A. 1932. Studies of Neotropical Ophidia. XXVII. On two small collections of snakes from Central Colombia. Bulletin of Antivenin Institute of America 5:66-68.
- Boettger, O. 1898. Katalog der Reptilien-Sammlung in Museum der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft in Frankfurt am Main. II Teil (Schlangen). Gebrüder Knauer, Frankfurt, Germany.
- Marx, H. 1960. A new colubrid snake of the genus *Atractus*. Fieldiana. Zoology 39:411-413.
- Myers, C.W. & E.S. Schargel. 2006. Morphological Extremes—Two New Snakes of the Genus *Atractus* from Northwestern South America (Colubridae: Dipsadinae). American Museum Novitates 3532:1-13.
- Passos, P., D.F. Cisneros-Heredia & D. Salazar-V. 2007. Rediscovery and redescription of the rare Andean snake *Atractus modestus*. Herpetological Journal 17:1-6.

- Passos, P. & J.C. Arredondo. 2009. Rediscovery and redescription of the Andean earth-snake *Atractus wagleri* (Reptilia: Serpentes: Colubridae). *Zootaxa* 1969:59-68.
- Passos, P., J.C. Arredondo, R. Fernandes & J.D. Lynch. 2009a. Three New *Atractus* (Serpentes: Dipsadidae) from the Andes of Colombia. *Copeia* 3:425-436.
- Passos, P., J.J. Mueses-Cisneros, J.D. Lynch & R. Fernandes. 2009b. Pacific lowland snakes of the genus *Atractus* (Serpentes: Dipsadidae), with description of three new species. *Zootaxa* 2293:1-34.
- Passos, P. & J.D. Lynch. 2010. Revision of *Atractus* (Serpentes: Dipsadidae) from middle and upper Magdalena drainage of Colombia. *Herpetological Monographs* 24:149-173.
- Prado, A. 1940. Notas ofiologicas 4. Cinco especies novas de serpentes colombianas do genero *Atractus* Wagler. *Memorias do Instituto Butantan* 13:15-19.
- Rojas-Morales, J.A. 2012. Snakes of an urban-rural landscape in the central Andes of Colombia: species composition, distribution, and natural history. *Phyllomedusa* 11(2):135-154.
- Rojas-Morales, J.A., G.A. González-Durán & M.C. Basto-Riascos. 2017. *Atractus manizalesensis* Prado 1940. *Catálogo de Anfibios y Reptiles de Colombia* 3:37-42.
- Uetz, P., P. Freed & J. Hosek (Eds.). 2019. The Reptile Database. <http://www.reptile-database.org>, [Accessed on 02 March 2020].
- Vanegas-Guerrero, J., J.C. Mantilla-Castaño & P. Passos. 2014. *Atractus titanicus* Passos, Arredondo, Fernandes & Lynch, 2009 (Serpentes: Dipsadidae): Filling gaps in its geographical distribution. *Check List* 10(3):672-673.
- Wallach, V., K.L. Williams & J. Boundy. 2014. *Snakes of the World: A Catalogue of Living and Extinct Species*. Taylor and Francis Group, CRC Press., Boca Raton, Florida, USA.



LA COLECCIÓN DE SONIDOS DE ANUROS DEL MUSEO DE ZOOLOGÍA "ALFONSO L. HERRERA" DE LA FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

Tania Verónica Zamudio-Torres*, Diana Laura Fuentes-de la Rosa y Samantha Ordóñez-Flores

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

*correspondence: taniazamudio@ciencias.unam.mx

BREVE HISTORIA E IMPORTANCIA DE LAS COLECCIONES CIENTÍFICAS

La Academia de Ptolomeo y los jardines botánicos de Alejandría en el Siglo III a.n.e., son consideradas las primeras colecciones de historia natural cuyo uso era educativo. En los Siglos XVI y XVII se popularizaron los "gabinetes de curiosidades" entre la nobleza europea, sin embargo, estas colecciones eran privadas y no tenían roles científicos (Lane, 1996). El primer museo público de historia natural se fundó en París en 1635 y contenía ejemplares zoológicos, mientras que el primer museo universitario fue el de la Universidad de Oxford, fundado en 1683 (Lane, 1996). Estos y otros ejemplos conforman los cimientos de los repositorios de información biológica que existen hoy en día.

En la actualidad, las colecciones científicas de los museos e instituciones académicas contribuyen a la ciencia y la sociedad en general en diversos aspectos. Entre sus objetivos y aportaciones se encuentran: el apoyo a la salud pública, la investigación de contaminantes ambientales, aportaciones a la agricultura, las investigaciones de la pérdida de biodiversidad y hábitat, el estudio de invasiones biológicas, y la documentación de los cambios globales (Suarez & Tsutsui, 2004). En un inicio las colecciones científicas no fueron planeadas para cubrir todas estas necesidades, por lo que en algunas áreas su uso se ve limitado por la ausencia de datos o falta de información asociada a los ejemplares depositados (Pyke & Ehrlich, 2010). Otra de las limitantes en las colecciones es la falta de apoyo económico y el reducido número de expertos taxónomos que mantienen las colecciones (Kreuzer & Dreesmann, 2017).

LAS NUEVAS FORMAS DE ALMACENAR INFORMACIÓN BIOLÓGICA

Con el paso del tiempo, el formato de las colecciones se ha ido modificando paulatinamente. En el Siglo XX las colecciones adoptaron nuevos objetivos, debido a la sistematización de las colecciones (Lane, 1996). A partir del surgimiento de las primeras computadoras, en los años setentas, se comenzó a pensar en el gran potencial de la digitalización de las colecciones como solución a la limitación de almacenamiento y difusión de la información (Baker, 2011). Hoy en día, gracias a las nuevas tecnologías y la facilidad de acceso a recursos digitales, las colecciones biológicas tienen una oportunidad única de aumentar y enriquecer los datos asociados a cada uno de los ejemplares que las integran (Meineke et al., 2018). La digitalización de las colecciones promueve un trabajo interdisciplinario a la vez que acelera la capacidad de realizar investigación y brindar herramientas para responder las necesidades de la sociedad (Baker, 2011).

