

Esta traducción es proporcionada por los autores y se basa en la versión final aceptada en inglés del artículo. La revista no editó la traducción.

This translation is provided by the authors and is based on the final accepted English version of the paper. The journal did not edit the translation.

DIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN DE ANFIBIOS EN EL EJIDO TIERRA Y LIBERTAD, SUROESTE DE CHIAPAS, MÉXICO

EMMANUEL JAVIER-VÁZQUEZ^{1,4}, ROBERTO LUNA-REYES² Y AZENETH MORENO-OVANDO³

¹Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Libramiento Norte Poniente Número 1150, Colonia Lajas de Maciel, Tuxtla Gutiérrez, 29039, Chiapas, México

²Dirección de Áreas Naturales y Vida Silvestre, Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural, Tuxtla Gutiérrez, 29000, Chiapas, México

³Facultad de Ciencias Odontológicas y Salud Pública, subsede Venustiano Carranza, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Carretera Federal Libre 101, Tuxtla Gutiérrez-Venustiano Carranza, Parador Artesanal, Chiapas, México

⁴Autor correspondiente, correo: manu_javier234@hotmail.com

Resumen.—Los anfibios constituyen uno de los grupos más ricos y amenazados de México; sin embargo, su diversidad y factores de amenaza a nivel regional siguen siendo poco conocidos en muchas partes del país, incluidas las áreas naturales protegidas. Analizamos

la diversidad de anfibios del Ejido Tierra y Libertad, Municipio de Jiquipilas, Chiapas, México, el cual se ubica, en más del 40% de su superficie, dentro de la Reserva de la Biosfera La Sepultura (REBISE). Realizamos el trabajo de campo del período de enero de 2016 a abril de 2020, incluimos 980 horas-persona de muestreo sistemático en 11 transectos que abarcan diferentes tipos de hábitat. Documentamos un total de 20 especies de anfibios, incluido el primer registro de la Salamandra Lengua de Hongo de Vientre Amarillo (*Bolitoglossa flaviventris*) para la REBISE. Siete especies de anfibios están incluidas en alguna categoría de riesgo: tres en la NOM-059-SEMARNAT-2010 del gobierno federal mexicano, dos en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y dos categorizadas en ambas. La Rana Común de Hojarasca (*Craugastor loki*) fue la especie más abundante y, junto con otras cuatro especies de anuros, constituyó el 82,1% de la abundancia total observada. La similitud faunística entre transectos se asoció generalmente con la proximidad, la conectividad del corredor forestal y la presencia de agua. La Selva Mediana Subcaducifolia sin disturbio presentó la mayor diversidad alfa, sorprendentemente, los hábitats urbanos y algunos perturbados tuvieron la mayor riqueza de especies. El potrero fue el hábitat menos rico y diverso, por lo que discutimos las consecuencias de la continua expansión de los potreros en las poblaciones de anfibios. Proponemos medidas de conservación destinadas a promover tanto la diversidad de anfibios como la salud humana.

Palabras Clave.— Abundancia; cambio de uso de suelo; Depresión Central; Jiquipilas; muestreo; riqueza; Sierra Madre de Chiapas.

INTRODUCCIÓN

México posee una de las mayores variabilidades geológicas y climáticas de cualquier país, y por lo tanto, alberga una de las biotas más ricas del planeta (Ochoa-Ochoa y Flores-Villela 2006). Uno de los elementos más importantes en la biodiversidad de México son los anfibios (Flores-Villela 1993; Flores-Villela y Gérez 1994). Este grupo se constituye por 424 especies descritas para el país, siendo más de la mitad de ellas endémicas, posicionando a México como el séptimo país más rico en especies de anfibios del mundo (<https://herpetologiamexicana.org/>; <https://amphibiaweb.org/>). Los anfibios son excepcionales indicadores de la calidad y salud de los ecosistemas naturales, gracias a su alta sensibilidad a los cambios o modificaciones ambientales a diferentes escalas, sin embargo se encuentran entre los grupos de vertebrados más amenazados (Ramírez-Bautista 2004; Stuart et al. 2008). En todo el mundo, los anfibios están sufriendo una grave crisis de extinción debido a una amplia variedad de factores que incluyen la destrucción del hábitat, la sobreexplotación de especies, la introducción de especies exóticas, el cambio climático global, las enfermedades infecciosas emergentes, la contaminación por pesticidas y otros compuestos químicos (Skelly et al. 2002; Collins y Storfer 2003; Sodhi et al. 2008; Wake y Vredenburg 2008). De acuerdo a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés), aproximadamente el 41% de las especies de anfibios en el planeta están amenazados (IUCN 2022). En un análisis realizado por la misma organización, los factores más importantes en la disminución de la población de anfibios mexicanos son la deforestación y la transformación de la vegetación (Frías-Álvarez et al. 2010).

Afortunadamente, la red de áreas naturales protegidas (conocida como el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas, o SINANP) ofrece cierto nivel de protección a

numerosos ecosistemas, además de promover el desarrollo sostenible entre las comunidades locales (García-Amado et al. 2013; Caballero 2020; Godínez-Gómez et al. 2020). La red del SINANP está particularmente bien desarrollada en el estado de Chiapas, que también contiene una diversidad notablemente alta de 108 especies de anfibios (Johnson et al. 2015; Hernández-Ordoñez et al. 2017). La Reserva de la Biósfera La Sepultura (REBISE), es la segunda área protegida más grande de Chiapas, abarca una superficie de 167,300 hectáreas (ha), que corresponden a cinco zonas núcleo y el resto a una amplia zona de amortiguamiento. La diversidad de anfibios dentro de REBISE sigue siendo poco estudiada y esta área, aunque protegida, enfrenta serios problemas ambientales que incluyen un aumento en la densidad de población humana, incendios forestales y deforestación debido a la expansión de las prácticas ganaderas y agrícolas (Figueroa y Sánchez-Cordero 2008; Godínez-Gómez et al. 2020). Comprender los efectos de estas amenazas a la diversidad de anfibios en esta área es vital para que se pueda promover un manejo informado.

El Ejido Tierra y Libertad (ETL) es muy adecuado para estudios sobre este tema, porque más del 40% de su territorio se encuentra en la zona de amortiguamiento de la REBISE, y porque contiene una alta diversidad de hábitats. Dado que el ETL sustenta a más del 11,5% de la población humana que existe dentro de REBISE (Instituto Nacional de Ecología [INE]1999; Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP] 2013), también ejemplifica los principales problemas ambientales mencionados anteriormente para esta Reserva. Núñez-Orantes y Muñoz-Alonso et al. (2000) indicaron la presencia de 39 especies de anfibios dentro de REBISE, pero los autores no tomaron muestras dentro del ETL. Además, no hay registros de especímenes de anfibios de ETL en la base de datos en línea VertNet (<https://blog.vertnet.org/>), y hay menos de cinco registros de anfibios del ETL en iNaturalist (<https://www.inaturalist.org/>),

lo que demuestra la necesidad de una contabilidad a nivel local de esta fauna. El objetivo de este estudio fue investigar la riqueza, abundancia relativa, diversidad alfa y diversidad beta de las comunidades de anfibios en el ETL a través de la gran diversidad de hábitats que existen en el área. Con base en nuestros resultados, proponemos acciones para la conservación del grupo y de los respectivos ecosistemas del área de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio.—El Ejido Tierra y Libertad (ETL), también conocido como Ortiz, es una comunidad ubicada en la región suroeste del estado de Chiapas, entre las coordenadas 16.32/16.43 N y -93.91/-93.77 W (Fig. 1). Fue establecido oficialmente por el Gobierno de Chiapas en 1929, como respuesta a la demanda de tierras de jornaleros y trabajadores de escasos recursos de diversas rancherías de los Municipios de Cintalapa y Jiquipilas (Vázquez-López *et al.*, 1977). El ETL hoy se comprende de 6,501 hectáreas, que incluyen la dotación original más dos dotaciones realizadas en 1939 y 1980, respectivamente (Padrón e Historial de Núcleos Agrarios [PHINA]. 2022. Disponible en <https://phina.ran.gob.mx/consultaPhina.php> [Consultado el 25 de julio de 2022]). Un total de 5,793 ha se encuentran en el Municipio de Jiquipilas, mientras que una pequeña parcela no contigua adicional de 708 ha (que es una de las extensiones posteriores) se encuentra en el Municipio adyacente de Arriaga (https://idegeo.centrogeo.org.mx/layers/geonode:ran_nucleosagrarios_chiapas).

El intervalo altitudinal del ETL oscila entre 620–1220 m de elevación y se ubica en una zona de transición entre dos regiones fisiográficas, la Sierra Madre de Chiapas y la Depresión Central (Müllerried 1982). De acuerdo al sistema de clasificación climática de Köeppen modificado por García (2004), en el ETL se presentan dos tipos de clima diferentes. Primero, un

clima cálido subhúmedo con lluvias y olas de calor en verano, lluvias invernales menores al 5% del total anual y una temperatura media anual de 24-28° C, este clima se extiende desde la zona más baja del ETL (620 m de elevación) hasta los 1000 m de elevación. Segundo, un clima semicálido subhúmedo con una estacionalidad similar de olas de calor y precipitaciones, pero con una temperatura media anual de 18 a 22 °C, y que solo se presenta por encima de los 1000 m de elevación. Con base en la clasificación del INEGI (2015) en el ETL existen los siguientes tipos de uso de suelo y vegetación: Bosque Mesófilo de Montaña, 1150–1220 m de elevación; Selva Mediana Subcaducifolia, 720–1150 m de elevación; Bosque de Pino Encino, 680–830 m de elevación; Selva Baja Caducifolia, 650–1080 m de elevación; Bosque de Pino, 650–1030 m de elevación; área urbana, 650–720 m de elevación; Bosque de Ribera, 620–1050 m de elevación; vegetación secundaria de Selva Baja Caducifolia, 620–1000 m de elevación, y áreas agrícolas, 620–900 m de elevación.

