

# LA PLATAFORMA NATURALISTA COMO HERRAMIENTA DE CIENCIA CIUDADANA PARA DOCUMENTAR LA DIVERSIDAD DE ANFIBIOS EN EL ESTADO DE SINALOA, MÉXICO

NATURALISTA PLATFORM AS A TOOL OF CITIZEN SCIENCE TO DOCUMENT THE DIVERSITY OF AMPHIBIANS IN THE STATE OF SINALOA, MEXICO

HÉCTOR ALEXIS CASTRO-BASTIDAS<sup>1\*</sup> & JOSÉ MANUEL SERRANO-SERRANO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Postgrado en Ciencias Aplicadas al Aprovechamiento de los Recursos Naturales, Centro de Estudios Justo Sierra "CEJUS", Badiraguato 80600, Sinaloa; México.

<sup>2</sup>Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera", Departamento Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México.

\*Correspondence: alexizbastidas@gmail.com

Received: 2021-10-26. Accepted: 2022-02-04. Published: 2022-03-17.

Editor: Rafael Alejandro Lara Resendiz, México.

**Abstract.**— Citizen science contributes to obtaining information on biodiversity. In this study, we analyze distribution patterns, phenology, and environmental vulnerability in unstructured data from the Naturalista platform on amphibians from the state of Sinaloa, a region of Mexico with little scientific exploration. In addition, we evaluated the hypothesis that the species registered in Naturalista do not correspond exclusively to a low or medium level of environmental vulnerability. In total, we detected records of 30 species of amphibians belonging to 10 families, among which the widening of the distribution of a species of anuran within Sinaloa and relevant observations on the natural history of different species stand out. The family Bufonidae presented the highest number of records and Eleutherodactylidae the lowest number of records and the highest risk of threat. Most amphibian records were concentrated around urban areas of the coastal plain. Only three of the 19 protected natural areas in Sinaloa had amphibian records in Naturalista. Finally, we find that all levels of environmental vulnerability are registered proportionally to the list of amphibians in Sinaloa. Together, Naturalista records in Sinaloa make it possible to distinguish amphibian communities, identify strategic sites and key species to monitor amphibian fauna.

**Keywords.**— Biodiversity, conservation, databases, *iNaturalist*, Protected Areas.

**Resumen.**— La ciencia ciudadana contribuye a generar información sobre biodiversidad. En este estudio analizamos patrones de distribución, fenología y vulnerabilidad ambiental en datos no estructurados de la plataforma Naturalista sobre anfibios del estado de Sinaloa, una región de México con escasa exploración científica. Además, evaluamos la hipótesis de que las especies registradas en Naturalista no corresponden exclusivamente a un nivel de vulnerabilidad ambiental bajo o medio. En total, detectamos registros de 30 especies de anfibios pertenecientes a 10 familias, entre las que destaca la ampliación de distribución de una especie de anuro dentro de Sinaloa y observaciones relevantes sobre la historia natural de distintas especies. La familia Bufonidae presentó el mayor número de registros y Eleutherodactylidae el número más bajo de registros, pero mayor riesgo de amenaza. La mayoría de los registros de anfibios se concentraron alrededor de áreas urbanas de la planicie costera. Solo tres de las 19 áreas naturales protegidas de Sinaloa tuvieron registros de anfibios en Naturalista. Por otro lado, encontramos que todos los niveles de vulnerabilidad ambiental



se encuentran registrados proporcionalmente al listado de anfibios de Sinaloa. En conjunto, los registros de Naturalista en Sinaloa permiten distinguir comunidades de anfibios, identificar sitios estratégicos y especies clave para monitorear la anfibiofauna.

**Palabras clave.**— Áreas naturales protegidas, bases de datos, biodiversidad, conservación, *iNaturalist*.

## INTRODUCCIÓN

La contribución de información sobre la biodiversidad a través de plataformas de ciencia ciudadana ha ido en aumento en los últimos años (Donald et al., 2001; Turbé et al., 2019). La participación voluntaria del público en actividades científicas se conoce como ciencia ciudadana (Newman et al., 2012). Estas participaciones son facilitadas por el uso de las tecnologías de la información y comunicación que son un conjunto de herramientas relacionadas con la transmisión, procesamiento y almacenamiento digitalizado de información (Longo et al., 2020). La mayor accesibilidad a los dispositivos móviles y al internet son factores que han incrementado la obtención y el procesamiento de información (Conti et al., 2017; Conti & Passarella, 2018). Esta forma de ciencia abierta a la ciudadanía ha contribuido a aumentar el conocimiento sobre la biodiversidad, la comprensión de los patrones socioecológicos en áreas urbanas (Callaghan et al., 2020), el conocimiento sobre especies amenazadas o con distribución restringida (Johnston et al., 2020; Lloyd et al., 2020), incrementando las colecciones de museos (Spear et al., 2017); así mismo, ha ayudado a georreferenciar datos moleculares (Borzée et al., 2019), en el monitoreo de especies invasoras (Johnson et al., 2019), en la identificación de especies indicadoras de la calidad del ambiente (Krabbenhoft & Kashian, 2020), incluso al descubrimiento de nuevas especies (Alvarado-Cárdenas et al., 2020; Collins & Velazco-Macias, 2021; Edwards, 2020).

La adquisición de información usando plataformas de ciencia ciudadana puede ocurrir de forma estructurada, guiada por expertos y con objetivos específicos, o bien, de forma no estructurada con participaciones aleatorias por parte de distintos públicos. Ambas estrategias de adquisición de la información confieren distinto grado de complejidad de los datos, patrones de distribución espacial, temporalidad y cantidad de registros (Boersch-Supan et al., 2019; Newson et al., 2015; Pocock et al., 2015). Aun así, en cada uno de estos casos la información puede ser bastante útil. Por ejemplo, los datos no estructurados se han usado principalmente para determinar la distribución de especies (Johnston et al., 2020), evaluar estatus de conservación (Maes et al., 2015; Powney & Issac, 2015), fenología (Phillimore et al., 2010) y para estimar el compromiso de los observadores con la naturaleza en áreas urbanas (Zambrano et al., 2019).

En la tarea de cubrir los vacíos de información sobre biodiversidad alrededor del mundo, *iNaturalist* es una plataforma digital que ha contribuido con un gran número de registros sobre la distribución de diferentes taxones (p. ej. Laufer et al., 2018; Pearman-Gillman et al., 2019). *iNaturalist* es un proyecto de ciencia ciudadana creado en 2008 y una red social de naturalistas, científicos ciudadanos, biólogos y aficionados, basada en el concepto de mapeo e intercambio de observaciones sobre biodiversidad. En el caso de México, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) estableció en 2013 el primer nodo oficial de *iNaturalist* fuera de Estados Unidos mediante la plataforma de Naturalista (<https://www.naturalista.mx/>), iniciando la red internacional que a la fecha consta de 20 países a nivel global. Es posible acceder a Naturalista a través de su sitio web o de la aplicación móvil de *iNaturalist*. A partir de aquí se usará el término Naturalista para referir a la plataforma de ciencia ciudadana *iNaturalist*. Las observaciones realizadas con Naturalista proporcionan datos abiertos al público en general que pueden ser incorporados a proyectos de búsqueda científica, agencias de conservación y otras organizaciones. Simultáneamente, es posible crear grupos en torno a proyectos de áreas selectas de observación (área verde, parque, colonia, área natural protegida, etc.) e invitar a otros naturalistas (Naturalista se refiere a los observadores que participan en la plataforma como naturalistas) a incluir sus observaciones. La información bruta de Naturalista puede incluir registros con distinto grado de utilidad o calidad: 1) casual; 2) necesita identificación; y 3) grado de investigación. El proceso de identificación taxonómica de las aportaciones de los naturalistas es un proceso curatorial participativo que depende de la plataforma global de naturalistas, el cual permite identificar observaciones de grado de investigación, que se definen como aquellas que tienen una fotografía o audio nítidos, fecha, coordenadas geográficas y el respaldo de la comunidad de naturalistas (Borzée et al., 2019; Callaghan et al., 2020). Las observaciones de Naturalista que cumplen con los criterios de grado de investigación se incorporan cada mes directamente en *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF). La plataforma de GBIF mantiene acceso abierto, actualizado y disponible para la consulta de datos georreferenciados sobre todos los taxones, conteniendo información sobre biodiversidad que proviene de organizaciones internacionales como el Catálogo de la Vida (CoL), bases de datos de colecciones científicas de todo el mundo

como VertNet ([vertnet.org](http://vertnet.org)) y bases de datos de observaciones como eBird ([ebird.org](http://ebird.org)) y el mismo *iNaturalist*, por mencionar algunas. Además, los formatos de descarga (CSV delimitado por tabulaciones y Darwin Core Archive) son fáciles de utilizar y gestionar e incluyen solo los datos después de haber pasado por verificación e interpretación (GBIF, 2021a).

La Sierra Madre Occidental y su vertiente hacia el Pacífico en el occidente de México es una zona desprovista de exploraciones científicas para evaluar la biodiversidad regional desde la década de 1970, debido principalmente a la dificultad para acceder a la parte más alta de la Sierra (Flores-Villela et al., 2004; Hardy & McDiarmid, 1969; Sarukhán & García-Méndez, 2003) y por conflictos sociales en la región (Carpio-Domínguez, 2021). Esta región se encuentra en una zona de transición biogeográfica en la que confluyen componentes de los desiertos de Sonora al norte, las tierras bajas tropicales del sur y los ambientes templados de las laderas occidentales de la Sierra Madre Occidental (Halfpeter & Morrone, 2017; Lemos-Espinal & Smith, 2020; Morrone, 2001; Serrano et al., 2014). Algunos esfuerzos por evaluar la biodiversidad de distintos taxones en Sinaloa incluyen inventarios de vegetación, aves, mamíferos, anfibios y reptiles en sitios específicos (Ávila-González et al., 2019; Hardy & McDiarmid, 1969; Márquez-Salazar et al., 2019; Medina-Torres et al., 2016; Van der Heiden et al., 2018; Van Devender et al., 2012). En el caso particular de los anfibios, las últimas expediciones científicas fueron realizadas al inicio de la década de 1970 e incluyen transectos donde se describen comunidades de anfibios en el norte y sur de Sinaloa (McDiarmid et al., 1976; Webb, 1984; ver también Fulger & Dixon, 1961; Lewis & Johnson, 1956; Smith & Van Gelder, 1955). La falta de datos científicos recientes sobre la biodiversidad de esta zona puede dificultar toma de decisiones suficientemente sustentadas, por ejemplo, en torno a las repercusiones de las presiones antrópicas, como la fragmentación del hábitat y el cambio climático sobre la diversidad biológica, que aún son desconocidas en la región fuera de la zona costera (Flores-Campaña et al., 2012). En particular, comprender las adaptaciones biológicas al estrés climático de la biodiversidad que alberga el bosque tropical caducifolio en Sinaloa es sumamente relevante en el contexto de cambio climático, debido al riesgo de los ecosistemas en la región por su marcada estacionalidad (Álvarez-Yépiz, 2020; Berlanga-Robles et al., 2018).