Las colecciones zoológicas científicas ya no sólo reciben taxidermias, restos óseos, tejidos y pieles, actualmente estos repositorios también albergan fotos y videos en alta calidad, además de archivos de audio (Toledo et al., 2015a). Algunos ejemplos de este tipo de colecciones son las del Museo de Historia Natural de Florida o la colección de vida silvestre de Australia (Ranft, 2004), que destacan por tener una colección de archivos bioacústicos de aves, anfibios, mamíferos e invertebrados. Estas nuevas herramientas brindan información que antes se perdía, como la coloración original del ejemplar, evidencia de rasgos de conducta y registro de señales acústicas (Toledo et al., 2015a).

LAS COLECCIONES CIENTÍFICAS EN MÉXICO

El registro de las primeras tres colecciones biológicas en México data de 1870, aunque no fue hasta los años ochentas cuando hubo un aumento considerable en el número de colecciones científicas. De acuerdo con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO; 2020), en México actualmente existen 747 colecciones distribuidas en 273 instituciones a lo largo de todo el país. La Ciudad de México, es el estado con mayor número de colecciones a nivel nacional.

Dentro de las colecciones que alberga el país, existen colecciones herpetológicas institucionales. Flores-Villela y Hernández (1992) reportaron un total de 18 colecciones de este tipo, mientras que los registros en línea de CONABIO (2020), enlistan 29 colecciones herpetofaunísticas. Entre ellas se encuentra la Colección de anfibios y reptiles del Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” de la Facultad de Ciencias, UNAM (MZFC). Sorprendentemente, ninguna cuenta con una colección de sonidos de anfibios.

BIBLIOTECAS DE SONIDOS EN EL MUNDO

El avance de la tecnología y la facilidad de acceso a nuevos métodos de grabación y procesamiento de datos acústicos fomentó el interés en estudiar la vida desde nuevas perspectivas. En Alemania, en 1889 se realizó la primera grabación de un ave en cautiverio; un año después en Inglaterra, se realizó la primera grabación de un ave en vida silvestre (Ranft, 2004). Poco a poco, la grabación de fauna silvestre comenzó a ser una actividad común, pero no sistemática. Aunque los objetivos de la creación de las primeras fonotecas fueron diversos, la necesidad de documentar la diversidad de sonidos naturales (incluyendo los sonidos de las especies), para asegurar su preservación fue una constante. Esto debido, parcialmente, al aumento de contaminantes en el ambiente y la introducción de maquinaria pesada que ocasionó el desplazamiento y la desaparición de sonidos característicos tanto de ecosistemas urbanos como naturales (Carson, 1962; Krause, 2002; Marler & Slabberkoorn, 2004). Fue hasta 1950, cuando la Universidad de Cornell, en Estados Unidos, comenzó a realizar grabaciones sistematizadas de sonidos de la naturaleza, lo que llevó a la fundación de la primera biblioteca de sonidos en el mundo (Ranft, 2004). Fue hasta la década de los sesenta cuando se logró atraer la atención a la importancia de los sonidos de la naturaleza y con ello se logró la consolidación de las primeras bibliotecas de sonidos (Carson, 1962; Krause, 2002; Ranft, 2004).

Desde entonces la forma en que se almacena y analiza la información ha cambiado con el paso del tiempo. Pasando de

grabaciones en cintas y discos, analizados a través del oído y espectrogramas muy básicos a un almacenamiento digital, y análisis con diversos programas computacionales (Marler & Slabberkoorn, 2004). Aunado a esto último, se desarrollaron nuevas herramientas tecnológicas para el estudio del sonido como grabadoras portátiles, micrófonos más sensibles y diferentes formas de visualizar el sonido (Marler & Slabberkoorn, 2004; Farina, 2014).

Hoy en día, las bibliotecas de sonidos a nivel mundial albergan principalmente sonidos de aves ya que se considera como el grupo vocalizador por excelencia. El acervo más grande a nivel mundial es la Biblioteca de Sonidos de la Naturaleza de Macaulay de la Universidad de Cornell, Estados Unidos, ésta cuenta con alrededor de 660 000 grabaciones (Ranft, 2004). Otras fonotecas que destacan a nivel mundial son: el Archivo de Sonidos de la Naturaleza de la Universidad de Humboldt en Alemania, con 120 000 grabaciones; la Biblioteca Británica de Archivos de Sonidos, en Reino Unido con 90 000 y la Fonoteca Zoológica en España con 55 000 grabaciones. (British Library Sounds, 2020; Cornell Lab of Ornithology, 2020; FonoZoo, 2020; Museum Für Naturkunde, 2020).

LOS CANTOS DE LOS ANUROS

Para poner en contexto a la presente colección de sonidos hablaremos sobre los cantos que emiten los anuros de manera general. Casi cada especie de anuro cuenta con un repertorio de cantos distintos y las hembras optan consistentemente por los cantos de individuos conespecíficos (Wells, 2007). Aunque también existen señales químicas y visuales, su principal modo de comunicación son los cantos. En los tetrápodos las señales acústicas evolucionaron permitiendo la comunicación en la noche cuando las señales visuales son menos efectivas (Dreher & Pröhl, 2014; Chen & Wiens, 2020), siendo la ausencia de luz uno de los factores de selección más importantes para la evolución de las vocalizaciones en anuros (Vitt & Caldwell, 2014). Éstas se clasifican dependiendo del contexto de comportamiento y existen diferentes clasificaciones (Gerhardt, 1994; Duellman & Trueb, 1994; Wells, 2007; Vitt & Caldwell, 2014; Köhler et al., 2017), sin embargo, existe ambigüedad en los términos para referirse a un mismo tipo de canto. Por lo que en un esfuerzo para estandarizar la nomenclatura Toledo y colaboradores (2015b) sugirieron la siguiente clasificación con tres categorías generales y 13 subcategorías. Cantos reproductivos que incluyen a los cantos de anuncio, de cortejo, de liberación, amplexantes, post-oviposición, liberación del macho y de lluvia. Cantos agresivos que incluyen los cantos territoriales, de encuentro, de pelea y de desplazamiento. Y los cantos defensivos con las subcategorías de alarma, de socorro y de peligro.