Recopilación de datos.— Recolectamos datos de campo de enero de 2016 a abril de 2020. De enero de 2016 a abril de 2019, realizamos muestreos no sistemáticos en toda el área de estudio tanto de día como de noche, en las estaciones seca y lluviosa. Desde mayo de 2019 hasta abril de 2020, cambiamos a una estrategia de muestreo sistemático centrada en 11 transectos de 500 metros de largo por tres metros de ancho. Cada transecto se seleccionó por su proximidad a un arroyo u otro cuerpo de agua para maximizar las detecciones de anfibios (Gaviño de la Torre et al. 1977). Muestreamos estos transectos seis días al mes, con muestreos realizados de 09:00 a 12:00 y de 19:00 a 22:00 horas (Casas-Andreu et al. 1991). Una sola persona (EJV) realizó la mayoría de los muestreos sistemáticos, pero dos personas participaron de mayo a septiembre de 2019, sumando un esfuerzo sistemático total de 980 horas-persona. Cada uno de nuestros 11

transectos muestreó entornos diferentes (Fig. 1): Selva Mediana Subcaducifolia sin disturbio; Selva Mediana Subcaducifolia empleada como cafetal; Selva Baja Caducifolia sin disturbio; vegetación secundaria de Selva Baja Caducifolia; Bosque de Pino sin disturbio; Bosque de Pino con disturbio; Bosque de Ribera sin disturbio; Bosque de Ribera con disturbio; zonas agropecuarias de cultivo (excluyendo cafetales); zonas agropecuarias empleadas como potreros (excluyendo la vegetación secundaria) y una zona urbana. Las zonas de cultivos y los potreros son subconjuntos del uso de la tierra agrícola. Cuatro pares de transectos comparan parches conservados y perturbados de Selva Mediana Subcaducifolia, Selva Baja Caducifolia, Bosque de Ribera y Bosque de Pino, respectivamente.

Durante el estudio, utilizamos la técnica de encuentro visual (Crump y Scott 1994; Lips et al. 2001), examinamos microhábitats potenciales desde el nivel del suelo hasta 3 m de altura (Manzanilla y Péfaur 2000). Para cada individuo de anfibio observado, registramos la fecha, hora, tipo de vegetación, microhábitat, latitud, longitud y elevación en su sitio. Clasificamos el microhábitat en ocho categorías siguiendo los criterios propuestos por los autores anteriores (Canseco-Márquez 1996; Ramírez-Bautista y Nieto-Montes de Oca 1997; Vitt et al. 2000): (1) fosorial (que habita agujeros en el suelo o en paredes de tierra); (2) semifosorial (debajo de hojarasca, troncos o rocas); (3) terrestre (en la superficie del suelo, con o sin hojarasca); (4) saxícola (que se encuentran entre o sobre rocas); (5) arborícola (sobre el nivel del suelo en arbustos o árboles, incluido el dosel del bosque, debajo de la corteza de los árboles en pie o entre la vegetación epífita); (6) antropogénico (reservorios de agua artificial, desagües pluviales, entre escombros humanos o en casas, o entre cultivos plantados); y (7) riparios (en plantas de las familias Araceae y Liliaceae que crecen en las orillas de cuerpos de agua naturales), y (8) dulceacuícolas (en cuerpos de agua naturales permanentes o estacionales). No marcamos ningún

individuo debido a la baja tasa de recaptura de herpetofauna en ambientes neotropicales (Zabala-Forero y Urbina-Cardona 2021). Para cada especie de anfibio observada, depositamos fotografías de prueba en la colección digital del Natural History Museum del Condado de Los Angeles (LACM PC), California, EE. UU. Para las especies que documentamos tanto dentro como fuera de los límites de la REBISE, depositamos fotografías comprobantes que respaldan la presencia de la especie en ambas áreas.

Análisis de datos.— Identificamos las especies de anfibios observadas utilizando la lista de verificación para Chiapas disponible en Johnson et al. (2015), complementado con las claves dicotómicas disponibles en Köhler (2011), y las descripciones originales de ciertas especies. Seguimos la taxonomía de AmphibiaWeb (<https://amphibiaweb.org/>) y usamos el nombre del género *Rana* en lugar de *Lithobates* de acuerdo con Yuan et al. (2016). Para los nombres comunes, seguimos a (Frost, D. 2022. Amphibian Species of the World: an Online Reference. Versión 6.1. Disponible en <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/> [Consultado el 28 de julio de 2022]). y Crother et al. (2017). Categorizamos el estado de riesgo de cada especie haciendo referencia a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 del gobierno federal mexicano (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] 2010), la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN (IUCN 2022), y el Puntaje de Vulnerabilidad Ambiental (EVS [por sus siglas en inglés]) sistema propuesto por Wilson et al. (2013).

Calculamos la riqueza esperada de especies (Moreno 2001), usando el programa EstimateS 9.1 (<https://www.robertkcolwell.org/pages/estimates>). Para este análisis, empleamos cuatro estimadores: (1) Jackknife 1 y 2, que asumen heterogeneidad de hábitat entre dos muestras y funcionan bien con muestras pequeñas (Magurran, 2004; Zabala-Forero y Urbina-

Cardona, 2021); (2) Bootstrap, que considera la riqueza estimada de anfibios derivada de los diferentes hábitats y estados de intervención humana (Magurran 2004); y (3) Chao 1, que se basa en la abundancia y asume la homogeneidad del hábitat en las muestras (Jiménez-Valverde y Hortal 2003; Magurran 2004) (Cuadro 2). Para la curva general de acumulación de especies, usamos todos los estimadores de la misma manera, con excepción de Chao 1.

Estimamos las Diversidades Alfa y Beta basándonos únicamente en los registros que obtuvimos del trabajo de campo sistemático. Para la Diversidad Alfa, empleamos el índice de Shannon-Wiener:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Donde: Σ = sumatoria de p_i , \ln = logaritmo natural, p_i = es la abundancia proporcional de la especie i , es decir, el número de individuos de la especie i dividido por el número total de individuos de la muestra. Aplicamos este índice porque es un método estándar fácil de usar (Vite-Silva et al. 2010) que supone una selección aleatoria de individuos y asume que todas las especies están representadas en la muestra (Magurran 2004). Para cuantificar la similitud del conjunto de anfibios entre pares de transectos con tipos de vegetación similares, realizamos un análisis de conglomerados utilizando una matriz de presencia-absencia y el Coeficiente de similitud de Jaccard (JSC):

$$JSC = (100 \times S) / (n_1 + n_2 - S),$$

Donde S = es el número de especies compartidas, n_1 = número de especies del sitio 1, y n_2 = número de especies del sitio 2 (Moreno, 2001). Realizamos los análisis estadísticos utilizando el software Past4 (<https://www.nhm.uio.no/english/research/infrastructure/past/>).

RESULTADOS

Registramos una riqueza total de 20 especies de anfibios en el ETL, pertenecientes a 15 géneros y 10 familias. Las familias mejor representadas fueron Hylidae y Bufonidae, con cinco y cuatro especies detectadas, respectivamente. El orden con más especies fue Anura (85% de la riqueza total), seguido de Caudata (10%) y Gymnophiona (5%) (Cuadro 1). Del total de especies, documentamos solo cuatro dentro de la REBISE, tres fuera de la REBISE, y 13 tanto dentro como fuera de la REBISE (Cuadro 1). Cinco especies pertenecen a la categoría Sujeta a Protección Especial, Pr, en la lista de la NOM-059-SEMARNAT-2010 del Gobierno Federal Mexicano: la Rana de Arroyo de Montaña de Schmidt (*Duellmanohyla schmidtorum*), la Rana de Pasto de Forrer (*Rana forreri*), el Sapo Excavador (*Rhinophrynus dorsalis*), la Salamandra Bananera del Sur (*Bolitoglossa occidentalis*) y la Cecilia Mexicana (*Dermophis mexicanus*). Cuatro especies se consideran amenazadas (IUCN, 2022), *Duellmanohyla schmidtorum*, la Rana Puntiguda de Matuda (*Plectrohyla matudai*) y *Dermophis mexicanus* categorizadas como Vulnerables (VU), mientras que la Salamandra Lengua de Hongo de Vientre Amarillo (*Bolitoglossa flaviventris*) está categorizada como En Peligro (EN). De las especies restantes, 16 se clasifican como de Preocupación Menor (LC) (Cuadro 1). En contraste, ninguna de las especies encontrada tuvo valores altos en el Puntaje de Vulnerabilidad Ambiental; todas las

especies se ubicaron en las categorías media y baja. El Sapo de Wiegmann (*Incilius marmoratus*) es la única especie de anfibio documentada en el ETL que es endémica a México.

La curva de acumulación total de especies para nuestra área de estudio indicó que el ensamble de anfibios registrado durante la fase de campo fue altamente representativo, variando de 80.41% con Jackknife 2, 91.2% con Jackknife 1, y 100% con Bootstrap. Con base en el estimador Jackknife 2, es necesaria la detección de hasta cinco especies adicionales para alcanzar la asíntota y la integridad del inventario (Fig. 2). Los valores de representatividad para cada transecto oscilaron entre 50–90% (Cuadro 2). Las cinco especies encontradas con mayor frecuencia en el ETL fueron la Rana Común de Hojarasca (*Craugastor loki*) con 1,038 observaciones), el Sapo de Caña Mesoamericano (*Rhinella horribilis*) con 364 observaciones, la Rana de Pasto de Forrer (*Rana forreri*) con 195 observaciones, la Rana de Sabinal (*Leptodactylus melanonotus*) con 135 observaciones, y la Rana de Arroyo de Montaña de Schmidt (*Duellmanohyla schmidtorum*) con 87 observaciones (Fig. 3). Los transectos de reconocimiento con la mayor riqueza documentada, fueron el área urbana con 10 especies y el Bosque de Ribera con disturbio con ocho especies, mientras que el potrero y la vegetación secundaria de Selva Baja Caducifolia tuvieron la riqueza más baja, con solo cuatro y dos especies respectivamente (Cuadro 2).