En los últimos 40 años, los anfibios han disminuido drásticamente en todo el mundo, y proporcionalmente son el grupo de vertebrados más amenazados a nivel global (Ripple et al., 2019). La pérdida de hábitat es la causa principal que ha contribuido a esta disminución, también los efectos de

los contaminantes ambientales, la radiación ultravioleta, las enfermedades emergentes, la introducción de especies exóticas, la explotación directa y el cambio climático son parte de la crisis global de los anfibios (Frias-Alvarez et al., 2010; O'Hanlon et al., 2018; Sodhi et al., 2008). Frente a estas amenazas globales, distintas plataformas digitales de ciencia ciudadana están contribuyendo con el monitoreo de los anfibios utilizando fotografías y grabaciones de audio obtenidas y analizadas regionalmente, por ejemplo, el proyecto FrogID en Australia (Rowley et al., 2019).

En este estudio, analizamos los datos no estructurados colectados en la plataforma de ciencia ciudadana Naturalista ([naturalista.mx](http://naturalista.mx)) sobre los anfibios de Sinaloa con el propósito de: 1) estimar la frecuencia de las observaciones para las distintas familias y especies de anfibios; 2) identificar sitios de mayor número de observaciones y vacíos de información; 3) destacar observaciones relevantes que representen novedades sobre la distribución e historia natural de las especies; e 4) identificar las categorías de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés; IUCN, 2021) y los puntajes de vulnerabilidad ambiental (EVS, por sus siglas en inglés; se incluyen para cada especie mexicana de anfibio en Wilson et al., 2013) de todos los registros de anfibios obtenidos a través de Naturalista.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Fuente de datos.** En octubre de 2020 creamos el proyecto "Anfibios de Sinaloa" en la plataforma Naturalista, incluyendo los 18 municipios del estado y a todas las especies de anfibios dentro de ese límite regional seleccionando la clase Amphibia (Naturalista, 2021). Para analizar esta información se descargaron las observaciones del proyecto Anfibios de Sinaloa de Naturalista desde la página web de GBIF ([www.gbif.org](http://www.gbif.org)) para el período comprendido entre el 2006 (la primera observación en el conjunto de datos) hasta diciembre del 2020 (GBIF, 2021b). Dado que GBIF no identifica proyectos creados en *iNaturalist*, descargamos los registros de anfibios bajo las categorías de observación humana en México, incluyendo la plataforma *iNaturalist* y con grado de investigación en un mismo archivo. Posteriormente, para acotar los registros de Naturalista hechos en Sinaloa, proyectamos los puntos de las observaciones obtenidas de GBIF en un sistema de información geográfica usando el software QGIS versión 3.10.2. Incorporamos los datos en un mapa de Sinaloa a escala 1:1 700 000. Utilizamos la base de datos de Naturalista desde la plataforma GBIF debido a que en esta última sólo se cargan las observaciones con grado de investigación (con licencia Creative Commons de derechos de autor [CC]; ver condiciones



en *iNaturalist*, 2019). Además, a partir del archivo que se obtiene de GBIF es factible verificar, manejar y analizar la información y la plataforma le proporciona un identificador de objeto digital (DOI, por sus siglas en inglés) que garantiza la permanencia de la información obtenida en la web. Adicionalmente, para comparar el número de registros mediante colectas científicas tradicionales (en colecciones y museos científicos) se descargaron los registros en GBIF para Sinaloa (GBIF, 2021c). Para actualizar y uniformar la información de GBIF y Naturalista, utilizamos los datos de sinonimia y sistemática de las especies de anfibios de la base de datos de Especies de Anfibios del Mundo (Frost, 2021). Posteriormente, se verificaron las coincidencias entre los datos de GBIF y Naturalista. Finalmente, para contrastar la información obtenida con la plataforma Naturalista durante los 14 años de observaciones (2006-2020), se utilizó como referencia el listado de especies más reciente sobre anfibios de Sinaloa (Lemos-Espinal & Smith, 2020), incluyendo el registro reciente reportado por Loc-Barragán et al. (2020).

**Análisis de datos.** Para estimar la fenología de las especies de anfibios en Sinaloa, analizamos la frecuencia de los registros de GBIF contabilizando todas las observaciones mensuales (entre los años 2006 y 2014) para cada especie y familia. Para visualizar la distribución espacial de las observaciones e identificar sitios con mayor número de observaciones generamos un sistema de cuadrícula de ~11 km<sup>2</sup>, de las cuales se categorizaron como celdas ocupadas de acuerdo con el número de observaciones por celda siguiendo el procedimiento propuesto por Krištin et al. (2020). Los archivos utilizados para analizar la distribución espacial de los registros de anfibios de GBIF, fueron los mapas de Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC), Áreas Naturales Protegidas Federales (ANPs Federales) y Áreas Naturales Protegidas Estatales, Municipales, Ejidales y Privadas de México (ANPs Estatales) en archivos en formato *shapefile* generados en marzo de 2021 obtenidos del sitio web de CONABIO (2021), y las curvas de nivel de la Sierra Madre Occidental se obtuvieron del sitio web de INEGI (2021) a partir de un archivo *raster* con resolución primaria de 15 m convertida a 800 m.

Adicionalmente, considerando que la base de datos de Anfibios de Sinaloa en Naturalista es un proyecto no estructurado en su obtención de registros, evaluamos si las especies registradas pertenecen principalmente a puntajes de vulnerabilidad ambiental baja o media (de acuerdo con Wilson et al., 2013). Los puntajes de EVS se construyen a partir de la suma de puntos con respecto a tres escalas: la distribución geográfica, la distribución ecológica y el modo reproductor de los anfibios. La suma de puntajes más altos de EVS incluye

a especies con distribución restringida o en pocos fragmentos y con modo de reproducción terrestre. Por lo tanto, de la suma de estos puntajes se obtienen tres categorías de vulnerabilidad: bajo (B, 3–9), medio (M, 10–13) y alto (A, 14–19) según Wilson et al. (2013). También evaluamos si las especies observadas son aquellas de menor vulnerabilidad ambiental (baja o media) o si corresponden a la proporción de EVS registradas para todas las especies de anfibios de Sinaloa (Lemos-Espinal & Smith, 2020; Wilson et al., 2013).

Por último, es importante señalar que todos los registros de Naturalista del proyecto Anfibios de Sinaloa se sometieron a un proceso curatorial en el que revisamos todos los registros y separamos aquellas observaciones relevantes que presentaron novedades sobre la distribución e historia natural de las especies, siguiendo las recomendaciones de Reyes-Velasco y Ramírez-Chaparro (2019), para ello corroboramos la distribución conocida de las especies observadas, revisamos cuidadosamente que el lugar observado en la fotografía concuerde con el hábitat donde se distribuyen la especie y en los registros dudosos contactamos directamente al naturalista con la autoría del registro para confirmar información o cuando se detectaron registros duplicados.

## RESULTADOS

La base de datos del proyecto Anfibios de Sinaloa de Naturalista descargada de GBIF el 18 de enero de 2021, registró 601 observaciones (GBIF, 2021b), sin embargo, la base de datos descargada directamente de Naturalista contabilizó (en la misma fecha) 888 observaciones con grado de investigación (lo que representa el 86% de las observaciones, sumadas a un 12% de observaciones que necesitan identificación y un 2% de observaciones casuales; Naturalista, 2021). Esta diferencia en el número de registros entre ambas plataformas se refleja en registros disímiles para ocho especies: *Agalychnis dacnicolor*, *Incilius mazatlanensis*, *Incilius marmoreus*, *Leptodactylus melanonotus*, *Lithobates magnaocularis*, *Rhinella horribilis*, *Smilisca baudinii* y *Tlalocohyla smithii* (Tabla 1). Además, la información de Naturalista en GBIF no incluye observaciones de *Hypopachus ustus* e *Incilius alvarius* que aparecen reportadas en Naturalista (Tabla 1). En total, en el proyecto de Anfibios de Sinaloa de Naturalista se registraron 28 especies de anfibios pertenecientes a 10 familias, lo que corresponde al 68% de las especies de anfibios reportados para Sinaloa, incluyendo un nuevo registro para el estado (Lemos-Espinal & Smith, 2020; Loc-Barragán et al., 2020). Por lo tanto, el listado de anfibios se actualiza con un total de 41 especies de anfibios en Sinaloa (Tabla 2). Adicionalmente, la información de colectas científicas descargada en GBIF indica

**Table 1.** Number of observations in scientific collections (GBIF, 2021c) and the project Anfibios de Sinaloa in GBIF (2021b) and Naturalista (Naturalista, 2021).

**Tabla 1.** Número de observaciones en colectas científicas (GBIF, 2021c) y el proyecto Anfibios de Sinaloa en GBIF (2021b) y Naturalista (Naturalista, 2021).