LA IMPORTANCIA DE GRABAR LOS CANTOS

Los anfibios tienen una alta sensibilidad a los cambios antropogénicos (Vallan, 2002; Blaustein et al., 2011), esta cualidad los hace buenos indicadores de cambios ambientales como deforestación, fragmentación del hábitat y enfermedades emergentes, entre otros (Priambodo et al., 2019). El registro, almacenamiento y curación de sonidos de anfibios es esencial, pues dichas grabaciones pueden ser útiles para estudios futuros de comunicación, comportamiento, historia natural, monitoreos de poblaciones, taxonomía, evolución y conservación de especies (Dena et al., 2019), entre otros (Tabla 1). Dependiendo del tipo de grabación que se realice (directa/ambiental) se obtiene información diferente. Por ejemplo, si es directa puede aislarse el canto de un solo individuo, y si es ambiental se graban todos los cantos y sonidos ambientales que alcance a detectar la grabadora. Por este motivo, las grabaciones ambientales

también pueden contener información sobre la población y las condiciones ambientales de ese momento ya que muchas veces se obtienen durante coros o bien se puede percibir el ruido de fondo (Dena et al., 2019).

El potencial de investigación puede empatarse con la diversidad del país. México es considerado el séptimo país con más especies de anfibios del mundo con más 400 especies (Frost, 2019; AmphibiaWeb, 2020). El orden Anura está representado por 246 especies, de las cuales el 60.56% son endémicas al país (AmphibiaWeb, 2020). Por ello, México es un país clave para la generación de nuevo conocimiento sobre el grupo. Desafortunadamente, mucha de esta información no es catalogada ni depositada en un repositorio. Esto se debe entre otras razones, a la pérdida de grabaciones, falta de tiempo para rellenar fichas de depósito, desconocimiento de cómo depositar sus archivos en las fonotecas, desconfianza en los repositorios

Table 1. Examples of articles that can be done with acoustic data from anurans.

Tabla 1. Ejemplos de trabajos con anuros que pueden realizarse con datos acústicos.

Área de conocimiento	Objetivo del estudio	Ejemplo	Literatura similar
Sistemática	Descripción del repertorio vocal	Figuroa-Huitrón (2015) reportó las características físicas de los cantos de anuncio de 15 especies de anuros.	Cocroft et al., 1995; Han et al., 2011;
	Descripción de nuevas especies con datos acústicos y genéticos	Köhler y colaboradores (2017) utilizaron datos bioacústicos y análisis de DNA, para discernir entre especies simpátricas con ayuda de las diferencias entre sus cantos de advertencia.	Channing et al., 2013; Gingras et al., 2013; Forti et al., 2017.
Biogeografía	Descripción de variación geográfica de cantos	Amézquita y colaboradores (2009) estudiaron la variación geográfica en <i>Allobates femoralis</i> utilizando diferentes acercamientos: genético, acústico y morfológico.	Gergus et al., 2004; Bernal et al., 2005; Baraquet et al., 2014; Castellano & Giacoma, 2000.
Ecología	Descripción de patrones temporales del canto y su relación con factores ambientales	Bridges y Dorcas (2000) observaron la variación temporal en la actividad de los cantos de anuros y sus variaciones. Por otra parte, exploraron la relación entre factores ambientales y sus patrones de actividad.	Berry, 1964; Saenz et al., 2006; Kopp & Eterovick, 2006; Canavero & Arim 2009; Schalk & Saenz, 2016; Fuentes-de la Rosa, 2019;
Conservación	Monitorear la actividad de anuros en el espacio y tiempo	Alvarez-Berrios y colaboradores (2016) estudiaron el impacto de minería a pequeña escala en Perú utilizando grabaciones ambientales de sitios perturbados y sitios conservados para comparar la actividad acústica entre sitios. Utilizaron tanto aves como anuros como indicadores de perturbación.	Pellet & Schmidt, 2005; Weir et al., 2014; Grenat et al., 2019; Ordoñez-Flores, 2019.
Evolución	Evidenciar procesos de especiación	Chen y Wiens (2020) analizan el origen de la comunicación acústica en vertebrados e identifican los principales eventos de especiación de este carácter a lo largo de la historia evolutiva.	Castellano et al., 2002; Ey & Fischer, 2009; Wilkins et al., 2013.
Comportamiento	Comunicación acústica y rasgos del comportamiento	Dreher y Pröhl (2014) describen los mecanismos de selección sexual en la familia Dendrobatidae y cómo los cantos parecen ser más atractivos que los colores en <i>Oophaga pumilio</i> .	Bee, 2004; Arch & Naris, 2009; Furtado, 2017.

(Dena et al., 2019) o ausencia de colecciones de sonidos como es el caso en México.