Los tres tipos de vegetación con mayor Diversidad Alfa según el índice de Shannon-Wiener fueron la Selva Mediana Subcaducifolia sin disturbio ($H' = 2.39$), seguido del Bosque de Ribera con disturbio ($H' = 2.36$) y el Bosque de Ribera sin disturbio ($H' = 2.24$), mientras que los tipos de vegetación con menor diversidad alfa, fueron el Bosque de Pino sin disturbio ($H' = 1.44$) y el potrero ($H' = 0.96$) (Cuadro 2). El análisis del coeficiente de similitud de Jaccard generó dos grandes grupos, el primero comprende los transectos (Selva Baja Caducifolia sin disturbio; zonas

de cultivo; Bosque de Ribera sin disturbio; Bosque de Ribera con disturbio; área urbana; potrero; Bosque de Pino sin disturbio y Bosque de Pino con disturbio) y el segundo comprende los transectos (Selva Mediana Subcaducifolia sin disturbio, Selva Mediana Subcaducifolia empleada como cafetal y vegetación secundaria de Selva Baja Caducifolia). Sin embargo, la mayor similitud se encontró entre el par de transectos Selva Baja Caducifolia sin disturbio/potrero, seguido por los pares Bosque de Ribera sin disturbio/Bosque de Ribera con disturbio y las áreas de cultivo/Bosque de Ribera con disturbio (Fig. 4). Con respecto al microhábitat, en el ETL encontramos la mayor cantidad de especies de anfibios en el microhábitat terrestre (13 especies), seguido del microhábitat Ripario (11 especies). Los sitios antropogénicos (es decir, en edificios) tenían solo una especie presente (Fig. 5).

DISCUSIÓN

La riqueza de especies de anfibios en el ETL representa el 18.5% de las 108 especies reportadas para el estado de Chiapas (Johnson et al. 2015; Hernández-Ordoñez et al. 2017). A nivel nacional, el ensamble de anfibios del ETL incluye el 4.7% del total de especies reportadas para México (<https://amphibiaweb.org/>). Aunque registramos a las especies de salamandras *Bolitoglossa flaviventris* y *Bolitoglossa occidentalis* solo fuera de nuestros transectos de muestreo sistemáticos, estas especies son adiciones importantes a la riqueza de anfibios del ETL. En el caso de *B. flaviventris*, este es el primer registro de la especie para el ETL y la REBISE, y representa una importante extensión en su rango de distribución, para la cual presentaremos más detalles en una contribución separada. El ETL presenta una mayor riqueza de especies de anfibios que otras áreas de Chiapas de tamaño similar, como el Sitio Arqueológico Iglesia Vieja

en el Municipio de Tonalá (12 especies; López-Villa 2018) o el Polígono I de la Reserva de la Biósfera El Triunfo (17 especies; Luna-Reyes 1997). Según el programa de manejo de la REBISE (Instituto Nacional de Ecología 1999), documentamos el 70.9% de los anfibios reportados para la Reserva (24 especies), pero con base en (Núñez-Orantes y Muñoz-Alonso 2000), el porcentaje es menor (43.6%), ya que ellos reportaron 39 especies para la Reserva (Cuadro 1). La gran riqueza de anfibios del ETL es probablemente atribuible tanto a su ubicación en la unión de dos regiones fisiográficas diferentes, como a su diversidad de tipos de hábitat a lo largo de un amplio gradiente altitudinal (Johnson et al. 2010).

El conjunto de especies que detectamos comprendió un alto porcentaje de la riqueza total de especies presentes (91.2% y 100% respectivamente), lo que sugiere que nuestro esfuerzo de muestreo fue adecuado; sin embargo, el estimador Jackknife 2 indica que se puede esperar la ocurrencia de cuatro a cinco especies adicionales en el área. Según los mapas de Köhler (2011), el Sapo de Cresta Grande (*Incilius macrocristatus*), el Sapo de los Chimalapas (*Incilius tutelarius*), la Rana de Árbol Veteada (*Trachycephalus typhonius*), la Rana de Cristal del Norte (*Hyalinobatrachium viridissimum*), la Rana Ladradora Polimórfica (*Craugastor rhodophis*) y la Rana de Árbol de Sumichrast (*Exerodonta sumichrasti*) son las especies adicionales que son más probables de encontrar en el área. El muestreo en áreas de alta montaña con vegetación de tipo Bosque Mesófilo, además de algunos sitios ubicados en la Depresión Central, podría revelar la presencia de estas especies, siempre y cuando el esfuerzo de muestreo expandido utilice técnicas apropiadas (Urbina-Cardona y Reynoso 2005).

Sorprendentemente, las áreas perturbadas se encuentran entre las de mayor diversidad de anfibios en toda nuestra área de estudio. De hecho, el transecto zona urbana poseía el mayor número de especies (10), seguido de los transectos Bosque de Ribera con disturbio (ocho

especies), Bosque de Ribera sin disturbio (siete), Cultivo (siete) y Pino con disturbio (siete). La mayoría de las especies dominantes en estos transectos están ampliamente distribuidas y se consideran generalistas (e.j., *Smilisca baudini*, *Rana forreri*, *Incilius valliceps*, *Hypopachus variolosus* y *Eleutherodactylus pipilans*), con aparente tolerancia a las actividades antropogénicas que causan la fragmentación/degradación de la vegetación mientras permanezcan sitios de reproducción adecuados (Duellman 1966; Johnson 1989; Jellineck et al. 2004; González-García et al. 2009). *Rhinella horribilis* fue particularmente abundante en el área urbana. Un posible factor que contribuye a la persistencia de anfibios en áreas urbanas y perturbadas del ETL es la presencia de sistemas silvopastoriles como cercas vivas y corredores estrechos de árboles nativos, que generan una conectividad funcional del paisaje que permite el movimiento y la dispersión de los anfibios (Arroyo-Rodríguez et al. 2020). Como el área urbana posee fuentes de agua permanente (en forma de tanques de almacenamiento, piscinas artificiales, etc.), proporciona refugios húmedos y sitios de reproducción para muchas especies de anfibios (Pedroza-Banda y Angarita-Sierra 2011).

La especie de anfibio observada con mayor frecuencia en el ETL fue *Craugastor loki*, con casi tres veces más observaciones que la siguiente especie más comúnmente observada (Fig. 3). Esta especie dominó numéricamente la mayoría de los transectos, incluidos los tipos de vegetación sin disturbio y con disturbio: Selva Mediana Subcaducifolia sin disturbio, Selva Mediana Subcaducifolia empleada como cafetal, Bosque de Ribera sin disturbio, vegetación secundaria de Selva Baja Caducifolia, Bosque de Pino sin disturbio, Bosque de Ribera con disturbio y áreas de cultivo. La abundancia de *C. loki* puede explicarse por ser una de las pocas especies de anuros documentadas en el ETL que pasa por un desarrollo directo, sin fase larvaria acuática (Savage 2002).

Cuando agrupamos *C. loki* con *Rhinella horribilis*, *Rana forreri*, *Leptodactylus melanonotus* y *Duellmanohyla schmidtorum*, las cinco especies representaron al 82.1% del número total de anfibios individuales que registramos en el ETL (Fig. 3). En contraste, rara vez observamos especies como *Leptodactylus fragilis*, *Incilius canaliferus*, *Scinax staufferi*, *Rhinophrynus dorsalis* y *Dermophis mexicanus* en el ETL. Su escasez se debe a sus hábitos secretos, o porque sus poblaciones son naturalmente más pequeñas que otras especies, o ambas cosas. Mayormente, observamos a estas especies activas durante la estación lluviosa, con encuentros casuales solo en la estación seca. Aunque *Rhinophrynus dorsalis* representó el 10,8% de la abundancia total de anfibios en el transecto del área urbana en el mes de mayo, lo cual es consistente con su historia natural como reproductor explosivo, los adultos emergen del subsuelo después de las primeras lluvias intensas para reunirse en estanques temporales y reproducirse durante un período de tiempo conocido por ser uno de los más breves entre los anfibios, con una duración que oscila entre una noche y algunas noches (Leenders 2001; Sandoval et al. 2015). De manera similar, solo observamos a la especie mayormente fosorial *Dermophis mexicanus* de noche, moviéndose en los caminos entre el suelo húmedo con pasto y sitios lodosos, y de día solo como especímenes muertos en los caminos.

La diversidad de anfibios según el Índice de Shannon mostró que la Selva Mediana Subcaducifolia sin disturbio presentó el mayor valor de diversidad ($H' = 2.39$), seguido del Bosque de Ribera sin disturbio ($H' = 2.36$) y el Bosque de Ribera con disturbio ($H' = 2.24$) (Cuadro 2). La alta diversidad de anfibios en estos sitios está estrechamente relacionada con la existencia de fuentes de agua, que ofrecen sitios de reproducción y vegetación que proporciona condiciones ambientales favorables para muchas especies de anfibios (Ray 1995). Esto hace que la Selva Mediana Subcaducifolia y el Bosque de Ribera sean sitios importantes dentro del ETL.

para la protección de anfibios (Granados-Sánchez et al. 2006). A pesar de sufrir serios problemas ambientales locales debido a la sequía, los contaminantes de los agroquímicos, la escorrentía urbana y la escorrentía de las granjas porcinas, estos dos tipos de hábitat siguen siendo áreas prometedoras para el mantenimiento de la diversidad local de anfibios a largo plazo.

Las comparaciones entre sitios utilizando el Coeficiente de Jaccard mostraron la existencia de dos grupos principales de transectos con ensamblajes cohesivos de anfibios: aquellos transectos por debajo de los 800 m de elevación (Selva Baja Caducifolia sin disturbio, áreas de cultivo, Bosque de Ribera sin disturbio, Bosque de Ribera con disturbio, área urbana, potrero, Bosque de Pino sin disturbio, Bosque de Pino con disturbio), y los transectos de zonas más altas y templadas > 800 m de elevación (Selva Mediana Subcaducifolia sin disturbio y la Selva Mediana Subcaducifolia empleada como cafetal), exceptuando la vegetación secundaria de selva baja caducifolia (Fig. 4). Esto demuestra que la mayoría de las especies de anfibios en el ETL están ampliamente distribuidas entre localidades en áreas bajas de la Sierra Madre de Chiapas y la Depresión Central.