| Especies                                | Observaciones      |             | Colecciones y Museos científicos (1970 - 2020) |
|---|--------------------|-------------|--|
|   | GBIF (Naturalista) | Naturalista |  |
| <i>Agalychnis dacnicolor</i>            | 87                 | 136         | 30   |
| <i>Ambystoma rosaceum</i>               | 6                  | 7           | 1  |
| <i>Anaxyrus kelloggi</i>                | 0                  | 0           | 2  |
| <i>Anaxyrus mexicanus</i>               | 0                  | 0           | 0  |
| <i>Anaxyrus punctatus</i>               | 3                  | 6           | 1  |
| <i>Craugastor augusti</i>               | 1                  | 1           | 0  |
| <i>Craugastor hobartsmithi</i>          | 1                  | 1           | 1  |
| <i>Craugastor occidentalis</i>          | 2                  | 8           | 2  |
| <i>Craugastor vocalis</i>               | 0                  | 0           | 2  |
| <i>Eleutherodactylus interorbitalis</i> | 1                  | 5           | 1  |
| <i>Eleutherodactylus sp.*</i>           | 0                  | 0           | 7  |
| <i>Eleutherodactylus saxatilis</i>      | 1                  | 1           | 3  |
| <i>Eleutherodactylus teretistes</i>     | 0                  | 0           | 1  |
| <i>Exerodonta smaragdina</i>            | 1                  | 2           | 4  |
| <i>Gastrophryne mazatlanensis</i>       | 3                  | 6           | 3  |
| <i>Dryophytes arenicolor</i>            | 6                  | 10          | 1  |
| <i>Hypopachus ustus</i>                 | 0                  | 1           | 0  |
| <i>Hypopachus variolosus</i>            | 2                  | 3           | 1  |

| Especies                           | Observaciones      |             | Colecciones y Museos científicos (1970 - 2020) |
|------------------------------------|--------------------|-------------|--|
|                                    | GBIF (Naturalista) | Naturalista |  |
| <i>Incilius alvarius</i>           | 0                  | 1           | 0  |
| <i>Incilius marmoreus</i>          | 16                 | 26          | 34   |
| <i>Incilius mazatlanensis</i>      | 116                | 178         | 74   |
| <i>Incilius mccoysi**</i>          | 1                  | 1           | 0  |
| <i>Incilius occidentalis</i>       | 5                  | 6           | 22   |
| <i>Leptodactylus melanonotus</i>   | 41                 | 65          | 29   |
| <i>Lithobates catesbeianus</i>     | 3                  | 4           | 13   |
| <i>Lithobates forreri</i>          | 6                  | 14          | 245  |
| <i>Lithobates magnaocularis</i>    | 32                 | 44          | 95   |
| <i>Lithobates pustulosus</i>       | 1                  | 4           | 36   |
| <i>Lithobates tarahumarae</i>      | 0                  | 0           | 2  |
| <i>Rhinella horribilis</i>         | 61                 | 89          | 12   |
| <i>Scaphiopus couchii</i>          | 15                 | 24          | 18   |
| <i>Smilisca baudinii</i>           | 107                | 141         | 14   |
| <i>Smilisca fodiens</i>            | 1                  | 8           | 19   |
| <i>Tlalocohyla smithii</i>         | 79                 | 91          | 3  |
| <i>Trachycephalus vermiculatus</i> | 1                  | 2           | 0  |
| <i>Triprrion spatulatus</i>        | 2                  | 3           | 3  |
| <b>Total de observaciones</b>      | <b>601</b>         | <b>888</b>  | <b>679</b>                                     |

\*De acuerdo con Grünwald et al. (2021) la especie que se identificaba previamente como *Eleutherodactylus nitidus* se trata de una especie no descrita con distribución en los estados de Sinaloa, Durango, Nayarit, Jalisco y Michoacán.

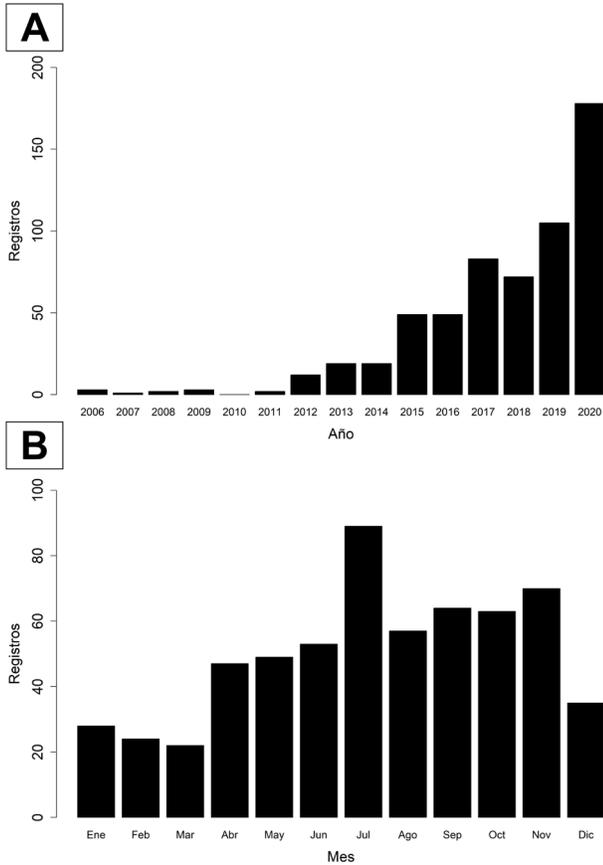
\*\* Nuevo registro para Sinaloa.

que se han capturado 679 individuos pertenecientes a 30 especies entre 1970 y 2020 en el territorio de Sinaloa (GBIF, 2021c; Tablas 1 y 2). En conjunto, los datos de Naturalista y de colectas científicas en GBIF indica que en los últimos 50 años hay tres especies que no se han registrado en Sinaloa.

En los datos de Naturalista se destaca que, aunque la primera observación en el proyecto Anfibios de Sinaloa se subió

a Naturalista en 2011, la observación más antigua se realizó originalmente en 2006. A partir de 2012 ha incrementado exponencialmente el número de registros en la plataforma de Naturalista de anfibios en Sinaloa (Fig. 1A). Dentro de los 14 años de registros analizados, julio fue el mes con mayor número de registros con 89 observaciones y el mes con menos registros corresponde a marzo con 22 observaciones. La estacionalidad en la ocurrencia de observaciones muestra que el 57% de ellas





**Figure 1 (left).** Observations of amphibians in Sinaloa between 2006 and 2020 A) per year and B) per months obtained from Naturalista through GBIF (2021b).

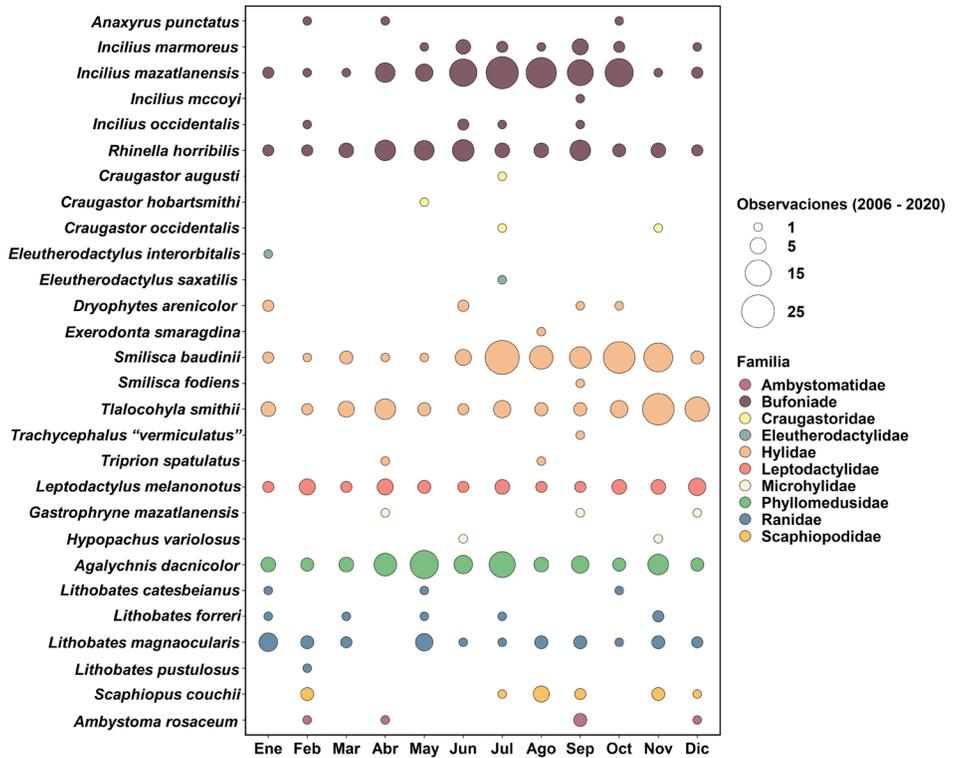
**Figura 1 (izq.).** Observaciones de anfibios en Sinaloa entre 2006 y 2020 A) por año y B) por meses obtenidos de Naturalista por medio de GBIF (2021b).

ocurren entre julio y noviembre (Fig. 1B). En el periodo de 2006 a 2020 las familias con mayor proporción de registros son Bufonidae (33.61%), Hylidae (32.77%), Phyllomedusidae (14.47%), Leptodactylidae (6.82%) y Ranidae (6.98%), y la familia con menor número de registros acumulados (equivalente al 0.33% de los registros) es Eleutherodactylidae (Fig. 2). Para el caso de las especies que presentaron mayor proporción de observaciones fueron *I. mazatlanensis* con 19.30%, *S. baudinii* con 17.80%, *A. dacnicolor* con 14.47%, *T. smithii* con 13.14% y *R. horribilis* con 10.14% (Fig. 2).

Espacialmente, los registros obtenidos en el proyecto Anfibios de Sinaloa de Naturalista se concentran en la planicie costera y en algunas estribaciones de la Sierra Madre Occidental (Fig. 3A). Las celdas de ~11 km<sup>2</sup> que agrupan las ocurrencias de registros contienen principalmente de 1 a 2 observaciones, representando un 72.07% de los puntos de presencia, seguidos por las celdas con 3 a 5 observaciones con 18.03% y con más de 6 observaciones con 9.90%. En total, todas las celdas con observaciones de anfibios suman una superficie de 1,111 km<sup>2</sup> (Fig. 3A). Las celdas con 3 a 5 observaciones (de color naranja) se proyectan cercanas a las