LA PRIMERA BIBLIOTECA DE CANTOS DE ANUROS DE MÉXICO

En México solamente existen alrededor de diez bibliotecas de sonidos, todas ellas especializadas en aves y mamíferos marinos (Bazúa-Durán, 2004). Con éstas se ha comprobado la utilidad repositorios virtuales ya que han logrado documentar la diversidad acústica de las aves del país. Por ejemplo, la Biblioteca de Sonidos de Aves de México del Instituto Nacional de Ecología tiene un acervo de 83 especies en 89 grabaciones (INECOL, 2020), mientras que la Biblioteca de Sonidos de Aves del MZFC ha logrado documentar 300 especies en 2 500 grabaciones (Biblioteca de Sonidos de Aves, 2020). El objetivo general de la Fonoteca de Anfibios del MZFC es complementar el conocimiento científico del grupo por medio de la recopilación y curación de material audiovisual. Además, buscamos fomentar el interés en conservar la biodiversidad de anuros de México, promoviendo la documentación de este grupo desde nuevas perspectivas. De igual manera, se está sistematizando la información de tal forma que sea de fácil acceso tanto para la comunidad científica como para el público en general. Con la primera fonoteca de anfibios en el país esperamos generar interés en el estudio de la bioacústica de este grupo en México.

Consideramos que la creación de una biblioteca de sonidos de anfibios de México es de suma importancia para el país; para potenciar el conocimiento de los anfibios mexicanos en diferentes áreas como la etología, biogeografía, sistemática, ecología y conservación, entre otras. Para ello, el laboratorio de herpetología del Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México creó la primera biblioteca de sonidos de anfibios mexicanos. Hasta ahora, la fonoteca alberga 15 000 grabaciones ambientales, de las cuales se han analizado 2 700 (18%). La mayoría de ellas provenientes de grabadoras automatizadas localizadas en la comunidad de Nahá, Chiapas. Además, se cuenta con 500 grabaciones directas ya identificadas, aún sin catalogar. Las grabaciones fueron revisadas y depuradas para la identificación de especies presentes en ellas. Primero se identificaron manualmente archivos repetidos. Posteriormente se creó una base de datos con los metadatos de cada archivo y se procedió al análisis de las grabaciones. Para esto se utilizó el software RavenPro 1.6.1 con el cual se etiquetaron las especies de anuros en 2 700 grabaciones ambientales. Por último, se llevó a cabo el diseño y creación de la página web.

Table 2. Current list of anuran species deposited in The Sound Collection of The Museum of Zoology “Alfonso L. Herrera” of the Faculty of Science. IUCN status (IUCN, 2020); CR: Critically endangered; LC: Least concern; NE: Not evaluated; NT: Near threatened; VU: Vulnerable. National status NOM-059-SEMARNAT-2010: E: Probably extinct in the wild; P: In danger of extinction; A: Threatened; Pr: Subject to special protection; N: Not included.

Tabla 2. Lista de especies de anuros presentes en la Colección de Sonidos del Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” de la Facultad de Ciencias. Estatus IUCN (IUCN, 2020); CR: Criticamente amenazado; LC: Preocupación menor; NE: No evaluado; NT: Casi amenazado; VU: Vulnerable. Estatus nacional NOM-059-SEMARNAT-2010; E: Probablemente extinta en el medio silvestre; P: En peligro de Extinción; A: Amenazadas; Pr: Sujetas a protección especial; N: No incluidas.

Familia/Especie	Estatus IUCN	Estatus NOM-059
Bufonidae		
<i>Incilius valliceps</i> (Wiegmann, 1833)	LC	N
<i>Rhinella horribilis</i> (Wiegmann, 1833)	LC	N
Centrolenidae		
<i>Hyalinobatrachium fleischmanni</i> (Boettger, 1893)	LC	N
Craugastoridae		
<i>Craugastor alfredi</i> (Boulenger, 1898)	VU	N
<i>Craugastor laticeps</i> (Duméril, 1853)	NT	Pr
<i>Craugastor loki</i> (Shannon & Werler, 1955)	LC	N
Eleutherodactylidae		
<i>Eleutherodactylus grandis</i> (Dixon, 1957)	CR	Pr
<i>Eleutherodactylus pipilans</i> (Taylor, 1940)	LC	
Hylidae		
<i>Dendropsophus ebraccatus</i> (Cope, 1874)	LC	N
<i>Dendropsophus microcephalus</i> (Cope, 1886)	LC	N
<i>Plectrohyla matudai</i> (Hartweg, 1941)	LC	N
<i>Ptychohyla macrotympanum</i> (Tanner, 1957)	CR	N
<i>Quilticohyla zoque</i> (Canseco-Márquez, Aguilar-López, Luría-Manzano, Pineda-Arredondo, & Caviedes-Solis, 2017)	NE	N
<i>Scinax staufferi</i> (Cope, 1865)	LC	N
<i>Smilisca cyanosticta</i> (Smith, 1953)	NT	N
<i>Tripurion spinosus</i> (Steindachner, 1864)	LC	N
<i>Tlalocohyla laquax</i> (Gauge & Stuart, 1934)	LC	N
<i>Tlalocohyla picta</i> (Günther, 1901)	LC	N
Leptodactylidae		
<i>Leptodactylus melanonotus</i> (Hallowell, 1861)	LC	N
<i>Leptodactylus fragilis</i> (Brocchi, 1877)	LC	N
Microhylidae		
<i>Gastrophryne elegans</i> (Boulenger, 1882)N	LC	Pr
Phyllomedusidae		
<i>Agalychnis callidryas</i> (Cope, 1862)	LC	N
<i>Agalychnis dacnicolor</i> (Cope, 1864)	LC	N
<i>Agalychnis moreletii</i> (Duméril, 1853)	LC	N
Ranidae		
<i>Lithobates brownorum</i> (Sanders, 1973)	LC	Pr
<i>Lithobates vaillanti</i> (Brocchi, 1877)	LC	N
Rhinophrynidae		
<i>Rhinophrynus dorsalis</i> (Duméril & Bibron, 1841)	LC	Pr