Las localidades de Selva Baja Caducifolia sin disturbio/potrero presentaron la mayor similitud de anfibios (Fig. 4), lo que probablemente estuvo asociado a que tanto la Selva Baja Caducifolia sin disturbio, como los potreros presentan un ambiente relativamente seco la mayor parte del año, registrándose especies con desarrollo directo como *Craugastor loki* y *Eleutherodactylus pipilans* en los meses más secos del año, debido a su relativa independencia reproductiva de cuerpos de agua temporales o permanentes. La similitud de anfibios entre Bosque de Ribera sin disturbio/Bosque de Ribera con disturbio podría explicarse debido a que estos bosques (a pesar de ser áreas perturbadas) forman parte de un hábitat continuo y ciertos fragmentos comparten parte de la estructura y composición de la vegetación, así como

condiciones similares sobre la disponibilidad de agua en ambas zonas. Asimismo, la similitud anfibia entre el binomio localidades de cultivo/Bosque de Ribera con disturbio probablemente se debió a la proximidad entre los dos transectos, y a la existencia de una matriz heterogénea formada por cultivos, como Maíz (*Zea mays*) y Frijol Común (*Phaseolus vulgaris*), y algunos elementos vegetales originales, como los árboles de Madrecacao (*Gliricidia sepium*), Sauce (*Salix humboldtiana*) y Amates (*Ficus insipida*).

La gran riqueza de especies en el microhábitat terrestre (13), se debe a que casi todas las especies de anfibios utilizan el suelo en algún momento de su vida, a medida que pasan entre la vegetación y el agua (Wells, 2007). Los microhábitats ripario y dulceacuícola, incluida la orilla de arroyos y ríos, fueron el segundo y tercer sitio más utilizados y sustentaron una fauna que depende del agua para reproducirse (Hewlett y Helvey 1970). En el hábitat arbóreo encontramos principalmente ranas hílidas. En el microhábitat semifosorial encontramos especies de desarrollo directo como *Craugastor loki* y *Eleutherodactylus pipilans*, en concordancia con los hallazgos de Urbina-Cardona y Reynoso (2005), quienes afirmaron que este es un microhábitat preferido para especies con desarrollo directo.

Entre nuestros hallazgos más importantes desde la perspectiva de la conservación, el transecto de potrero posee la diversidad de anfibios más baja en el ETL ($H' = 0.96$) (Cuadro 2), además de ser el sitio con el número más bajo de observaciones y ser el segundo lugar más bajo en riqueza de especies de todos los transectos de estudio. Los potreros carecen de árboles y arbustos que crean una importante heterogeneidad de microhábitats para los anfibios.

Desafortunadamente, los potreros son una característica común y creciente en el paisaje en el ETL, debido a una variedad de factores que incluyen la extracción histórica de árboles por parte de aserraderos privados, la expansión del pastoreo de ganado, fenómenos meteorológicos como

el huracán Bárbara en 2013, que causó la pérdida de bosques, el uso del fuego por parte de cazadores y transeúntes que intencionalmente o no, provocan incendios en las vías principales del ETL (carretera Ocozocoautla-Arriaga y la carretera estatal Villaflores-Santa Isabel) (Braasch et al. 2018; Caballero-Salinas 2020). Estos factores, junto con el mínimo énfasis de la sociedad local en el mantenimiento de las áreas naturales, han dado como resultado el establecimiento de potreros sustanciales en claro detrimento a las poblaciones de anfibios, de acuerdo a los hallazgos de otros investigadores (Lara-Tufiño et al. 2019; Zabala-Forero y Urbina-Cardona 2021).

Ha habido numerosos esfuerzos para reducir la pérdida de cobertura forestal en el ETL. Tales actividades incluyen el programa de pago por Servicios Ambientales Hidrológicos en 2005–2009 y 2012–2016 financiado por el gobierno mexicano, la transición productiva hacia la ganadería extensiva en pastos silvestres que mantienen algo de dosel natural, la adopción de sistemas agrosilvopastoriles, la implementación de quemas y la reforestación activa (Caballero-Salinas 2020). Estas actividades, sin embargo, generalmente permanecen sin consolidar y solo se adoptan de forma fragmentaria, por lo que ha generado un beneficio limitado en la protección y mantenimiento de las áreas forestales del área de estudio (CONANP 2013; Caballero-Salinas 2020). La mayoría de los habitantes locales no eligen llevar a cabo actividades de conservación a menos que exista un pago, porque esas actividades generalmente implican un esfuerzo considerable para implementarlas. Además, algunos residentes siguen sin cumplir con la prohibición del uso del fuego, debido a la creencia arraigada de que la quema es una práctica indispensable para la cría de ganado (Gutiérrez-Navarro et al. 2017; Caballero-Salinas 2020). Estos hechos han contribuido a la bien documentada historia de incendios severos y regulares

que ocurren en la REBISE, que provocan progresivamente la sustitución del bosque por potreros y matorrales (Román-Cuesta y Martínez-Vilalta 2006).

Las predicciones de diferentes modelos climáticos regionales (MPI-ESM-LR, CNRMCM5, HADGEM2-ES y GFDL-CM3) y dos vías de concentración representativas (RCP), indican para la Sierra Madre de Chiapas un incremento en la temperatura de 3–4° C (RCP 4.5 y 8.5, respectivamente) para los años 2045–2069. De manera similar, se espera que la precipitación anual disminuya entre 60 y 100 mm (RCP 4.5 y 8.5, respectivamente); Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (IB-UNAM), Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) e Instituto Nacional de Ecología (INE) y Cambio Climático (INECC 2020). Explorador de cambio climático y biodiversidad. <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/cambio-climatico> ([Accessed 23 November 2021]). Estos cambios climáticos amenazan con aumentar aún más la frecuencia y magnitud de los incendios en el ETL, porque se encuentra en una de las dos zonas calientes de incendios y en una de las tres áreas de mayor presión humana en la Sierra Madre de Chiapas (Godínez-Gómez et al. 2020).

Recomendaciones.—Para maximizar la persistencia de las especies de anfibios en el ETL, junto con otros grupos taxonómicos, consideramos que la educación básica de los residentes locales es una necesidad. Sin una comunicación clara y específica sobre los problemas ecológicos que existen y los efectos de esos problemas en la biodiversidad local (como el bajo valor de hábitat de los potreros para los anfibios, como se documenta en este estudio), la acción de conservación se estancará. En los procesos de difusión consideramos que las fotografías y otros materiales

visuales son herramientas valiosas para conocimientos con una amplia gama de personas, creando una base de alfabetización ambiental social, que es fundamental antes de que se puedan desarrollar procesos de conservación efectivos.

Posterior o simultánea a esta estrategia educativa, proponemos implementar actividades que, según Aguilar-López et al. (2020), han demostrado ser efectivas en la conservación de anfibios en paisajes modificados, tales como: (1) aumento de vegetación y espacios verdes en áreas urbanas; (2) promover sistemas silvopastoriles para establecer una mayor conectividad del paisaje; (3) restauración ecológica de bosques que se han transformado a pastizales inducidos y otros ambientes modificados (Smith et al. 2015; Díaz-García et al. 2017), (4) protección a largo plazo de los bosques existentes, en particular los bosques de ribera y los pinares (Granados-Sánchez et al. 2006; Rodríguez-Mendoza y Pineda 2010; Méndez-Arcadio 2011), (5) mantenimiento de ciertos agroecosistemas (Lara-Tufiño et al. 2019), y (6) sustitución paulatina del glifosato como herbicida y manejo mejorado del pastoreo de ganado en áreas montañosas conservadas para prevenir daños a los recursos hídricos (Gómez-Baggethun y Groot 2007; Douterlungne y Ferguson 2012). En última instancia, la disciplina de la agrosilvicultura, que es un sistema de uso de la tierra que modula la degradación de la tierra y apoya la conservación de la biodiversidad, y para la cual existe una amplia diversidad de estrategias de gestión y posibles arreglos espaciales, puede ayudar a maximizar la heterogeneidad y la calidad de los hábitats nativos para muchos organismos, incluidos los anfibios (Rice y Greenberg 2000; Zabala-Forero y Urbina-Cardona 2021). Tales acciones no solo protegerían los ecosistemas de los que dependen las especies de anfibios, sino que también pueden promover la salud y el bienestar humano dentro del ETL y las comunidades circundantes. Además, varias de estas acciones amortiguarían los efectos del cambio climático en la región. A pesar del gran desafío que

representa su cumplimiento en el ETL, esperamos que, al igual que en otras comunidades en la REBISE, sean gradualmente aceptadas y se pueda hacer un buen uso de estos espacios de manera responsable (Caballero-Salinas 2020).