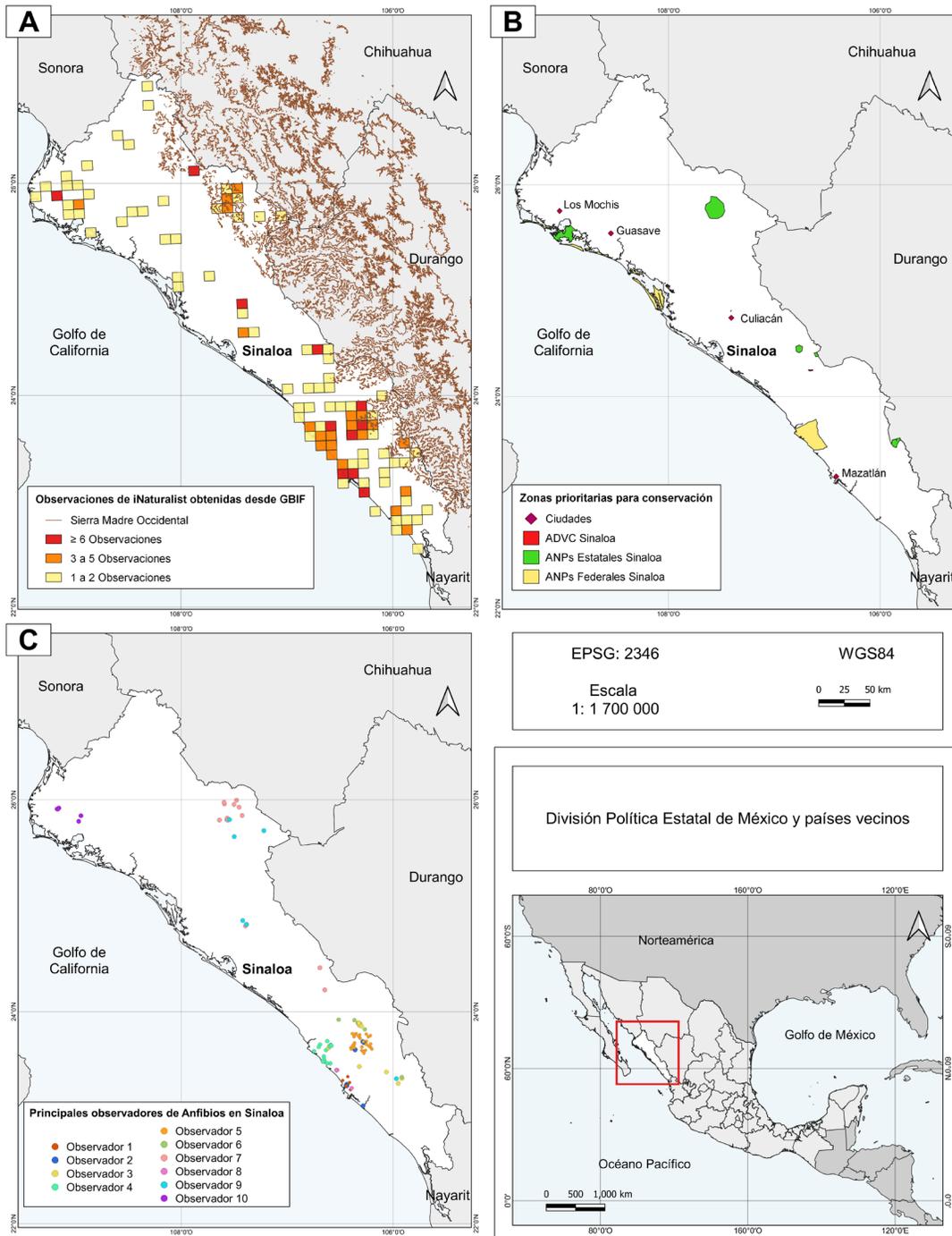
**Figure 2 (right).** Number of observations accumulated between 2006 and 2020 and monthly observations by species and families obtained from Naturalista through GBIF (2021b).

**Figura 2 (derecha).** Número de observaciones acumuladas entre 2006 y 2020 y observaciones mensuales por especies y familias obtenidas de Naturalista por medio de GBIF (2021b).



celdas con más de 6 observaciones (de color rojo) y principalmente se presentan en el sur de Sinaloa. Además, estas celdas con mayor número de registros (de color rojo y naranja) convergen más entre las ciudades con mayor número de habitantes y las zonas prioritarias para conservación, incluyendo las ANPs Meseta de Cacaxtla (al norte de Mazatlán), Mineral de Nuestra señora de la Candelaria (al sureste de Culiacán), el ADVC Paco's

Reserva de Flora y Fauna (al norte de Mazatlán) y al norte el ANP Estatal Navachiste (al oeste de Guasave) (Fig. 3B). Sin embargo, dentro de las ANPs sólo se registran observaciones con grado de investigación en el ADVC Paco's Reserva de Flora y Fauna y las ANPs Meseta de Cacaxtla y Surutato, siendo la primera donde se registran observaciones con un esfuerzo tal que permite mostrar tendencias en abundancia de especies (Fig. 4). En la mayoría de



**Figure 3.** Amphibian records in the Naturalista project "Anfibios de Sinaloa" (A) main cities; (B) priority areas for conservation and (C) records of the 10 main amphibian observers registered in the Anfibios de Sinaloa project in Naturalista.

**Figura 3.** Registros de anfibios en el proyecto "Anfibios de Sinaloa" de Naturalista (A) ciudades principales; (B) zonas prioritarias para la conservación y (C) registros de los 10 principales observadores de anfibios registrados en el proyecto Anfibios de Sinaloa en Naturalista.



las ANPs en Sinaloa no hay registros de anfibios, de hecho, en el 85% de las ANPs no se cuenta con un registro de anfibios en Naturalista pese a que su superficie es mayor a la de aquellas donde sí encontramos registros (Apéndice 1).

La base de datos del proyecto Anfibios de Sinaloa está conformada por la contribución de 113 observadores (Naturalista, 2021). La mayoría de los observadores realizan pocas observaciones (<5) y pocos observadores realizan un gran número de registros, por lo que el número de especies que reportan los observadores y el número de registros de cada observador mantienen una relación de tipo exponencial (Apéndice 2), 10 observadores aportan 412 observaciones, lo que representa el 68.55% de los datos. Estos 10 observadores aportan el registro de 24 de las 30 especies que registra Naturalista para

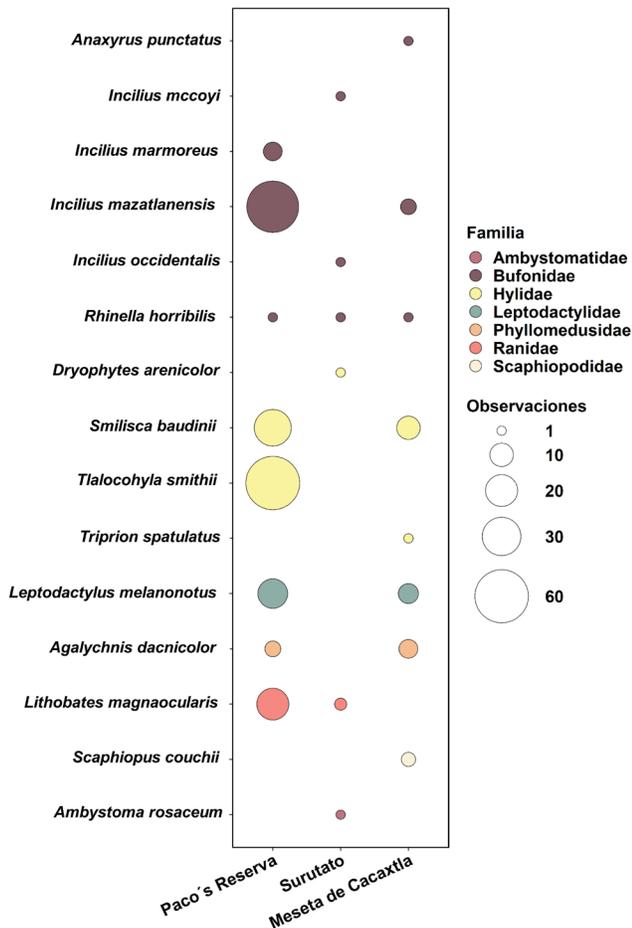


Figure 4. Observations of amphibians in the Natural Protected Areas of Sinaloa recorded in GBIF (2021b) from Naturalista data.

Figura 4. Observaciones de anfibios en Áreas Naturales Protegidas de Sinaloa registradas en GBIF (2021b) a partir de datos de Naturalista.



Figure 5. Number of observations per family and species of the top 10 Naturalista contributors obtained through GBIF (2021b).

Figura 5. Número de observaciones por familia y especies de los 10 principales contribuyentes de Naturalista obtenidos a través de GBIF (2021b).

Sinaloa. Las especies más observadas de estos 10 observadores fueron *I. mazatlanensis* (20.38%), *S. baudinii* (17.47%), *T. smithii* (17.47%), *R. horribilis* (9.70%), *A. dacnicolor* (9.98%), *L. melanonotus* (7.52%), *L. magnaocularis* (7.03%) y también contribuyen con registros de especies poco observadas como *Anaxyrus punctatus*, *Craugastor hobartsmithi* y *Eleutherodactylus interorbitalis* (Fig. 5). Asimismo, la distribución de las observaciones de los 10 contribuyentes principales del proyecto Anfibios de Sinaloa en Naturalista se agrupa en las principales ciudades y tres ANPs (Fig. 3C). Las categorías de amenaza de acuerdo con la IUCN y los puntajes EVS se muestran en la Tabla 2 para las 41 especies de anfibios registradas en Sinaloa. Entre ambas categorías de conservación, las especies muestran distintos niveles de riesgo de amenaza. En la lista de la IUCN, el 85.36% de las especies se clasifican como preocupación menor (LC), el 4.80% como especies vulnerables (VU), el 2.43% representado por una especie como casi amenazada (NT) y el 7.31% como no evaluadas (NE) (Tabla 2). Por otro lado, en términos de vulnerabilidad



**Table 2.** Systematic list according to Frost (2021) of the species recorded in the scientific literature on amphibians in Sinaloa (Lemos-Espinal & Smith, 2020 and Loc-Barragán et al., 2020), observations recorded by the project Anfibios de Sinaloa at Naturalista (Naturalista, 2021) and in scientific collections made in the last 50 years (GBIF, 2021c). Environmental Vulnerability Scores (EVS) and vulnerability categories according to score range are indicated: low (B) from 3 to 9, medium (M) from 10 to 13 and high (A) from 14 to 19. Threat category of the IUCN: DD = Insufficient data; LC = Least Concern, VU = Vulnerable, NT = Near Threatened; EN = Endangered; CE = critically endangered; NE = not evaluated.