Hasta el momento se lograron identificar un total de 27 especies, correspondientes a 18 géneros y 10 familias (Tabla 2). Entre estas, la familia Hylidae es, hasta el momento, la mejor representada con 10.1% del total de especies, ya que la biblioteca cuenta con grabaciones para 10 de las 99 especies descritas para México (AmphibiaWeb, 2020). De las 27 especies registradas en la biblioteca, cinco de ellas se encuentran sujetas a protección especial de acuerdo con la NOM-095 (SEMARNAT 2010, Tabla 2): *Craugastor laticeps*, *Gastrophryne elegans*, *Rhinophrynus dorsalis*, *Eleutherodactylus grandis* y *Lithobates brownorum* estas últimas dos son endémicas de México. Mientras que, de acuerdo con la IUCN, *C. laticeps* y *Smilisca cyanosticta* están catalogadas como casi amenazadas *C. alfredi* como vulnerable, mientras que *E. grandis* y *Ptychohyla macrotympanum* se encuentran en la categoría peligro crítico de extinción (IUCN, 2020). Poseer audios de estas especies auxilia en la urgente necesidad de documentar la naturaleza, en una época de pérdida de biodiversidad acelerada sin precedentes (Ewers, 2006; Barnosky et al., 2011; Achard et al., 2014).

Dada la relevancia de esta colección para generar nuevo conocimiento y fomentar el interés en el grupo, en el futuro cercano esperamos que aumente su acervo con aportaciones de la comunidad científica en una primera etapa y de la sociedad en general, en una segunda etapa. En esta primera etapa pretendemos seguir realizando trabajo de divulgación y difusión. Mientras que en la segunda etapa esperamos generar una plataforma didáctica para móviles, similar a Merlin Bird ID (Merlin Bird Id, 2014), FrogID (FrogID, 2017), AmphibiaWeb App (Roderick & Gross, 2014), eBird (eBird, 2020) o Naturalista (Naturalista-CONABIO, 2020), con una base de datos abierta a las aportaciones de la ciudadanía.

Para los interesados en participar en esta iniciativa, la biblioteca está recibiendo grabaciones de anfibios mexicanos a la dirección de correo sonidos_anfibios_MZFC@ciencias.unam.mx. Las grabaciones deben estar correctamente identificadas y etiquetadas como cualquier material depositado en una colección científica. Deberá contener los siguientes datos: fecha y hora de la grabación, localidad, coordenadas, especie, nombre del colector, tipo de formato (.wav), duración, tasa de muestreo y preferentemente tener la mejor relación entre señal de interés y menor ruido posible. El formato de registro se podrá encontrar en la página web de la Fonoteca. Una vez revisadas y aceptadas, todos tendrán acceso a ellas a través de la página web. La biblioteca de sonidos de anuros puede consultarse en línea por medio de la siguiente dirección:

<http://cantosanuros.fciencias.unam.mx/>

Agradecimientos.- Agradecemos a la Universidad Nacional Autónoma de México por el financiamiento a través del proyecto PAPIIT folio IA206518 - "Computarización de la Biblioteca Digital de Sonidos de Anfibios de México del Museo de Zoología Alfonso L. Herrera". De igual manera, reconocemos y agradecemos el trabajo de Edgar Muñoz de la Cruz quien diseñó y desarrolló la página web de la Biblioteca.

LITERATURA CITADA

- Achard, F., R. Beuchle, P. Mayaux, H.J. Stibig, C. Bodart, A. Brink, S. Carboni, B. Desclée, F. Donnay H.D. Eva, A. Lupi, R. Rasi, R. Seliger & D. Simonetti. 2014. Determination of tropical deforestation rates and related carbon losses from 1990 to 2010. *Global change biology* 20(8): 2540-2554.
- Amézquita, A., A.P. Lima, R. Jehle, L. Castellanos, O. Ramos, A.J. Crawford, H. Gasser & W. Hödl. 2009. Calls, colours, shape, and genes: A multi-trait approach to the study of geographic variation in the Amazonian frog *Allobates femoralis*. *Biological Journal of the Linnean Society* 98(4):826-838.
- AmphibiaWeb. 2020. University of California, Berkeley, CA, USA. <https://amphibiaweb.org> [Consultado en abril 2020]
- Alvarez-Berrios, N., M. Campos-Cerqueira, A. Hernández-Serna, C.J., A. Delgado, F. Román-Dañobeytia & T. Mitchell Aide. 2016. Impacts of small-scale gold mining on birds and anurans near the Tambopata Natural Reserve, Peru, assessed using passive acoustic monitoring. *Tropical Conservation Science* 9(2):832-851.
- Arch, V.S. & P.M. Narins. 2009. Sexual hearing: the influence of sex hormones on acoustic communication in frogs. *Hearing Research* 252:15-20.
- Baker, B. 2011. New Push to Bring US Biological Collections to the World's Online Community: Advances in technology put massive undertaking within reach. *BioScience* 61(9):657-662.
- Baraquet, M., P.R. Grenat, N.E. Salas & A.L. Martino. 2014. Geographic variation in the advertisement call of *Hypsiboas cordobae* (Anura, Hylidae). *Acta Ethologica* 18(1):79-86.
- Barnosky, A.D., N. Matzke, S. Tomiya, G.O.U. Wogan, B. Swartz, T.B. Quental, C. Marshall, J.L. McGuire, E.L. Lindsey, K.C. Maguire, B. Mersey, E.A. Ferrer. 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* 471:51-57.