Agradecimientos.— Agradecemos a los habitantes del Ejido Tierra y Libertad, Jiquipilas, Chiapas por ayudarnos en la logística de este trabajo. Nuestro más sincero agradecimiento a Adam G. Clause, por contribuir con valiosas sugerencias que mejoraron sustancialmente este manuscrito. Gracias a Reynaldo Vázquez Velázquez, Eliazar Castellanos Cruz, y Adiptaín Vázquez Vázquez (Comisariados Ejidales), además de Julio César Chandomi Vázquez y Joselito López Roque (Agentes Municipales), por autorizar nuestro trabajo de campo en la región. Agradecemos el apoyo en campo de Ángel de Jesús Morales González, Marco Antonio Vázquez Cigarroa, Roger Cein Sánchez Pablo, José Diego y Jorge Daniel López Velázquez, Daniel Pineda Vera, Briant Alexander Rodríguez Morales, Jesús Nevit Lorenzana Martínez, Ricardo Ovando Hernández, Moisés y Amauri López Cal y Mayor, Ricardo Antonio Pérez de la Cruz, Gilberto Ángel López Escobar, Víctor Alfonso Pérez Trujillo, Alfredo Vázquez Torres y Cruz Alberto Salinas Ocaña. Nuestro agradecimiento se extiende a Ernesto Velázquez Velázquez por su asesoramiento metodológico, a Zochil Javier Vázquez y Víctor Vázquez Cruz por compartir comentarios sobre el manuscrito. Agradecemos a Joseph R. Mendelson III por ayudarnos en la identificación de algunas especies de *Incilius*, y a Neftali Camacho por catalogar nuestros comprobantes en la colección digital del Natural History Museum of Los Angeles County, California, EE. UU.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-López, J.L., L. Ortiz-Lozada, J. Pelayo-Martínez, C. Mota-Vargas, L.E. Alarcón-Villegas, y A.P. Demeneghi-Calatayud. 2020. Diversidad y conservación de anfibios y reptiles en un área protegida privada de una región altamente transformada en el sur de Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)* 36:1–14.
<http://doi.org/10.21829/azm.2020.3612164>
- Arroyo-Rodríguez, V., L. Fahrig, M. Tabarelli, J.I. Watling, L. Tischendorf, M. Benchimol, E. Cazetta, D. Faria, I.R. Leal, F.P.L. Melo, et al. 2020. Designing optimal human-modified landscapes for forest biodiversity conservation. *Ecology Letters* 23:1404–1420.
- Braasch, M., L. García-Barrios, N. Ramírez, H. Cortilla-Villar, E. Huber-Sannwald, y G. García. 2018. ¿Resinar, pastorear y conservar pinares en una reserva de la biósfera? Exploración socioecológica. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México: El Colegio de la Frontera Sur. 45 p.
- Caballero-Salinas. J.C. 2020. Bricolaje institucional y efectos en los medios de vida por el Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos, en la Reserva de la Biosfera de la Sepultura, Chiapas. Tesis de doctorado. DES Ciencias Sociales y Humanidades. Universidad Autónoma de Chiapas. 290 p.
- Canseco-Márquez, L. 1996. Estudio preliminar de la herpetofauna de la Cañada de Cuicatlan y Cerro Piedra Larga, Oaxaca. Bachelors Thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México. 188 p.
- Casas-Andreu, G., G. Valenzuela-López, y A. RamírezBautista. 1991. Cómo hacer una colección de anfibios y reptiles. Cuaderno No. 10. Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (IB-UNAM), México, D.F., México.

- Collins, J.P., y A. Storfer. 2003. Global amphibian declines: sorting the hypotheses. *Diversity and Distributions* 9:89–98.
- Crother, B.I., J. Boundy, F.T. Burbrink, K. de Queiroz, D.R. Frost, R. Highton, J.B. Iverson, E.L. Jockusch, F. Kraus, K.L. Krysko, et al. 2017. Scientific and standard English names of amphibians and reptiles of North America north of Mexico, with comments regarding confidence in our understanding. 8th Edition. Society for the Study of Amphibians and Reptiles Herpetological Circular 43. 102 p
- Crump, M.L., y N.J. Scott. Jr. 1994. Visual encounter surveys. Pp. 84–92 *In* Measuring and Monitoring Biological Diversity: Standard Methods for Amphibians. Heyer, W. R., M. A. Donnelly, R.W. McDiarmid, L.C. Hayek, and M.S. Foster (Eds.). Smithsonian Institution Press, Washington D.C, USA.
- Díaz-García, J.M., E. Pineda, F. López-Barrera, y C.E. Moreno. 2017. Amphibian species and functional diversity as indicators of restoration success in tropical montane forest. *Biodiversity and Conservation* 26:2569–2589.
- Douterlungne, D., y B.G. Ferguson. 2012. Manual de restauración ecológica campesina para la Selva Lacandona. Primera edición. El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.
- Duellman, W.E. 1966. The Central American herpetofauna: an ecological perspective. *Copeia* 1996: 701–709.
- Faeth, S.H., P.S. Warren, E. Shojat, y W.A. Marussich. 2005. Trophic dynamics in urban communities. *BioScience* 55:399–407.

- Frías-Alvarez, P., J.J. Zúñiga-Vega, y O. Flores-Villela. 2010. A general assessment of the conservation status and decline trends of Mexican amphibians. *Biodiversity and Conservation* 19:3699–3742.
- Flores-Villela, O. 1993. Herpetofauna of Mexico: distribution and endemism Cap. 7. Pp. 253–280 *In* Biological Diversity of Mexico: Origins and Distributions. Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot and J. Fa. (Eds.). Oxford University Press, New York, New York, USA.
- Flores-Villela, O., y P. Geréz. 1994. Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, México, D. F., México.
- Gaston, K.J., y T.M. Blackburn. 1996. Conservation implications of geographic range size-body size relationships. *Conservation Biology* 10:638–646.
- García-Amado, L.R., M. Ruiz-Pérez, y S. Barrasa-García. 2013. Motivation for conservation: assessing integrated conservation and development projects and payments for environmental services in La Sepultura Biosphere Reserve, Chiapas, Mexico. *Ecological Economics* 89:92–100.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köppen. Quinta Edición. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, D. F., México.
- Gaviño de la Torre, G., C. Juárez-López, y H. H. Figueroa-Tapia. 1977. Técnicas biológicas selectas de laboratorio y de campo. Limusa, México, D. F., México. 251 p.

- Godínez-Gómez, O., C. Schank, J.F. Mas, y E. Mendoza. 2020. An integrative analysis of threats affecting protected areas in a biodiversity stronghold in southeast Mexico. *Global Ecology and Conservation* v. 24, pp. e01297. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01297>.
- Gómez-Baggethun, E., y R. Groot. 2007. Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas* 16: 4–14.
- González-García A., J. Belliure, A. Gómez-Sal, y P. Dávila. 2009. The role of urban greenspaces in fauna conservation: the case of the iguana *Ctenosaura similis* in the patios of León city, Nicaragua. *Biodiversity and Conservation* 18:1909–1920.
- Granados-Sánchez, D., M.A. Hernández-García, y G.F. López-Ríos. 2006. Ecología de las zonas ribereñas. *Revista Chapingo* 12:55–59.
- Guevara, S. 2010. Las reservas de biosfera en Iberoamérica. *Ambienta Revista* 92:46–56.
- Gutiérrez-Navarro, A., L.E. García-Barrios, M. Parra-Vázquez y P. Rosset. 2017. De la supresión al manejo del fuego en la Reserva de la Biosfera La Sepultura, Chiapas: perspectivas campesinas. *Región y Sociedad* 29:31–70.
- Hernández-Ordoñez, O., M.J. Cervantes-López, A. González-Hernández, E. Andresen, y V.H. Reynoso. 2017. First Record of the Limestone Rainfrog *Craugastor psephosypharus* (Amphibia: Anura: Craugastoridae) in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88:260–264.
- Hewlett, J. D, y J.D. Helvey. 1970. Effects of forest clear-felling on the storm hydrograph. *Water Resources Research* 6:768–782.
- Instituto Nacional de Ecología. 1999. Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera La Sepultura, México. Instituto Nacional de Ecología, México, D. F., Mexico. 230 p.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2015. Carta uso del suelo y vegetación. Escala 1: 250 000. E15-11. Aguascalientes, Aguascalientes. 1 p.
- International Union for the Conservation of Nature (IUCN). 2022. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021-3. IUCN. <http://www.iucnredlist.org>.
- Jellinek, S., D.A. Driscoll, y J.B. Kirkpatrick. 2004. Environmental and vegetation variables have a greater influence than habitat fragmentation in structuring lizard communities in remnant urban bushland. *Austral Ecology* 29:294–304.
- Jiménez-Valverde, A., y 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. 1989. A biogeographic analysis of the herpetofauna of the Northwestern Nuclear Central America. *Milwaukee Public Museum Contributions in Biology and Geology* 76:1–66.
- Johnson, J.D., V. Mata-Silva, E. García-Padilla, y L.D Wilson. 2015. The herpetofauna of Chiapas, México composition physiografhic distribution, and conservation. *Mesoamerican herpetology* 2 (3): 272-329.
- Johnson, J.D., V. Mata-Silva, y A. Ramírez-Bautista. 2010. Geographic distribution and conservation of the herpetofauna of southeastern Mexico. Pp. 323– 369 *In Conservation of Mesoamerican Amphibians and Reptiles*. Wilson, L.D., J.H. Townsend, and J.D. Johnson (Eds.). Eagle Mountain Publishing, LC, Eagle Mountain, Utah, USA.
- Köhler, G. 2011. *Amphibians of Centro America*. Herpeton Verlag Elke Köhler, Offenbach, Germany.
- Lara-Tufiño, J.D., L.M. Badillo-Saldaña, R. Hernández-Austria, y A. Ramírez-Bautista. 2019. Effects of traditional agroecosystems and grazing areas on amphibian diversity in a region of central Mexico. *PeerJ* 7:e6390. <https://doi.org/10.7717/peerj.6390>.

- Leenders, T. 2001. A Guide to Amphibians and Reptiles of Costa Rica. Zona Tropical, Miami, Florida, USA.
- Lips, K.R., J.K. Rehacer, B.E. Young, y R. Ibáñez. 2001. Amphibian Monitoring in Latin America: A Protocol Manual. Society for the Study of Amphibians and Reptiles, University of Minnesota, USA.
- López-Vila, J.M., A. Torres-Meza, E.I. Romero-Berny, y D. Pineda-Vera. 2018. Herpetofauna del sitio arqueológico Iglesia, Vieja, Costa de Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana* 34:1–14.
- Luna-Reyes, R. 1997. Distribución de la herpetofauna por tipos de vegetación en el Polígono I de la Reserva de la Biosfera El Triunfo. Bachelors Thesis, Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F., México. 144 p. + appendices.
- Magurran, A.E. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Manzanilla, J., y J.E. Péfaur. 2000. Consideraciones sobre métodos y técnicas de campo para el estudio de anfibios y reptiles. *Revista de Ecología Latinoamericana* 7:17–30.
- Méndez-Arcadio, S. 2011. Factibilidad de resinación de pino (*Pinus oocarpa*) en el Ejido Tres Picos, Villaflores, Chiapas. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.
- Moreno, C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad, Manuales y Tesis SEA. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo/Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe, La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (ORCYT-UNESCO)/ Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA), Zaragoza, España. 84 p.