**Tabla 2.** Lista sistemática de acuerdo con Frost (2021) de las especies registradas en literatura científica sobre anfibios en Sinaloa (Lemos-Espinal & Smith, 2020 y Loc-Barragán et al., 2020), observaciones registradas por el proyecto Anfibios de Sinaloa de Naturalista (Naturalista, 2021) y en colectas científicas realizadas en los últimos 50 años (GBIF, 2021c). Se indican los puntajes de vulnerabilidad ambiental (EVS) y las categorías de vulnerabilidad de acuerdo con el rango de puntaje: bajo (B) del 3 al 9, medio (M) del 10 al 13 y alto (A) del 14 al 19. Categoría de amenaza de la IUCN: DD = Datos insuficientes; LC = Preocupación menor, VU = Vulnerable, NT = Casi amenazado; EN = En peligro de extinción; CE = en peligro crítico; NE = no evaluado.

| Taxonomía   | Calificación EVS | Categoría IUCN | Registros históricos en literatura | Naturalista | Registros recientes en colectas científicas (1970 - 2020) |
|---|------------------|----------------|------------------------------------|-------------|---|
| <b>Anura</b>  |                  |                |                                    |             |   |
| <b>Bufoniade</b>  |                  |                |                                    |             |   |
| <i>Anaxyrus cognatus</i> (Say, 1822)                                  | B-9              | LC             | ✓                                  |             | ✓   |
| <i>Anaxyrus kelloggi</i> (Taylor, 1938)                               | A-14             | LC             | ✓                                  |             | ✓   |
| <i>Anaxyrus mexicanus</i> (Brocchi, 1879)                             | M-13             | LC             | ✓                                  |             |   |
| <i>Anaxyrus punctatus</i> (Baird y Girard, 1852)                      | B-5              | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <i>Incilius alvarius</i> (Girard, 1859)                               | M-11             | LC             | ✓                                  | ✓           |   |
| <i>Incilius marmoratus</i> (Wiegmann, 1833)                           | M-11             | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <i>Incilius mazatlanensis</i> (Taylor, 1940)                          | M-12             | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <i>Incilius mccoysi</i> (Santos-Barrera y Flores-Villela, 2011)*      | A-14             | LC             |                                    | ✓           |   |
| <i>Incilius occidentalis</i> (Camerano, 1879)                         | M-11             | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <i>Rhinella horribilis</i> (Wiegmann, 1833)                           | NE               | NE             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <b>Craugastoridae</b>   |                  |                |                                    |             |   |
| <i>Craugastor augusti</i> (Dugès, 1879)                               | B-8              | LC             | ✓                                  | ✓           |   |
| <i>Craugastor hobartsmithi</i> (Taylor, 1937)                         | A-15             | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <i>Craugastor occidentalis</i> (Taylor, 1941)                         | M-13             | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <i>Craugastor pygmaeus</i> (Taylor, 1937)                             | B-9              | LC             | ✓                                  |             |   |
| <i>Craugastor vocalis</i> (Taylor, 1940)                              | M-13             | LC             | ✓                                  |             | ✓   |
| <b>Eleutherodactylidae</b>  |                  |                |                                    |             |   |
| <i>Eleutherodactylus interorbitalis</i> (Langebartel y Shannon, 1956) | A-15             | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <i>Eleutherodactylus</i> sp.**  | M-12             | LC             | ✓                                  |             | ✓   |
| <i>Eleutherodactylus pallidus</i> (Duellman, 1958)***                 | A-17             | LC             | ✓                                  |             | ✓   |
| <i>Eleutherodactylus saxatilis</i> (Webb, 1962)                       | A-17             | NT             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <i>Eleutherodactylus teretistes</i> (Duellman, 1958)                  | A-16             | VU             | ✓                                  |             | ✓   |
| <b>Hylidae</b>  |                  |                |                                    |             |   |
| <i>Dryophytes arenicolor</i> (Cope, 1866)                             | B-7              | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <i>Dryophytes eximius</i> (Baird, 1854)                               | M-10             | LC             | ✓                                  |             |   |
| <i>Exerodonta smaragdina</i> (Taylor, 1940)                           | M-12             | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |



**Table 2 (cont.).** Systematic list according to Frost (2021) of the species recorded in the scientific literature on amphibians in Sinaloa (Lemos-Espinal and Smith, 2020 and Loc-Barragán et al., 2020), observations recorded by the project Anfibios de Sinaloa at Naturalista (Naturalista, 2021) and in scientific collections made in the last 50 years (GBIF, 2021c). Environmental Vulnerability Scores (EVS) and vulnerability categories according to score range are indicated: low (B) from 3 to 9, medium (M) from 10 to 13 and high (A) from 14 to 19. Threat category of the IUCN: DD = Insufficient data; LC = Least Concern, VU = Vulnerable, NT = Near Threatened; EN = Endangered; CE = critically endangered; NE = not evaluated.

**Tabla 2 (cont.).** Lista sistemática de acuerdo con Frost (2021) de las especies registradas en literatura científica sobre anfibios en Sinaloa (Lemos-Espinal y Smith, 2020 y Loc-Barragán et al., 2020), observaciones registradas por el proyecto Anfibios de Sinaloa de Naturalista y en colectas científicas realizadas en los últimos 50 años (GBIF, 2021c). Se indican los puntajes de vulnerabilidad ambiental (EVS) y las categorías de vulnerabilidad de acuerdo con el rango de puntaje: bajo (B) del 3 al 9, medio (M) del 10 al 13 y alto (A) del 14 al 19. Categoría de amenaza de la IUCN: DD = Datos insuficientes; LC = Preocupación menor, VU = Vulnerable, NT = Casi amenazado; EN = En peligro de extinción; CE = en peligro crítico; NE = no evaluado.

| Taxonomía   | Calificación EVS | Categoría IUCN | Registros históricos en literatura | Naturalista | Registros recientes en colectas científicas (1970 - 2020) |
|---|------------------|----------------|------------------------------------|-------------|---|
| <i>Sarcohyala bistrincta</i> (Cope, 1877)               | B-9              | LC             | ✓                                  |             |   |
| <i>Smilisca baudinii</i> (Duméril y Bibron, 1841)       | B-3              | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <i>Smilisca fodiens</i> (Boulenger, 1882)               | B-8              | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <i>Tlalocohyla smithii</i> (Boulenger, 1902)            | M-11             | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <i>Trachycephalus "vermiculatus"</i> (Cope, 1877)       | B-4              | NE             | ✓                                  | ✓           |   |
| <i>Tripurion spatulatus</i> (Günther, 1882)             | M-13             | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <b>Leptodactylidae</b>                                  |                  |                |                                    |             |   |
| <i>Leptodactylus melanonotus</i> (Hallowell, 1861)      | B-6              | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <b>Microhylidae</b>                                     |                  |                |                                    |             |   |
| <i>Gastrophryne mazatlanensis</i> (Taylor, 1943)        | B-8              | NE             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <i>Hypopachus ustus</i> (Cope, 1866)                    | B-7              | LC             | ✓                                  | ✓           |   |
| <i>Hypopachus variolosus</i> (Cope, 1866)               | B-4              | LC             | ✓                                  |             | ✓   |
| <b>Phyllomedusidae</b>                                  |                  |                |                                    |             |   |
| <i>Agalychnis dacnicolor</i> (Cope, 1864)               | M-13             | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <b>Ranidae</b>  |                  |                |                                    |             |   |
| <i>Lithobates catesbeianus</i> (Shaw, 1802)             | M-10             | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <i>Lithobates forreri</i> (Boulenger, 1883)             | B-3              | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <i>Lithobates magnaocularis</i> (Frost y Bagnara, 1974) | M-12             | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <i>Lithobates pustulosus</i> (Boulenger, 1883)          | B-9              | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <i>Lithobates tarahumarae</i> (Boulenger, 1917)         | B-8              | VU             | ✓                                  |             | ✓   |
| <b>Scaphiopodidae</b>                                   |                  |                |                                    |             |   |
| <i>Scaphiopus couchii</i> (Baird, 1854)                 | B-3              | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <b>Caudata</b>  |                  |                |                                    |             |   |
| <b>Ambystomatidae</b>                                   |                  |                |                                    |             |   |
| <i>Ambystoma rosaceum</i> (Taylor, 1941)                | A-14             | LC             | ✓                                  | ✓           | ✓   |
| <b>Total de registros y observaciones</b>               |                  |                | <b>40</b>                          | <b>28</b>   | <b>30</b>   |

\*Nuevo registro para Sinaloa \*\*De acuerdo con Grünwald et al. (2021) la especie que se identificaba previamente como *Eleutherodactylus nitidus* se trata de una especie no descrita con distribución en los estados de Sinaloa, Durango, Nayarit, Jalisco y Michoacán. \*\*\*No se contabilizó el registro de *Eleutherodactylus pallidus* hecho por Loc-Barragán et al. (2020) porque no se incluye en la base de datos de GBIF (2021c), pero fue depositado en una colección científica de acuerdo con el manuscrito de los autores mencionados.



ambiental, el puntaje EVS categorizó 41.46% de las especies con baja vulnerabilidad, 36.60% con vulnerabilidad media, 19.50% con alta vulnerabilidad y el 2.43% representado por una especie como no evaluada (Tabla 2). En otro orden, 14 especies (77.77%) con un puntaje EVS bajo se registran en Naturalista y sólo cuatro (22.23%) de estas no se registran, en contraste con las de puntajes altos sólo cinco especies (62.50%) están registradas y tres (37.50%) no lo están (Tabla 2). La comparación estadística entre las categorías de vulnerabilidad ambiental en el puntaje EVS en la lista de especies registradas históricamente para Sinaloa y los puntajes de vulnerabilidad ambiental de las especies reportadas en el proyecto Anfibios de Sinaloa, sugieren que no hay diferencias significativas en el nivel de vulnerabilidad de las especies registradas usando la aplicación Naturalista (G test = 0.01,  $p = 0.993$ ; Tabla 3).

En la base de datos del proyecto Anfibios de Sinaloa en Naturalista fue posible encontrar dos ampliaciones de distribución geográfica y dos observaciones relevantes de historia natural. El nuevo registro destacado del sapo chihuahuense (*Incilius mccoysi*) en Sinaloa, fue observado en la localidad de Surutato municipio de Badiraguato (con fecha 22 de septiembre de 2020 y en las coordenadas geográficas: 25.809994° N, 107.568008° O; Naturalista: 60523133; Fig. 6A) y un primer registro de *L. catesbeianus* en vida libre al sur de Sinaloa en el municipio de Mazatlán (observada el 29 de abril 2019, en las coordenadas 23.260572° N, 106.423358° O; este registro tiene reservas de derechos de autor que no permite compartir la

**Table 3.** Comparison of environmental vulnerability scores (EVS) recorded between historical data and those observed on the Naturalista platform.

**Tabla 3.** Comparación de los puntajes de vulnerabilidad ambiental (EVS) registrados entre los datos históricos y los observados en la plataforma de Naturalista.

| Fuente  | Nivel de vulnerabilidad en la escala EVS |       |      |
|---|--|-------|------|
|   | Baja                                     | Media | Alta |
| Lemos-Espinal y Smith (2020) y Loc-Barragán et al. (2020) | 17                                       | 15    | 7    |
| Naturalista   | 12                                       | 10    | 5    |

imagen, pero es consultable en el registro Naturalista: 24136194). También el amplexo heteroespecífico de aparentemente un macho de *I. mazatlanensis* y una hembra de *S. baudinii* (fecha de 13 de agosto de 2020 y en las coordenadas geográficas: 22.781738° N, 105.910371° O; Naturalista: 63668607; Fig. 6B) observado en el municipio de Escuinapa. Por último, la depredación de la rana arborícola mexicana (*S. baudinii*) por una serpiente escombrera del occidente de México (*Leptodeira punctata*) en la localidad de El Recreo, Mazatlán (fecha de 10 de noviembre de 2007 y en las coordenadas geográficas: 23.446798° N, 106.533662° O; Naturalista: 48313613; Fig. 6C).