- Bazúa-Durán, C. 2004. APPENDIX: Recording and archiving animal sound in México. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências* 76(2):455-465.
- Bee, M.A. 2004. Within-individual variation in bullfrog vocalizations: Implications for a vocally mediated social recognition system. *The Journal of the Acoustical Society of America* 116(6):3770-3781.
- Bernal, X., C. Guarnizo & H. Luddecke. 2005. Geographic variation in advertisement call and genetic structure of *Colostethus palmatus* (Anura, Dendrobatidae) from the colombian andes. *Herpetologica* 61:395-408.
- Berry, Y.P. 1964. The breeding patterns of seven species of Singapore anura. *Journal of Animal Ecology* 33:227-243.
- Blaustein, A.R., B.A. Han, R.A. Relyea, P.T.J. Johnson, J.C. Buck, S.S. Gervasi & L.C. Kats. 2011. The complexity of amphibian population declines: understanding the role of cofactors in driving amphibian losses. *Annals of the New York Academy Sciences* 1223:108-119.
- Biblioteca de Sonidos de Aves. 2020. Biblioteca De Sonidos De Aves. <http://biologia.fciencias.unam.mx/BSAMZFC/BSAMZFC.htm> [Consultado en mayo 2020].
- Boettger, O. 1893. Ein neuer Laubfrosch aus Costa Rica. Bericht über die Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft in Frankfurt am Main 1893:251-252.
- Boulenger, G.A. 1882. Catalogue of the batrachia salientia s. Ecaudata in the Collection of the British Museum. 2nd Edition. Taylor and Francis. London, UK.
- Boulenger, G.A. 1898. Fourth report on additions to the batrachian collection in the Natural-History Museum. *Proceedings of the Zoological Society of London* 1898:473-482.
- Bridges, A.S. & M.E. Dorcas. 2000. Temporal variation in anuran calling behavior: Implications for Surveys and Monitoring Programs. *Copeia* 2:587-592.
- British Library Sounds. 2019. Environment & Nature. <https://sounds.bl.uk/> [Consultado en abril 2020]
- Brocchi, P. 1877. Sur quelques batraciens raniformes et bufoniformes de l'Amérique Centrale. *Bulletin de la Société Philomathique de Paris* 1:175-197.
- Canavero, A. & M. Arim. 2009. Clues supporting photoperiod as the main determinant of seasonal variation in amphibian activity. *Journal of Natural History* 43:2975-2984.
- Canseco-Márquez, L., J.L. Aguilar-López, R. Luría-Manzano, E. Pineda-Arredondo & I.W. Caviedes-Solis. 2017. A new species of treefrog of the genus *Ptychohyla* (Anura: Hylidae) from southern Mexico. *Zootaxa* 4317:279-290.
- Carson, R. 1962. *Silent spring*. Houghton Mifflin. Cambridge, Mass., Boston, USA.
- Castellano, S. & C. Giacoma. 2000. Morphometric and advertisement call geographic variation in polyploid green toads. *Biological Journal of the Linnean Society* 70:341-360.
- Castellano, S., L. Tontini, C. Giacoma, A. Lattes, & E. Balletto. 2002. The evolution of release and advertisement calls in green toads (*Bufo viridis* complex). *Biological Journal of the Linnean Society* 77(3):379-391.
- Channing, A., A. Hillers, S. Lötters, M.O. Rödel, S. Schick, W. Conradie, D. Rödder, V. Mercurio, P. Wagner, J.M. Dehling, L.H. Du Preez, J. Kielgast, & M. Burger. 2013. Taxonomy of the super-cryptic *Hyperolius nasutus* group of long reed frogs of Africa (Anura: Hyperoliidae), with descriptions of six new species. *Zootaxa* 3620(3):301-350.
- Chen, Z. & J.J. Wiens. 2020. The origins of acoustic communication in vertebrates. *Nature Communications* 11:369.
- Cocroft, R.B. & M.J. Ryan. 1995. Patterns of advertisement call evolution in toads and chorus frogs. *Animal Behaviour* 49(2):283-303.
- CONABIO (Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad). 2020. Listado de colecciones científicas. Ciudad de México, México. <https://www.biodiversidad.gob.mx/fichas-conabio-war/resources/> [Consultado en abril 2020]
- Cope, E.D. 1862. Catalogues of the reptiles obtained during the explorations of the Parana, Paraguay, Vermejo and Uruguay Rivers, by Capt. Thos. J. Page, U.S.N.; and of those procured by Lieut. N. Michler, U.S. Top. Eng., Commander of the expedition conducting the survey of the Atrato River. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 14:346-359.