- Müllerried, F.K.G. 1982. Geología de Chiapas. Publicaciones del Gobierno del Estado, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Muñoz-Alonso, L.A., N. López-León, A. Hórvath, y R. Luna-Reyes. 2013. Los Anfibios. Pp. 305-318 *In* La Biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (Ed.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Gobierno del Estado de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Núñez-Orantes, H., y A. Muñoz-Alonso. 2000. Inventario herpetofaunístico de la Reserva de la Biosfera La Sepultura, Chiapas, México. Secretaría de Medio Ambiente Vivienda e Historia Natural. Informe final Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad proyecto No. L003. México, D.F., México. 32 p.
- Ochoa-Ochoa, L.M., y O. A. Flores-Villela. 2006. Áreas de diversidad y endemismo de la herpetofauna Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. F., México. 211 p.
- Pedroza-Banda, R., y T. Angarita-Sierra. 2011. Herpetofauna de los humedales La Bolsa y Charco de Oro, Andalucía, Valle del Cauca, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias* 135:243–260.
- Pianka, E.R. 1966. Latitudinal gradients in species diversity: a review of concepts. *The American Naturalist* 100:33–46.
- Pineda, E., C. Moreno, G. Halffter, y F. Escobar. 2005. Transformación del Bosque de niebla en agroecosistemas cafetaleros: cambios en las diversidades alfa y beta de tres grupos faunísticos. Pp. 170-190 *In* Sobre Diversidad Biológica: El Significado de las Diversidades Alfa, Beta y

- Gamma. Halffter, G., J. Soberón, P. Koleff, and A. Melic. (Eds). Sociedad Entomológica Aragonesa; Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Grupo Diversitas-México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Zaragoza, México.
- Ramírez-Bautista, A. 2004. Diversidad de estrategias reproductivas en un ensamble de lagartijas de una región tropical estacional de las costas del Pacífico de México. *Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana* 12:7–16.
- Ramírez-Bautista, A., y A. Nieto-Montes de Oca. 1997. Ecogeografía de anfibios y reptiles. Pp. 523-532. *In* Historia Natural de Los Tuxtlas. González-Soriano, E., R. Dirzo, and R.C. Vogt. (Eds.) Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F., México.
- Ray, B.J.M. 1995. Patterns of diversity in the strata of boreal montane forest in British Columbia. *Journal of Vegetation Science* 6:95–98.
- Rice, R.A., y R. Greenberg. 2000. Cacao cultivation and the conservation of biological diversity. *AMBIO- A J. Journal of the Human Environment* 29:167–173.
- Rodríguez-Mendoza, C., y E. Pineda. 2010. Importance of riparian remnants for frog species diversity in a highly fragmented rainforest. *Biology Letters* 6:781–784.
- Román-Cuesta, R.M., y J. Martínez-Vilalta. 2006. Effectiveness of protected areas in mitigating fire within their boundaries: case study of Chiapas, Mexico. *Conservation Biology* 20:1074–1086.
- Sandova, L., G. Barrantes, D. Ocampo, y C. Sánchez-Quirós. 2015. Sexual size dimorphism and acoustical features of the preadvertisement and advertisement calls of *Rhinophrynus dorsalis* Duméril & Bibron, 1841 (Anura: Rhinophrynidae). *Mesoamerican Herpetology* 2:154–166.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 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. México, D. F., México.
- Skelly, D.K., L.K. Freidenburg, y J.M. Kiesecker. 2002. Forest Canopy and the performance of larval amphibians. *Ecology* 83:983–992.
- Smith, G.C., T. Lewis, y L.D. Hogan. 2015. Fauna community trends during early restoration of alluvial open forest/woodland ecosystems on former agricultural land. *Restoration Ecology* 23:787–799.
- Sodhi, N.S., D. Bickford, A.C. Diesmos, T.M. Lee, L.P. Koh, B.W. Brook, C.H. Sekercioglu, y C.J.A. Bradshaw. 2008. Measuring the meltdown: drivers of global amphibian extinction and decline. *PLoS ONE* 3:e1636. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001636>
- Stuart, S.N., M. Hoffmann, J.S. Chanson, N.A. Cox, R.J. Berridge, P. Ramani, y B.E. Young. 2008. *Threatened Amphibians of the World*. Lynx Editions, Barcelona, Spain.
- Urbina-Cardona, J.N., y V.H. Reynoso. 2005. Recambio de anfibios y reptiles en el gradiente potrero-borde-interior de Los Tuxtlas, Veracruz, México. Pp. 191–208. *In* Sobre Diversidad Biológica: el Significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma. Halffter, G., J. Soberón, P. Koleff, and A. Melic. (Eds). Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA)/Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Grupo Diversitas-México/Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Zaragoza, México.
- Vázquez-López, R., R. Domínguez-Caballero, R. Domínguez-Javier, R. Ramírez-Vázquez, P. Ramírez-Cruz, F. López-Domínguez y C. Cruz-Acosta. 1977. Acta constitutiva del comité de

- planeación y desarrollo del Ejido Tierra y Libertad, Municipio de Jiquipilas, del Estado de Chiapas. Tierra y Libertad, Jiquipilas, Chiapas, México. 44 p.
- Vite-Silva, V.D., A. Ramírez-Bautista, y Hernández-Salinas, U. 2010. Diversidad de anfibios y reptiles de la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán, Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 473–485.
- Vitt, J.L., R.A. Sousa, S.S. Sartorius, T.C. Ávila-Pirés, y M. C. Espósito. 2000. Comparative ecology of sympatric *Gonatodes* (Squamata: Gekkonidae) in the western Amazon of Brazil. *Copeia* (1):83–95. [http://doi.org/10.1643/0045-8511\(2000\)2000\[0083:CEOSGS\]2.0.CO;2](http://doi.org/10.1643/0045-8511(2000)2000[0083:CEOSGS]2.0.CO;2)
- Wake, D.B. 1991. Declining amphibian populations. *Science* 253:860–890.
- Wake, D.B., y V. 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. doi:10.1073/pnas.0801921105
- Wells, K.D. 2007. *The ecology and behavior of amphibians*. University of Chicago Press, Chicago, IL, USA. 1400 p.
- Yuan, Z.Y., W.W. Zhou, X. Chen, N.A. Poyarkov, Jr, H.M. Chen, N.H. Jang-Liaw, W.H. Chou, N.J. Matzke, K. Iizuka, M.S. Min, et al. 2016. Spatiotemporal Diversification of the True Frogs (Genus *Rana*): a historical framework for a widely studied group of model organisms. *Systematic Biology* 65:824–842.
- Zabala-Forero, F., y N. Urbina-Cardona. 2021. Respuestas de la diversidad taxonómica y funcional a la transformación del paisaje: relación de los ensamblajes de anfibios con cambios en el uso y cobertura del suelo. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 92:e923443. <http://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3443>

CUADRO 1. Anfibios del Ejido Tierra y Libertad, Jiquipilas, Chiapas, con el estado de conservación de las especies documentadas dentro y fuera de la Reserva de la Biosfera La Sepultura. Vales fotográficos digitales depositados en el Museo de Historia Natural del Condado de Los Ángeles (consulte el anexo de figuras para ver los números de vale). Las abreviaturas de microhábitats son A= arborícola, AN= antropogénico, F = fosorial, D = dulceacuícola, R = Ripario, S= saxícola, SF = semifosorial, T = terrestre. Los estados de conservación son: NM = NOM-059-SEMARNAT-2010 (México) con Pr = sujeta a protección especial y NS = sin estado; IUCN = Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza Lista Roja de Especies Amenazadas 2015 con NE = no evaluada, LC = Preocupación Menor, NT = Casi Amenazada, VU = Vulnerable y EN = En Peligro; EVS = Puntaje de Vulnerabilidad Ambiental con L = Bajo (3–9) y M = Medio (10–13).

Taxón	Estado de Conservación			La Sepultura		
	NM ¹	IUCN ²	EVS ³	Interior	Exterior	Microhábitat
Orden Anura						
Familia Bufonidae						
Sapo Enano (<i>Incilius canalisferus</i>)	NS	LC	L(8)	Sí	No	T, R
Sapo de Wiegmann (<i>Incilius marmoreus</i>)*	NS	LC	M(11)	No	Sí	T
Sapo de la Costa Sur (<i>Incilius valliceps</i>)	NS	LC	L(6)	Sí	Sí	T, R, D
Sapo de Caña Americano (<i>Rhinella horribilis</i>)	NS	LC	L(3)	Sí	Sí	F, SF, T, R, D
Familia Craugastoridae						
Rana de Hojarasca Común (<i>Craugastor loki</i>)	NS	LC	M(10)	Sí	Sí	SF, T, R, D
Familia Eleutherodactylidae						
Rana Chirriadora (<i>Eleutherodactylus pipilans</i>)	NS	LC	M(11)	Sí	Sí	T
Familia Hylidae						
Rana Arborícola Amarilla de Mertens (<i>Dendropsophus robertmertensi</i>)	NS	LC	L(9)	Sí	Sí	A, R
Rana de Arroyo de Montaña de Schmidt (<i>Duellmanohyla schmidtorum</i>)	Pr	VU	L(8)	Sí	No	S, A, R, D
Rana Puntiaguda de Matuda (<i>Plectrohyla matudai</i>)	NS	VU	M(11)	Sí	No	S, R, F
Rana Arborícola de Stauffer (<i>Scinax staufferi</i>)	NS	LC	L(4)	Sí	Sí	A, R, F