**Figure 6.** In Naturalista, relevant observations on natural history and novel species distribution can be found, for example: A) The first record of the Chihuahuan toad (*Incilius mccoysi*) made by © Jesús Eduardo Quintero Melecio. B) Heterospecific amplexus of apparently a male of *Incilius mazatlanensis* and a female of *Smilisca baudinii* observed by © Eber Alan Barraza Herrera. C) Predation of the Mexican tree frog (*S. baudinii*) by a slag snake from western Mexico (*Leptodeira punctata*) recorded by © Leonardo López.

**Figura 6.** En Naturalista pueden encontrarse observaciones relevantes sobre historia natural y distribución novedosa de especies, por ejemplo: A) El primer registro del sapo chihuahuense (*Incilius mccoysi*) realizado por © Jesús Eduardo Quintero Melecio. B) Amplexo heteroespecífico de aparentemente un macho de *Incilius mazatlanensis* y una hembra de *Smilisca baudinii* observado por © Eber Alan Barraza Herrera. C) Depredación de la rana arborícola mexicana (*S. baudinii*) por una serpiente escombrera del occidente de México (*Leptodeira punctata*) registrado por © Leonardo López.



## DISCUSIÓN

Este estudio muestra la contribución de la plataforma Naturalista como herramienta para detectar biodiversidad de anfibios en sitios carentes de exploración científica reciente y sin un protocolo estructurado en la recopilación de datos de ciencia ciudadana. La plataforma digital Naturalista en México tiene casi una década desde que se puso en función y hasta la fecha se debate la dificultad para lograr la participación voluntaria necesaria, la gestión y el análisis de datos, así como la comunicación y traducción de los resultados requeridos para ampliar sustancialmente los esfuerzos de esta plataforma (Ellwood et al., 2017). Por lo tanto, nuestro estudio contribuye a este debate, proponiendo una ruta para acceder a la información de Naturalista por medio de GBIF que facilita la gestión y el análisis de la información.

En el listado más reciente sobre la herpetofauna de Sinaloa se incluyeron 39 especies de anfibios (Lemos-Espinal & Smith, 2020). El mismo año, Loc-Barragán et al. (2020) sumaron el primer registro de *Eleutherodactylus pallidus* para el estado y nuestro estudio incorpora, gracias al uso de Naturalista, un nuevo registro del sapo *I. mccoyi* en el norte de Sinaloa, actualizando la lista de anfibios para Sinaloa a un total de 41 especies.

La popularización del uso de Naturalista se ve reflejado en la información analizada con el aumento exponencial en las observaciones de anfibios de Sinaloa en los últimos 5 años. El evento denominado *City Nature Challenge* ha tenido una especial influencia en la cantidad de observaciones que se registran en Naturalista, en especial en los alrededores de Mazatlán que suele destacarse como una de las ciudades con mayor número de observaciones a nivel nacional (Naturalista, 2019). No obstante, el 68.55% de las observaciones en Naturalista han sido hechas entre 2006 y 2020 por sólo 10 observadores, lo que apoya la idea de que los proyectos de ciencia ciudadana se sostienen principalmente por los usuarios con mayor experiencia (Wood et al., 2011).

Entre las observaciones de Naturalista y GBIF se muestra una diferencia de 287 registros, esta diferencia es notoria incluso en la falta de información para dos especies (*H. ustus* e *I. alvarius*) con al menos un registro en Naturalista. Una comparación detallada que hicimos para entender esta discrepancia nos sugiere que esto puede deberse principalmente a que algunas observaciones no presentan una licencia de derechos de autor compartida (CC BY-C 4.0 o CC BY 4.0), por lo que GBIF no incorpora un 14% de los registros de Naturalista con grado de investigación. La única manera en que podrían encontrarse mayores coincidencias en las observaciones entre ambas bases de datos en el futuro

es motivando a que los usuarios cambien a una licencia compartida sus observaciones. Como explica Anhalt-Depies et al. (2019) el uso de la privacidad de los datos sobre biodiversidad obtenidos por ciencia ciudadana puede limitar su acceso abierto al público e impide que puedan usarse en investigación. Por lo tanto, promover el uso de licencia compartidas en los registros de Naturalista es un desafío importante en el conocimiento de la biodiversidad en general, y de los anfibios en Sinaloa en particular, para poder hacer análisis de estos datos.

En contraste con la información generada por colecta científica tradicional y los registros de ciencia ciudadana mediante Naturalista se destaca que, en un periodo de 50 años se ha logrado capturar mediante colectas científicas un número similar de registros y de especies a lo obtenido por medio de Naturalista en 14 años (679 individuos de 30 especies entre 1970 y 2020 por colectas científicas, versus 888 individuos de 30 especies entre 2006 y 2020 con la aplicación Naturalista, respectivamente). Las colectas científicas de las últimas cinco décadas cubren casi en su totalidad el territorio del estado de Sinaloa, aunque tienen un patrón ligado a las carreteras, particularmente las carreteras Durango-Mazatlán y la carretera Internacional que cursa de sur a norte (Apéndice 3). Las colectas científicas fueron hechas de forma intermitente en las últimas cinco décadas, en 24 de estos años no hubo registro y en un solo año (1993) se realizaron 259 colectas (el 38% de las colectas para el periodo analizado). En el resto de los años en que sí hubo colecta, el promedio de número de colectas fue de 16 especímenes (Apéndice 4).

Es relevante mencionar que, tanto en la colecta científica tradicional como en los registros por medio de Naturalista, hay tres especies que no se han colectado en los últimos 50 años en el estado, incluyendo: *Craugastor pygmaeus*, *Dryophytes eximius*, y *Sarcohylla distincta* (véase Tabla 2). En el Apéndice 5 se indica el año en que se realizaron las últimas colectas de estas especies en Sinaloa. Esta falta de observación reciente pone en duda el estado de conservación y presencia actual en Sinaloa, por lo que deberían verificarse.

En la base de datos del proyecto Anfibios de Sinaloa sobresale que el mayor número de registros corresponde a especies de talla mediana o grande con longitud hocico-cloaca (LHC) de 58 a 95 mm y en ambientes antropizados, como *A. dacnicolor*, *I. mazatlanensis*, *L. magnaocularis*, *R. horribilis* y *S. baudinii*. A diferencia de las especies de anfibios que son pequeñas (LHC < 28 mm), difíciles de visualizar, localizar y son desafiantes para identificar, tales como *Eleutherodactylus interiorbitalis*, *Eleutherodactylus saxatilis*, *Exerodonta smaragdina*, *H. ustus* y *Lithobates pustulosus*. Cabe resaltar que, en el periodo de 14

años analizados, la familia Eleuterodactylidae es la que menos registros tiene en la plataforma (0.33%) y especies como *E. pallidus* y *E. teretistes* no se registran, probablemente por la naturaleza esquiva de estas especies, su área de distribución restringida y porque es una de las familias registradas para Sinaloa con mayor nivel de riesgo de amenaza. En un análisis sobre los patrones de diversidad de los anfibios en Sinaloa usando mapas de distribución de especies de la IUCN (Serrano et al., 2014) se encontró que seis especies de anuros están presentes en todos los climas, categorías fisiográficas y de humedad de suelo del estado (*Anaxyrus punctatus*, *C. vocalis*, *S. baudinii*, *A. dacnicolor*, *L. magnaocularis* y *Scaphiopus couchii*). Este patrón de amplia distribución se respalda en los datos del proyecto Anfibios de Sinaloa en Naturalista, excepto con *A. punctatus* y *C. vocalis* que tienen bajo número de observaciones y ningún registro, respectivamente.

Por otra parte, la estacionalidad de las observaciones de anfibios en Sinaloa se concentra en un 57% entre los meses de julio y noviembre, reflejando los meses de mayor humedad que marcan la estación lluviosa del bosque tropical caducifolio, tipo de vegetación dominante en la plataforma continental de Sinaloa (Murphy & Lugo, 1986; Serrano et al., 2014; Berlanga-Robles et al., 2018). En el patrón de observaciones no sobresale una posible influencia del evento Reto Naturalista Urbano (*City Nature Challenge*; Naturalista, 2019) que suele realizarse entre abril y mayo, como un evento que incorpore amplios registros de anfibios.

Debido a ello es posible confiar en que el patrón de observaciones de Naturalista refleja los cambios fenológicos relacionados con la aparición estacional de las especies y que explica que sean más observados. En contraste con un estudio en que se evaluó la estacionalidad de los anfibios en Chamela y se reportaron ocho de las 16 especies de anfibios que comparten el área con Sinaloa (García & Cabrera-Reyes, 2008), pero no se reportan a *S. baudinii* y *A. dacnicolor*, especies que en los registros ciudadanos de Sinaloa cuentan con mayor número de observaciones.

En otro estudio, Lujá et al. (2017) evaluaron la abundancia de anfibios en el ANP San Juan en Nayarit, donde se comparte el 36.58% (15) de las especies con Sinaloa, dichos autores registraron a *E. smaragdina*, *C. occidentalis* y *C. vocalis* como los anfibios más abundantes en el ANP de Nayarit, pero en Sinaloa ambas especies fueron poco registradas. Probablemente esto se deba a que la distribución de los anfibios se ve afectada por variaciones en las características de los sitios de reproducción (Luna-Gómez et al., 2017).

De acuerdo con los datos de Naturalista, los sitios con mayor número de observaciones de anfibios en Sinaloa se concentran dentro las ciudades más pobladas y en las ANPs, mayoritariamente en la planicie costera, probablemente porque en estas zonas se promueve el turismo y convergen áreas recreativas, como en el sur de Sinaloa. Por otro lado, sólo algunas estribaciones de la Sierra Madre Occidental cuentan con observaciones de anfibios y las celdas que contienen de una a dos observaciones representan el 72.07%, por lo que esta escasez de información probablemente se deba a la inaccesibilidad a la Sierra por los conflictos sociales en la región (Carpio-Domínguez, 2021). Además, tomando en cuenta la extensión territorial de Sinaloa (~ 58, 200 km<sup>2</sup>), en <2% de su superficie (1,111 km<sup>2</sup>) se han realizado observaciones ciudadanas de anfibios. En cuanto a los observadores, sus registros se concentran de igual manera en las principales ciudades y las zonas prioritarias para la conservación, pero al menos siete de los 10 principales observadores tienen mayor actividad de observación al sur de Sinaloa. Por lo tanto, esta actividad de los observadores probablemente se deba a que residen cerca de estas áreas y porque estas zonas les pueden proporcionar cierto grado de seguridad para observar la naturaleza.