- Cope, E.D. 1864. Contributions to the herpetology of tropical America. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia 16:166-181.
- Cope, E.D. 1865. Third contribution to the herpetology of tropical America. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia 17:185-198.
- Cope, E.D. 1874. Description of some species of reptiles obtained by Dr. John F. Bransford, Assistant Surgeon United States Navy, while attached to the Nicaraguan Surveying Expedition in 1873. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia 26:64-72.
- Cope, E.D. 1886. Thirteenth contribution to the herpetology of tropical America. Proceedings of the American Philosophical Society 23:271-287.
- Cornell Lab of Ornithology. 2019. Macaulay Library. Audio Archives. <https://www.macaulaylibrary.org/> [Consultado en abril 2020]
- Dena, S., R. Rebouças, G. Augusto-Alves, C. Zornosa-Torres, M. Retuci Pontes & L.F. Toledo. 2019. How much are we losing in not depositing anuran sound recordings in scientific collections? Bioacoustics 1-12.
- Dixon, J.R. 1957. Geographic variation and distribution of the genus *Tomodactylus* in Mexico. Texas Journal of Science 9:379-409.
- Dreher, C.E. & H. Pröhl. 2014. Multiple sexual signals: calls over colors for mate attraction in an aposematic, color-diverse poison frog. Frontiers in Ecology and Evolution 2(22):1-10.
- Duellman, W.E. & L. Trueb. 1994. Biology of Amphibians. The Johns Hopkins University Press. Baltimore and London.
- Duméril, A.M.C. & G. Bibron. 1841. Erpétologie générale ou histoire naturelle complète des Reptiles. Librairie Encyclopedique de Roret. Paris, France.
- Duméril, A.H.A. 1853. Mémoire sur les batraciens anoures, de la famille des hylaeformes ou rainettes, comprennent la description d'un genre nouveau et de onze espèces nouvelles. Annales des Sciences Naturelles. Zoologie et Biologie Animale 19:135-179.
- eBird. 2020. eBird: Proyecto del Laboratorio de Ornitología de Cornell. <https://ebird.org/home?logout=true> [Consultado en mayo 2020]
- Ewers, R.M. 2006. Interaction effects between economic development and forest cover determine deforestation rates. Global Environmental Change 16(2):161-169.
- Ey, E. & J. Fischer. 2009. The "acoustic adaptation hypothesis" a review of the evidence from birds, anurans and mammals. Bioacoustics 19(1-2):21-48.
- Farina, A. 2014. Soundscape Ecology. Principles, Patterns, Methods and Applications, Dordrecht: Springer Netherlands.
- Figueroa-Huitrón, R. 2015. Monitoreo bioacústico de las poblaciones de anuros de la reserva de la biosfera Nahá, Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Flores-Villela, O. & J.A. Hernández. 1992. Las colecciones herpetológicas mexicanas. Publicaciones Especiales del Museo de Zoología Facultad de Ciencias UNAM 4:1-24.
- FonoZoo. 2020. Estadísticas. Búsqueda de grabaciones. http://www.fonozoo.com/fnz_estadisticas.php [Consultado en abril 2020]
- Forti, L. R., R. Lingnau, L.C. Encarnação, J. Bertoluci & L.F. Toledo. 2017. Can treefrog phylogeographical clades and species' phylogenetic topologies be recovered by bioacoustical analyses? PLoS ONE 12(2):1-12.
- Frogid. 2017. Australian Museum Frogid Project. <https://www.frogid.net.au/>. Australian Museum, Sydney, Australia. [Consultado en mayo 2020].
- Fuentes-de la Rosa, D.L. 2019. Patrones fenológicos del canto de una comunidad de anuros del Área de Protección de Flora y Fauna Nahá, Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Furtado, R. 2017. Behavioural responses of *Hypsiboas lundii* (Anura: Hylidae) to visual and acoustic aggressive stimuli. Herpetology Notes 10:659-664.
- Gaige, H.T. & L.C. Stuart. 1934. A new *Hyla* from Guatemala. Occasional Papers of the Museum of Zoology, University of Michigan 281:1-3.
- Gergus, E.W.A., T.W. Reeder & B.K. Sullivan. 2004. Geographic variation in *Hyla wrightorum*: advertisement calls, allozymes, mtDNA, and morphology. American Society of Ichthyologists and Herpetologists 4:758-769.

- Gerhardt, H.C. 1994. The evolution of vocalization in Frogs and Toads. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 25:293-324.
- Grenat, P.R., F.E. Pollo, M.A. Ferrero & A.L. Martino. 2019. Differential and additive effects of natural biotic and anthropogenic noise on call properties of *Odontophrynus americanus* (Anura, Odontophrynidae): Implications for the conservation of anurans inhabiting noisy environments. *Ecological indicators* 99:67-73.
- Gingras, B., E. Mohandesan, D. Boko & W.T. Fitch. 2013. Phylogenetic signal in the acoustic parameters of the advertisement calls of four clades of anurans. *BMC Evolutionary Biology* 13(1):134.
- Günther, A.C.L.G. 1901. Reptilia and batrachia. Pp. 166. En O. Salvin & F.D. Godman (Eds.), *Biologia Centrali Americana*. London, UK.
- Hallowell, E. 1861. Report upon the reptilia of the north pacific exploring expedition, under command of Capt. John Rogers, U.S. N. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 12:480-510.
- Han, N.C., S.V. Muniandy & J. Dayou. 2011. Acoustic classification of Australian anurans based on hybrid spectral-entropy approach. *Applied Acoustics* 72(9):639-645.
- Hartweg, N. 1941. Notes on the genus *Plectrohyla*, with descriptions of new species. *Occasional Papers of the Museum of Zoology, University of Michigan* 437:1-10.
- INECOL. 2020. Biblioteca De Sonidos Aves De México. <http://www1.inecol.edu.mx/sonidos/menu.htm>. [Consultado en mayo 2020].
- IUCN. 2020. IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2020-1. <http://www.iucnredlist.org>. [Consultado en abril 2020]
- Krause, B. 2002. The loss of natural soundscape. *Earth Island Journal* 17:27-29.
- Kreuzer, P., & D. Dreesmann. 2017. Museum behind the scenes—an inquiry-based learning unit with biological collections in the classroom. *Journal of Biological Education*. 51(3):261-272.
- Köhler, J., M. Jansen, A. Rodríguez, P.J.R. Kok, L.F. Toledo, M. Emmrich, F. Glaw, C.F.B. Haddad, M.O. Rödel & M. Vences. 2017. The use of bioacoustics in anuran taxonomy: Theory, terminology, methods and recommendations for best practice. *Zootaxa* 4251(1):1-124.
- Kopp K. & P.C. Eterovick. 2006. Factors influencing spatial and temporal structure of frog assemblages at ponds in southeastern Brazil. *Journal of Natural History* 40:1813-1830.
- Lane, M.A. 1996. Roles of natural history collections. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 83(4):536-545.
- Marler, P. & H. Slabbekoorn. 2004. *Nature's music: the science of birdsong*, Italy. Elsevier Academic Press 1-38.
- Meineke, E.K., T.J. Davies, B.H. Daru & C.C. Davis. 2018. Biological collections for understanding biodiversity in the Anthropocene. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 374(1763):0386.
- Merlin Bird ID. 2020. Merlin Bird ID- Free, instant bird identification help and guide for thousands of birds. Cornell University, USA. <https://merlin.allaboutbirds.org/> [Consultado en Mayo 2020].
- Museum Für Naturkunde. 2020. Tierstimmenarchiv. About the Animal Sound Archive. <https://www.tierstimmenarchiv.de/> [Consultado en abril 2020].
- Naturalista-CONABIO. 2020. <http://www.naturalista.mx> [Consultado en mayo 2020].
- Ordoñez-Flores, S. 2019. Patrones temporales en el paisaje acústico del Área de Protección de Flora y Fauna Nahá, Chiapas, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pellet, J. & B.R. Schmidt. 2005. Monitoring distributions using call surveys: Estimating site occupancy, detection probabilities and inferring absence. *Biological Conservation* 123(1):27-35.
- Pyke, G.H. & P.R. Ehrlich. 2010. Biological collections and ecological/environmental research: A review, some observations and a look to the future. *Biological Reviews* 85(2):247-266.
- Priambodo, B., H. Permana, F. Akhsani, S.E. Indriwati, S. Wangkulankul, S.R Lestari, & F. Rohman. 2019. Characteristic of water sources in Malang, based on the diversity, community structure, and the role of herpetofauna as bioindicator. *Eurasian Journal of Biosciences* 13(2):2279-2283.
- Ranft, R. 2004. Natural sound archives: Past, present and future. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências* 76(2):455-465.