Rana Arboricola Mexicana (<i>Smilisca baudinii</i>)	NS	LC	L(3)	Sí	Sí	T, A, AN, R, D
Familia Leptodactylidae						
Mexican White-lipped Frog (<i>Leptodactylus fragilis</i>)	NS	LC	L(5)	No	Sí	T
Rana de Sabinal (<i>Leptodactylus melanonotus</i>)	NS	LC	L(5)	Sí	Sí	
Familia Microhylidae						
Sapo Mexicano de Boca Estrecha (<i>Hypopachus variolosus</i>)	NS	LC	L(4)	Sí	Sí	F, S, T
Familia Ranidae						
Rana de Pasto de Forrer (<i>Rana forreri</i>)	Pr	LC	L(3)	Sí	Sí	T, R, D
Rana Masked Mountain Frog (<i>Rana maculata</i>)	Pr	LC	L(3)	Sí	Sí	T
Familia Rhinophrynidae						
Sapo Excavador (<i>Rhinophrynus dorsalis</i>)	Pr	LC	L(8)	No	Sí	F, T, D
Orden Caudata, Familia Plethodontidae						
Salamandra Lengua de Hongo de Vientre Amarillo (<i>Bolitoglossa flaviventris</i>)	NS	EN	M(13)	Sí	Sí	A, R
Salamadra Bananera del Sur (<i>Bolitoglossa occidentalis</i>)	Pr	LC	M(11)	Sí	No	A
Orden Gymnophiidae, Familia Dermophiidae						
Cecilia Mexicana (<i>Dermophis mexicanus</i>)	Pr	VU	M(11)	Sí	Sí	T

CUADRO 2. Valores de abundancia, diversidad alfa (H'), riqueza y estimadores de riqueza para transectos en el Ejido Tierra y Libertad, Municipio de Jiquipilas, Chiapas, México. La abreviación N/A indica estimadores que no se calcularon porque no se cumplieron los supuestos de homogeneidad ambiental. En el caso la vegetación secundaria de selva baja caducifolia, el bajo número de especies que observamos impidió el cálculo de cualquier estimador. Los estados de perturbación antropogénica son SD = Sin disturbio y D = con disturbio

Vegetación	Abundancia	H'	Riqueza	Jack 1	Jack 2	Chao 1	Chao 2
Selva mediana subcaducifolia (SD)	485	2.39	5	5.96	6	5	5
Selva Mediana Subcaducifolia empleada como Cafetal (D)	264	2.13	4	4	4	4.48	4
Selva Baja Caducifolia (SD)	179	1.94	5	6.92	7.87	5.99	5.48
Vegetación Secundaria de Selva Baja Caducifolia (D)	44	1.45	2	N/A	N/A	N/A	N/A
Bosque de Pino (SD)	51	1.44	5	5	N/A	5	5
Bosque de Pino (D)	86	1.46	7	N/A	7.87	N/A	N/A
Bosque de Ribera (SD)	274	2.24	7	7.96	8.88	7	7
Bosque de Ribera (D)	283	2.36	8	9.92	10.87	8	8.48
Zona de Cultivo	39	1.98	7	10.83	13.62	9.92	9.88
Potrero	9	0.96	4	4	4	N/A	N/A
Área Urbana	498	1.94	10	12.88	12.99	10.5	10.72

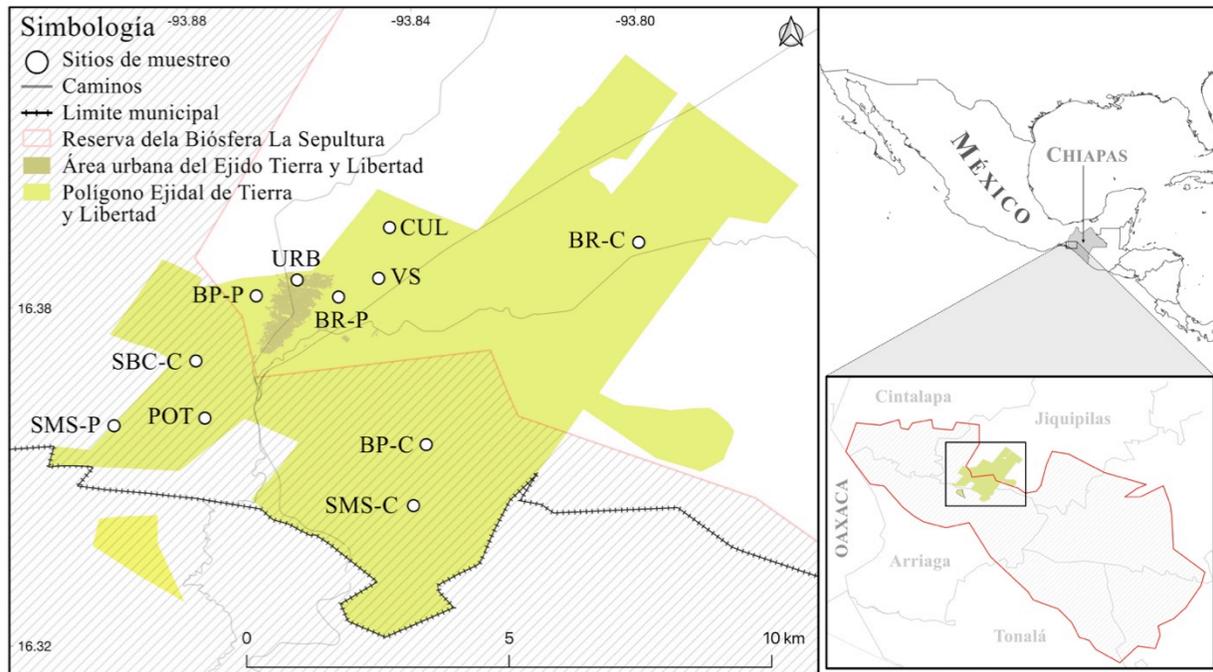


FIGURA 1. Ubicación geográfica del área de estudio y transectos de muestreo en el Ejido Tierra y Libertad, Municipio de Jiquipilas, Chiapas, México. Abreviaturas de transectos: SMS-C = Selva Mediana Subcaducifolia sin disturbio; SMS-P = Selva Mediana Subcaducifolia empleada como cafetal; SBC-C = Selva Baja Caducifolia sin disturbio; VS = vegetación secundaria de Selva Baja Caducifolia; BP-C = Bosque de Pino sin disturbio BP-P = Bosque de Pino con disturbio; BR-C = Bosque de Ribera sin disturbio; BR-P = Bosque de Ribera con disturbio; CUL = zonas agropecuarias de cultivo (excluyendo cafetales); POT = potreros (excluyendo la vegetación secundaria); y URB = área urbana.

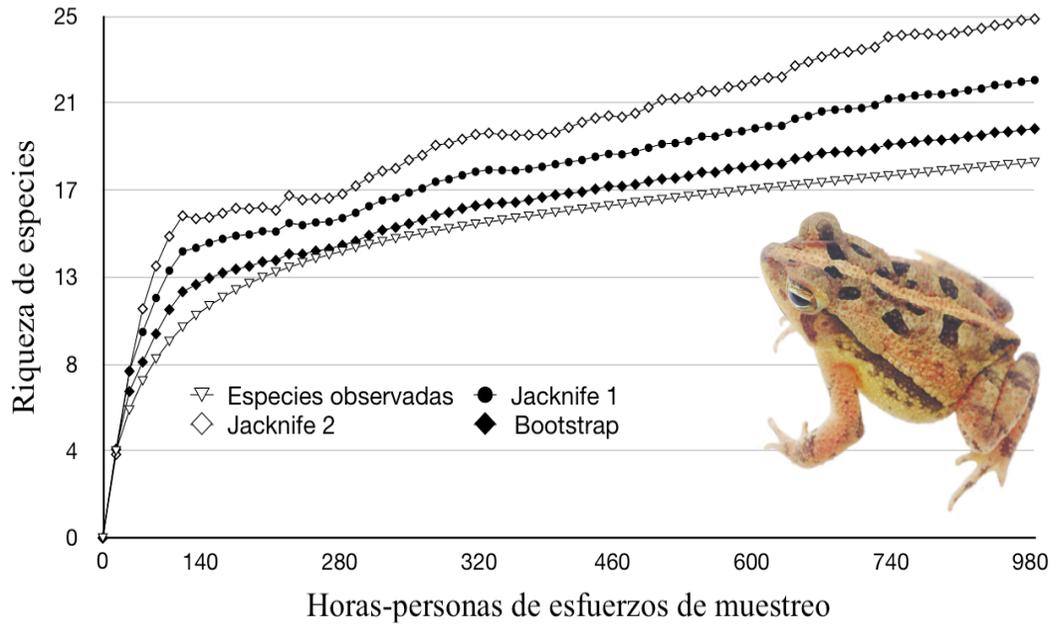


FIGURA 2. Riqueza general acumulada de especies de anfibios del total de muestras en el Ejido Tierra y Libertad, Municipio de Jiquipilas, Chiapas, México. El recuadro ilustra al Sapo Enano (*Incilius canaliferus*). (Fotografía por Emmanuel Javier-Vázquez).