Con base en los datos de Naturalista, no hay registros de anfibios en la mayoría de las ANPs en Sinaloa pese a que su superficie es mayor a la de aquellas donde sí encontramos registros (Apéndice 1). En ninguna de estas ANPs se cuenta con observaciones de especies amenazadas según las categorías de amenaza de la IUCN, pero sólo dos especies con alto riesgo de amenaza según los puntajes EVS (*I. mccoysi* y *Ambystoma rosaceum*, en el ANP Estatal Surutato). El ADVC Paco's Reserva de Flora y Fauna es el ANP que cuenta con mayor cantidad de observaciones de anfibios de ciencia ciudadana. Las especies más observadas en esta ANP son de baja vulnerabilidad ambiental (*I. mazatlanensis*, *T. smithii* y *S. baudinii*). No obstante, Suazo-Ortuño (2002) menciona que *T. smithii* y *L. melanonotus* requieren de condiciones prístinas del hábitat, por lo que es probable que Paco's Reserva de Flora y Fauna cuente con estas condiciones.

Por otro lado, cuando evaluamos la hipótesis de que las especies que más se observan pertenecen a un puntaje de vulnerabilidad ambiental bajo, encontramos que solo cuatro de 14 especies (22.23%) con un puntaje EVS bajo y tres de cinco especies con puntajes altos (37.50%), no se registran en Naturalista. Por lo tanto, las especies registradas en Naturalista incluyen a aquellas indistintamente de su nivel de vulnerabilidad ambiental, lo que demuestra que la adquisición de información no estructurada en Naturalista permite registrar especies de todos los niveles de vulnerabilidad ambiental, pues estas

se registraron proporcionalmente al nivel de vulnerabilidad ambiental reportada en la lista de especies esperadas para Sinaloa (Lemos-Espinal & Smith, 2020; Loc-Barragán et al., 2020).

Algunas observaciones relevantes de historia natural para Sinaloa alojadas en los registros que observamos de Naturalista incluyen: el nuevo registro de *I. mccoysi* para Sinaloa observado en la Sierra de Surutato del municipio de Badiraguato, de la cual se contaba con registros históricos cercanos a esta localidad a aproximadamente 80 km en el estado de Durango (Streicher et al., 2014). Además, la rana toro (*L. catesbeianus*) se reporta por primera vez en vida libre en el sur de Sinaloa, específicamente en el municipio de Mazatlán (Naturalista: 24136194). Cerca del punto de observación se ubica el Acuario de Mazatlán (en las coordenadas geográficas: 23.228469° N, 106.427837° O) a 4 km aproximadamente, así como a la granja de ranas toro de la localidad de Villa Unión a la periferia de la ciudad de Mazatlán a ~22 km (en las coordenadas geográficas: 23.189859° N, 106.217714° O). Aunque la rana toro es una especie considerada como introducida e invasora en México (Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras, 2010), aún existe un debate de si es endémica en algunas regiones del país y se sabe de su presencia en cautiverio en Los Mochis y Guasave (Ávila-Villegas et al., 2007; Casas-Andreu et al., 2001). Recientemente se ha reportado un brote de ranavirus en una granja de rana toro en Guasave, Sinaloa (Saucedo et al., 2019) y la capacidad de esta especie para poner en peligro a las especies nativas debe poner en alerta los esfuerzos de conservación, por lo que debería investigarse si esta especie está aumentando su rango de distribución dentro del estado o si el registro se trata de un individuo aislado.

Por otro lado, destacamos por primera vez la depredación de *S. baudinii* por la culebra *L. punctata* en Mazatlán, Sinaloa. Los colúbridos del género *Leptodeira* se distribuyen desde México hasta Centroamérica y los anuros son parte de su dieta (Barrio-Amorós, 2019; Céspedes-Vindas & Abarca, 2014). Por último, destacamos por primera vez un caso de amplexo heteroespecífico entre un macho de sapito pinto de Mazatlán (*I. mazatlanensis*) y una rana arborícola mexicana (*S. baudinii*) que podría tratarse de una hembra. Es conocido que ambas especies exhiben comportamiento gregario en los mismos cuerpos de agua (Hardy & McDiarmid, 1969), en particular *I. mazatlanensis* puede reproducirse desde marzo hasta octubre, con un pico en la estación lluviosa (Vargas-Álvarez et al., 2017), mientras que *S. baudinii* se reproduce en cualquier época del año después de una lluvia adecuada y son abundantes al inicio de la estación lluviosa (Luna-Gómez et al., 2017).

## CONCLUSIÓN

Las observaciones del proyecto de ciencia ciudadana Anfibios de Sinaloa incluyen registros de especies con distintos grados de vulnerabilidad ambiental, lo que indica que, aunque los registros de Naturalista se obtuvieron con participación no estructurada, es posible detectar especies incluso con alta vulnerabilidad ambiental pese a que la mayoría de las observaciones se realizan alrededor de las áreas con mayor urbanización y mayoritariamente fuera de ANPs. Esto sitúa a Naturalista como una herramienta eficaz para obtener información sobre biodiversidad, aunque los registros no sigan una estructuración o dirección específica en su obtención.

El número de observaciones de anfibios en Sinaloa en los últimos 14 años es relevante, pese a que los anfibios son animales pequeños, nocturnos, de escaso valor económico, que causan repulsión a gran parte del público en comparación con otros taxones (Geijzendorffer et al., 2016). Esto representa parte de los desafíos para motivar y lograr incrementar el aprecio y la participación del público por la conservación de anfibios en Sinaloa. Para incrementar la observación de anfibios en el futuro se podrían crear campañas específicas que contribuyan a: 1) sensibilizar al público en general a través de información pública posiblemente en comunidades aledañas a áreas conservadas (Griffiths et al., 2008; Lin et al., 2008; Rommel, 2012); 2) proporcionar programas de educación sobre anfibios (Chang et al., 2008; Tomažič, 2008); y 3) invitar y capacitar a voluntarios para recopilar datos de ciencia ciudadana sobre anfibios (Genet et al., 2008; Kendell, 2003; Weir & Mossman, 2005). Estas actividades pueden llevarse a cabo en los principales puntos de actividad de los observadores y pueden ayudar a motivar al público a cerca de la importancia biológica y ecológica de los anfibios.

Adicionalmente, la obtención de datos de ciencia ciudadana también puede tener un efecto motivacional para la búsqueda activa de anfibios y datos sobre su distribución, abundancia y registro conductual de las especies de anfibios en Sinaloa. De manera destacada, en campañas generales o específicas como el Reto Naturalista Urbano en México (llamado globalmente: *City Nature Challenge*) se debe impulsar que la popularización de Naturalista incluya la incorporación de registros con licencias de mayor acceso que permitan colocar los datos con grado de investigación a disposición para análisis como los que aquí hemos realizado.

Finalmente, con base en la información que analizamos, identificamos sitios estratégicos para realizar estudios de la

anfibiofauna del estado como las ANPs Surutato y Meseta de Cacaxtla, el ADVC Paco's Reserva de Flora y Fauna y algunas ciudades como Los Mochis, Guasave, Culiacán y Mazatlán. También encontramos que hay especies que son clave por su amplia abundancia en las comunidades de anfibios en Sinaloa y son las más registradas en Naturalista, como *I. mazatlanensis*, *S. baudinii*, *T. smithii*, *R. horribilis*, *A. dacnicolor*, *L. melanonotus* y *L. magnaocularis*. En contraste, hay especies que tienen pocos registros o ninguno, y que deben tener mayor atención, como: *A. cognatus*, *D. eximius*, *S. bistrincta*, *L. tarahumarae* y las especies de los géneros *Craugastor* y *Eleutherodactylus*. Futuros registros deberían orientarse a aumentar la búsqueda y registro de especies poco conocidas, por ejemplo, *C. pygmeus*, *C. vocalis*, *E. pallidus* y *E. teretistes* que son difíciles de ver y no cuentan con observaciones en Naturalista. Asimismo, un monitoreo de las especies más abundantes como *A. dacnicolor*, *I. mazatlanensis* y *S. baudinii* podrían brindar información relevante en casos de disturbios ambientales naturales o de origen antropogénico (Suazo-Ortuño et al., 2018).

Nuestro estudio sugiere una alternativa para ubicar las especies de anfibios con probable presencia en Sinaloa, como las especies del grupo *Isthmura bellii* (Bryson et al., 2018), las especies sugeridas por Lemos-Espinal y Smith (2020): *Anaxyrus compactilis*, *Craugastor tarahumaraensis*, *Dryophytes wrightorum*, *Lithobates chiricahuensis* y *Ambystoma silvense*, además de *Anaxyrus mexicanus*, cuya presencia se ha inferido por los mapas de distribución de la IUCN (Serrano et al., 2014), pero no hay registros de colecta de ningún tipo en el territorio de Sinaloa. Estas especies podrían ser encontradas por medio de observadores de ciencia ciudadana a través de un programa especial de búsqueda para ampliar las observaciones de los anfibios de Sinaloa en Naturalista.

**Agradecimientos.**— A Jesús Eduardo Quintero Melecio, Eber Alan Barraza Herrera y Leonardo López por permitirnos utilizar sus fotografías que ilustran este manuscrito, así como al resto de contribuyentes que registraron sus observaciones en el proyecto Anfibios de Sinaloa en la plataforma Naturalista. También agradecemos a dos revisores anónimos y al Editor por sus sugerencias y comentarios que ayudaron a mejorar sustancialmente este trabajo.

## INFORMACIÓN SUPLEMENTARIA

**Appendix 1.** Geographical extension of the different priority zones for conservation [Voluntary Areas Designated for

Conservation (ADVC, By its acronym in Spanish), State and Federal Protected Natural Areas (ANPs, By its acronym in Spanish)] in Sinaloa.

**Apéndice 1.** Extensión geográfica de las distintas zonas prioritarias para conservación [Áreas Destinadas Voluntariamente para Conservación (ADVC), Áreas Naturales Protegidas Estatales y Federales (ANPs)] en Sinaloa.

**Appendix 2.** Frequency and average number of amphibians recorded by Naturalista observers according to GBIF (2021b) records. The size of the points indicates the frequency of observations in the number of species.

**Apéndice 2.** Frecuencia y número promedio de anfibios registrados por observadores de Naturalista de acuerdo con los registros de GBIF (2021b). El tamaño de los puntos indica la frecuencia de observaciones en el número de especies.

**Appendix 3.** Map of collections of amphibians deposited in scientific collections from 1970 to 2020.

**Apéndice 3.** Mapa de colectas de anfibios depositados en colecciones científicas desde 1970 hasta 2020.

**Appendix 4.** Annual collection of amphibian specimens from 1970 to 2020 in Sinaloa deposited in Collections and scientific Museums (GBIF, 2021c).

**Apéndice 4.** Colecta anual de especímenes de anfibios entre 1970 y 2020 en Sinaloa depositados en Colecciones y Museos científicos (GBIF 2021c).