- Roderick, M. & J. Gross. 2014. The AmphibiaWeb app and use of mobile devices in research and outreach. *Herpetology Notes* (7):109-113.
- Saenz D., L.A. Fitzgerald, K.A. Baum & R.N. Conner. 2006. Abiotic correlates of anuran calling phenology: The importance of rain, temperature, and season. *Allen Press on behalf of the Herpetologists' League* 20:64-82.
- Sanders, O. 1973. A new leopard frog (*Rana berlandieri brownorum*). *Journal of Herpetology* 7:87-92.
- Schalk, C.M. & D. Saenz. 2016. Environmental drivers of anuran calling phenology in a seasonal Neotropical ecosystem. *Austral Ecology* 41:16-27.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. 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. Segunda edición. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre 2010. Ciudad de México, México. https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091 [Consultado en abril 2020]
- Shannon, F.A. & J.E. Werler. 1955. Notes on amphibians of the Los Tuxtlas range of Veracruz, Mexico. *Transactions of the Kansas Academy of Science* 58:360-386.
- Smith, H.M. 1953. A new subspecies of the treefrog *Hyla phaeota* Cope of Central America. *Herpetologica* 8:150-152.
- Steindachner, F. 1864. *Batrachologische Mittheilungen. Verhandlungen des Zoologisch-Botanischen Vereins in Wien* 14:239-288.
- Suarez, A.V. & N.D. Tsutsui. 2004. The value of museum collections for research and society. *BioScience* 54(1):66-74.
- Tanner, W.W. 1957. Notes on a collection of amphibians and reptiles from southern Mexico, with a description of a new *Hyla*. *Great Basin Naturalist* 17:52-56.
- Taylor, E.H. 1940. A new *Syrrophus* from Guerrero, Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 53:95-98.
- Toledo, L.F., C. Tipp & R. Márquez. 2015a. The value of audiovisual archives. *Science* 347(6221):484-b.
- Toledo, L.F., I.A. Martins, D.P. Bruschi, M.A. Passos, C. Alexandre & C.F.B. Haddad. 2015b. The anuran calling repertoire in the light of social context. *Acta ethologica* 18:87-99.
- Vallan, D. 2002. Effects of anthropogenic environmental changes on amphibian diversity in the rain forests of eastern Madagascar. *Journal of Tropical Ecology* 18:725-742.
- Vitt, L.J. & J.P. Caldwell. 2014. *Herpetology: An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles*. 4th Edition. Academic Press. San Diego, California, USA.
- Weir, L.A., J.A. Royle, P. Nanjappa & R. Jung. 2014. Modeling anuran detection and site occupancy on North American amphibian monitoring program (NAAMP) Routes in Maryland. *Journal of Herpetology* 39(4):627-639.
- Wells, K.D. 2007. *The Ecology and Behavior of Amphibians*. The University of Chicago Press. Chicago, USA.
- Wiegmann, A.F.A. 1833. *Herpetologischen Beyträge. I. Ueber die mexicanischen Kröten nebst bemerkungen über ihren verwandte Arten anderer Weltgegenden*. *Isis von Oken* 26:651-662.
- Wilkins, M.R., N. Seddon & R.J. Safran. 2013. Evolutionary divergence in acoustic signals: causes and consequences. *Trends in ecology & evolution* 28(3):156-166.
- Wiens, J.J., M.C. Brandley, & T.W. Reeder. (2006). Why does a trait evolve multiple times within a clade? repeated evolution of snakelike body form in squamate reptiles. *Evolution*, 60:123-141.
- Will, K.W., B.D. Mishler, & Q.D. Wheeler. (2005). The perils of DNA barcoding and the need for integrative taxonomy. *Systematic Biology*, 54:844-851.
- Wilson L.D., J.D. Johnson and V. Mata-Silva. 2013a. A conservation reassessment of the amphibians of Mexico based on the EVS measure. *Amphibian & Reptile Conservation*, 7:97-127.





SOCIEDAD HERPETOLÓGICA MEXICANA

A S O C I A C I Ó N C I V I L

Estimados miembros

En atención a los resultados del cuestionario realizado (224 respuestas), y considerando la contingencia derivada de la pandemia causada por el SARS-COV-2, el Consejo Directivo de la Sociedad Herpetológica Mexicana ha determinado posponer la XVI Reunión Nacional. Una vez que se normalicen las actividades analizaremos en conjunto con la sede las fechas en las que se podrá llevar a cabo nuestra Reunión Nacional, priorizando el primer semestre del año. Al posponer la fecha de la Reunión Nacional, también se pospone la asamblea en la que se elige al nuevo consejo directivo, por lo que el consejo actual continuará hasta que las condiciones nos permitan tener una asamblea general.

Finalmente, queremos agradecer a todos aquellos que han estado pendientes de la Reunión Nacional y que nos hicieron llegar su percepción sobre la posibilidad de posponerla.

Esperamos verlos a todos el 2021 en la XVI Reunión Nacional.

Atte.

Consejo Directivo, Sociedad Herpetológica Mexicana A.C.