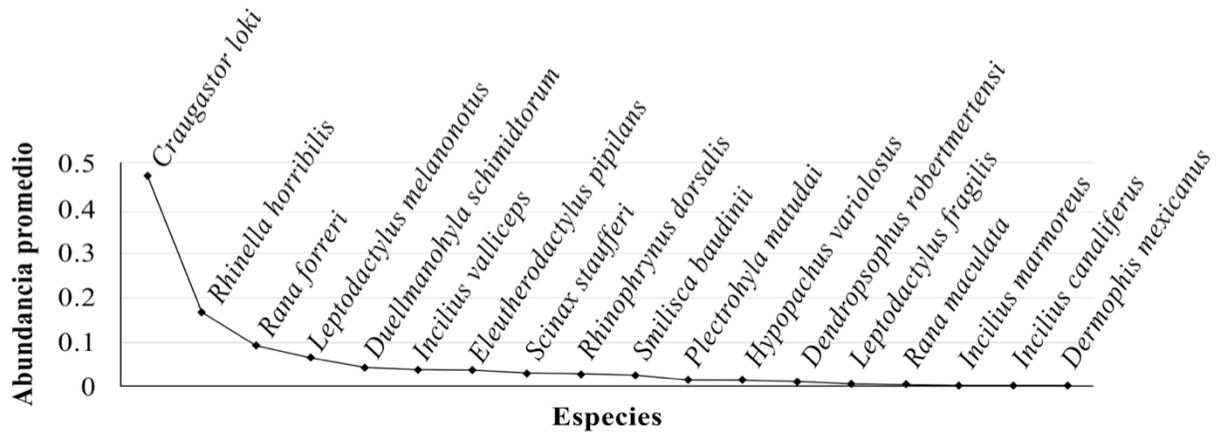


FIGURA 3. Abundancia relativa de anfibios como proporción del total de individuos observados en el Ejido Tierra y Libertad, Municipio de Jiquipilas, Chiapas, México. Rana de Hojarasca Común (*Craugastor loki*), Sapo de Caña Americano (*Rhinella horribilis*), Rana de Pasto de Forrer (*Rana forreri*), Rana de Sabinal (*Leptodactylus melanonotus*), Rana de Arroyo de Montaña de Schmidt (*Duellmanohyla schmidtorum*), Sapo de la Costa Sur (*Incilius valliceps*), Rana Chirriadora (*Eleutherodactylus pipilans*), Rana Arborícola de Stauffer (*Scinax staufferi*), Sapo Excavador (*Rhinophrynus dorsalis*), Rana Arborícola Mexicana (*Smilisca baudinii*), Rana Puntiguda de Matuda (*Plectrohyla matudai*), Sapo Mexicano de Boca Estrecha (*Hypopachus variolosus*), Rana Arborícola Amarilla de Mertens (*Dendropsophus robertmertensi*), Mexican White-lipped Frog (*Leptodactylus fragilis*), Rana Masked Mountain Frog (*Rana maculata*), Sapo de Wiegmann (*Incilius marmoreus*), Sapo Enano (*Incilius canaliferus*) y la Cecilia Mexicana (*Dermophis mexicanus*).

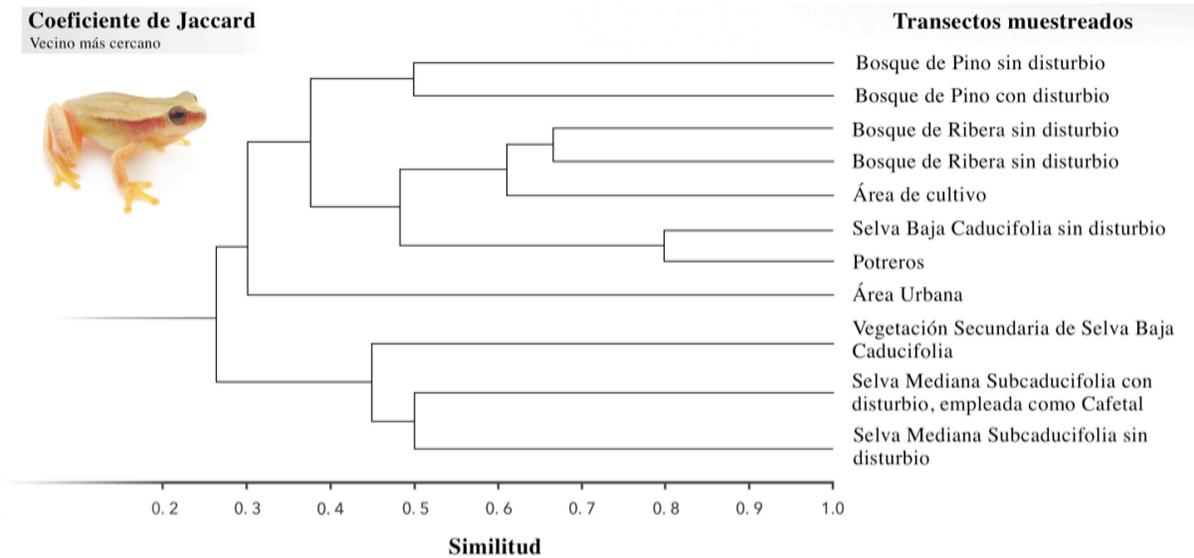


FIGURA 4. Dendrograma de similitud de anfibios entre transectos de prospección estandarizados en el Ejido Tierra y Libertad, Municipio de Jiquipilas, Chiapas, México, con base en el Coeficiente de Jaccard. El recuadro ilustra a la Rana Arborícola Amarilla de Mertens (*Dendropsophus robertmertensi*) (Fotografía por Emmanuel Javier-Vázquez).

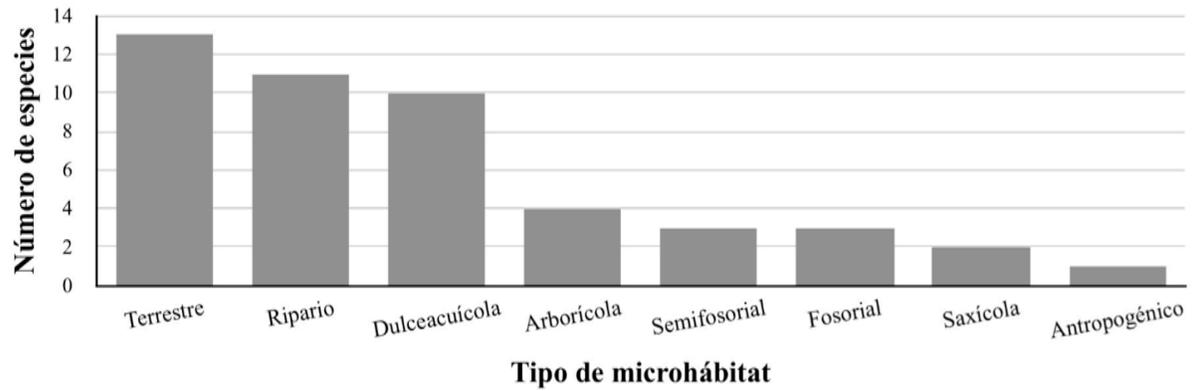
A

FIGURA 5. (A) Riqueza de especies de anfibios por microhábitat en el Ejido Tierra y Libertad, Municipio de Jiquipilas, Chiapas, México. (B) Hábitat terrestre típico en los bordes del área urbana, y (C) Hábitat ribereño típico a lo largo del río principal de ETL. (Fotografías por Emmanuel Javier Vázquez).

APÉNDICE DE FIGURAS. Registro fotográfico de las especies de anfibios documentados en el Ejido Tierra y Libertad, Municipio de Jiquipilas, Chiapas, Mexico, con números de comprobante correspondientes a la colección digital del Natural History Museum del Condado de Los Angeles, California, EE.UU. Para la estandarización, algunas fotografías se reflejan intencionalmente en forma horizontal. Las imágenes no están a escala. (Fotografías por Emmanuel Javier-Vázquez).



LACM PC 2850

Sin número en LACM PC

LACM PC 2855

LACM PC 2857

Incilius canaliferus

Incilius marmoratus

Incilius valliceps

Rhinella horribilis



LACM PC 2858



LACM PC 2860



LACM PC 2862 (individual at left)



Craugastor loki

Eleutherodactylus pipilans

Dendropsophus robertmertensi



LACM PC 2864 (individual at left)



Duellmanohyla schmidtorum



LACM PC 2865

Plectrohyla matudai



LACM PC 2867

Scinax staufferi



LACM PC 2868

Smilisca baudinii



LACM PC 2869

Leptodactylus fragilis



LACM PC 2870



LACM PC 2871

Leptodactylus melanonotus



LACM PC 2873

Hypopachus variolosus



LACM PC 2875

Rana forreri



No number in LACM PC

Rana maculata



Sin número en LACM PC

Rhinophrynus dorsalis



Sin número en LACM PC

Bolitoglossa flaviventris



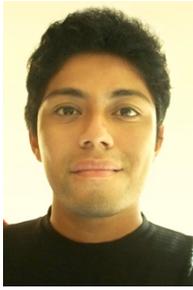
LACM PC 2883

Bolitoglossa occidentalis

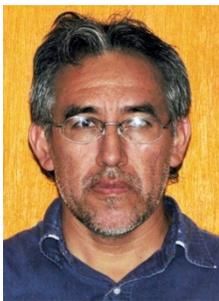


Sin número en LACM PC

Dermophis mexicanus



EMMANUEL JAVIER-VÁZQUEZ es un científico mexicano. Obtuvo su Licenciatura en Biología en 2022 por la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Mexico. Su tesis se centró en evaluar la diversidad de reptiles de una zona del suroeste de Chiapas, México. Su investigación se centra principalmente en la conservación, biogeografía y ecología de vertebrados, principalmente de anfibios y reptiles, para los que ha publicado varias contribuciones científicas. Emmanuel también tiene una amplia experiencia en trabajo de campo, fotografía e ilustración científica. (Fotografía de María Belén Javier Vázquez).



ROBERTO LUNA-REYES es un herpetólogo mexicano que recibió su Licenciatura en Biología y Maestría en Ciencias Biológicas por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, y actualmente es candidato a doctor en Desarrollo Sustentable en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. También es investigador de la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural en el estado de Chiapas, México, y profesor de UNICACH donde imparte cursos de sistemática, biogeografía y

evolución. Sus principales áreas de interés son la sistemática, biogeografía y conservación de anfibios y reptiles. (Fotografía de Javier Alejandro Luna-Sánchez).



AZENETH MORENO OVANDO es Licenciada en Enfermería por la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), Subsede Venustiano Carranza, Chiapas, México. Sus intereses se centran en el desarrollo humano, la biología y la conservación de grupos biológicos sensibles a la presencia humana. Azeneth vincula la investigación ecológica y biológica con su aplicación en el campo del bienestar humano, para ayudar a las personas a tener una mejor calidad de vida. (Fotografía por Azeneth Moreno Ovando).