**Appendix 5.** Species without collection records in the last five decades in Sinaloa.

**Apéndice 5.** Especies sin registros de colecta en las últimas cinco décadas en Sinaloa.

## LITERATURA CITADA

Alvarado-Cárdenas, L.O., M.G. Chávez-Hernández & J.F.P. León. 2020. *Gonolobus naturalistae* (Apocynaceae; Asclepiadoideae; Gonolobaceae; Gonolobinae), a new species from Mexico. *Phytotaxa* 472:249-258.

Álvarez-Yépiz, J.C. 2020. Restoration ecology in the Anthropocene: learning from responses of tropical forests to extreme disturbance events. *Restoration Ecology* 28:271-276.



- Anhalt-Depies, C., J.L. Stenglein, B. Zuckerberg, P.M. Townsend & A.R. Rissman. 2019. Tradeoffs and tools for data quality, privacy, transparency, and trust in citizen science. *Biological Conservation* 238:108195.
- Ávila-González, H., J.G. González-Gallegos, I.L. López-Enríquez, L. Ruacho-González, J. Rubio-Cardoza & A. Castro-Castro. 2019. Inventario de las plantas vasculares y tipos de vegetación del Santuario El Palmito, Sinaloa, México. *Botanical Sciences* 97:789-820.
- Ávila-Villegas, H., L.P. Rodríguez-Olmos & L.F. Lozano-Román. 2007. Rana toro (*Lithobates catesbeianus*): anfibio introducido en Aguascalientes, México. *Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana* 15:16-17.
- Barrio-Amorós, C.L. 2019. On the taxonomy of snakes in the genus *Leptodeira*, with an emphasis on Costa Rican species. *Reptiles & amphibians* 26:1-15.
- Berlanga-Robles, C.A., A. Cervantes-Escobar & E. Murúa-Figueroa. 2018. Estacionalidad y tendencias del bosque seco de la cuenca Piaxtla-Elota-Quelite y área protegida Meseta de Cacaxtla, México. *Madera y Bosques* 24:e2431576.
- Boersch-Supan, P.H., A.E. Trask & S.R. Baillie. 2019. Robustness of simple avian population trend models for semi-structured citizen science data is species-dependent. *Biological Conservation* 240:108286.
- Borzée, A., H.J. Baek, C.H. Lee, D.Y. Kim, J.Y. Song, J.H. Suh, Y. Jang & M.S. Min. 2019. Scientific publication of georeferenced molecular data as an adequate guide to delimit the range of Korean *Hynobius* salamanders through citizen science. *Acta Herpetologica* 14:27-33.
- Bryson Jr. RW., E. Zarza, J.A. Grummer, G. Parra-Olea, O. Flores-Villela, J. Klicka & J.E. McCormack. 2018. Phylogenomic insights into the diversification of salamanders in the *Isthmura bellii* group across the Mexican highlands. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 125:78-84.
- Callaghan, C.T., I. Ozeroff, C. Hitchcock & M. Chandler. 2020. Capitalizing on opportunistic citizen science data to monitor urban biodiversity: a multi-taxa framework. *Biological Conservation* 251:108753.
- Casas-Andreu, G., X. Aguilar-Miguel & J.R. Cruz-Aviña. 2001. La introducción y el cultivo de la rana toro (*Rana catesbeiana*). ¿Un atentado a la biodiversidad de México? *Ciencia ergo-sum* 8:62-67.
- Carpio-Domínguez, J.L. 2021. Crimen organizado (narcotráfico) y conservación ambiental: el tema pendiente de la seguridad pública en México. *Revista CS* 33:237-74.
- Céspedes-Vindas, J. & J.G. Abarca. 2014. Diet: *Leptodeira rhombifera*. *Mesoamerican Herpetology* 1:288-289.
- Chang, J.C.W., H.C. Tang, S.L. Chen & P.C. Chen. 2008. How to lose a habitat in 5 years: trial and error in the conservation of the farmland green tree frog *Rhacophorus arvalis* in Taiwan. *International Zoo Yearbook* 42:109-115.
- Collins, N. & C.G. Velazco-Macias. 2021. *Neoxabea mexicana* sp. nov. (Gryllidae: Oecanthinae): a new species from Mexico and a key for *Neoxabea* in North and Central America. *Journal of Orthoptera Research* 30:99-106.
- Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras. 2010. Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ciudad de México, México.
- CONABIO. 2021. Geoportal del Sistema Nacional de Información sobre la Biodiversidad (SNIB). <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> [Consultado en febrero 2021]
- Conti, M., A. Passarella & S.K. Das. 2017. The Internet of People (IoP): a new wave in pervasive mobile computing. *Pervasive and Mobile Computing* 41:1-27.
- Conti, M. & A. Passarella. 2018. The Internet of People: a human and data-centric paradigm for the next generation internet. *Computer Communications* 131:51-65.
- Donald, P.F., R.E. Green & M.F. Heath. 2001. Agricultural intensification and the collapse of Europe's farmland bird populations. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 268:25-29.
- Edwards, G. B. 2020. Description of *Phidippus pacosauritus* sp. nov. (Salticidae: Salticinae: Dendryphantini: Dendryphantina), with a reanalysis of related species in the mystaceus group. *Peckhamia* 221:1-18.



- Ellwood, E.R., T.M. Crimmins & A.J. Miller-Rushing. 2017. Citizen science and conservation: recommendations for a rapidly moving field. *Biological Conservation* 208:1-4.
- Flores-Campaña, L.M., J.F. Arzola-González, M. Ramírez-Soto & A. Osorio-Pérez. 2012. Repercusiones del cambio climático global en el estado de Sinaloa, México. *Cuadernos de Geografía, Revista Colombiana de Geografía* 21:115-129.
- Flores-Villela, O.A., H.M. Smith & D. Chiszar. 2004. The history of herpetological exploration in Mexico. *Bonner Zoologische Beiträge* 52:311-335.
- Frías-Alvarez, 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.
- Frost, D.R. 2021. Amphibian Species of the World: an online reference, version 6.1. <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php>. American Museum of Natural History, New York, USA. [Consultado en enero 2021]
- Fugler, C.M. & J.R. Dixon. 1961. Notes on the herpetofauna of the El Dorado area of Sinaloa, Mexico. *Publications of the Museum Michigan State University Biobiological Series* 2:1-21.
- García, A. & A. Cabrera-Reyes. 2008. Estacionalidad y estructura de la vegetación en la comunidad de anfibios y reptiles de Chamela, Jalisco, México. *Acta Zoológica Mexicana, Nueva Serie* 24:91-115.
- GBIF. 2021a. GBIF data processing. <https://www.gbif.org/es/data-processing> [Consultado en junio 2021]
- GBIF. 2021b. GBIF Occurrence Download. <https://doi.org/10.15468/dl.aeugm6> [Consultado en enero 2021]
- GBIF. 2021c. GBIF Occurrence Download. <https://doi.org/10.15468/dl.7epwwn> [Consultado en diciembre 2021]
- Griffiths, R.A., V. Graue, I.G. Bride & J.E. McKay. 2004. Conservation of the axolotl (*Ambystoma mexicanum*) at Lake Xochimilco, Mexico. *Herpetological Bulletin* 89:4-11.
- Grünwald, C.I., J. Reyes-Velasco, H. Franz-Chávez, K.I. Morales-Flores, I.T. Ahumada-Carrillo, C.M. Rodríguez & J.M. Jones. 2021. Two new species of *Eleutherodactylus* (Anura: Eleutherodactylidae) from southern Mexico, with comments on the taxonomy of related species and their advertisement calls. *Amphibian & Reptile Conservation* 15:e272.
- Geijzendorffer, I.R., E.C. Regan, H.M. Pereira, L. Brotons, N. Brummitt, Y. Gavish, P. Haase, C.S. Martin, J.B. Mihoub, C. Secades, D.S. Schmeller, S. Stoll, F.T. Wetzel & M. Walters. 2016. Bridging the gap between biodiversity data and policy reporting needs: an essential biodiversity variables perspective. *Journal of Applied Ecology* 53:1341-1350.
- Genet, K.S., C.A. Lepczyk, R.A. Christoffel, L.G. Sargent & T.M. Burton. 2008. Using volunteer monitoring programs for anuran conservation along a rural-urban gradient in southern Michigan, USA. Pp. 565-574. En J. C. Mitchell, R. E. Jung Brown & B. Bartholomew (Eds.). *Urban Herpetology: Ecology, Conservation and Management of Amphibians and Reptiles in Urban and Suburban Environments*. Society for the Study of Amphibians and Reptiles, Salt Lake City, Utah.
- Halffter, G. & J.J. Morrone. 2017. An analytical review of Halffter's Mexican transition zone, and its relevance for evolutionary biogeography, ecology and biogeographical regionalization. *Zootaxa* 4226:1-46.
- Hardy, L.M. & R.W. McDiarmid. 1969. The amphibians and reptiles of Sinaloa, Mexico. *University of Kansas Publications* 18:39-252.
- iNaturalist*. 2019. Condiciones de servicio. [https://www.inaturalist.org/pages/condiciones\\_de\\_servicio](https://www.inaturalist.org/pages/condiciones_de_servicio) [Consultado en abril 2021]
- INEGI. 2021. Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/> [Consultado en marzo 2021]
- IUCN. 2021. The IUCN Red List of Threatened Species, Version 2021-1. <https://www.iucnredlist.org> [Consultado en marzo 2021]
- Johnson, B.A., A.D. Mader, R. Dasgupta & P. Kumar. 2019. Citizen science and invasive alien species: an analysis of citizen science initiatives using information and communications technology (ICT) to collect invasive alien species observations. *Global Ecology and Conservation* 21: e00812.
- Johnston, A., N. Moran, A. Musgrove, D. Fink & S.R. Baillie. 2020. Estimating species distributions from spatially biased citizen science data. *Ecological Modelling* 422:108927.
- Kendall, K. 2003. Northern leopard frog reintroduction: year 4 (2002). Alberta sustainable resource development, Fish and wildlife division, Alberta species at risk report No. 78. Alberta, Canada.



- Krabbenhoft, C.A. & D.R. Kashian. 2020. Citizen science data are a reliable complement to quantitative ecological assessments in urban rivers. *Ecological Indicators* 116:106476.
- Krištín, A., B. Jarčuška & P. Kaňuch. 2020. An annotated checklist of crickets, grasshoppers and their allies (Orthoptera) in Slovakia. *Zootaxa* 4869:207-241.
- Laufer, G., N. Gobel, N. Kacevas & I. Lado. 2018. Detección con participación ciudadana de una nueva población feral de rana toro (*Lithobates catesbeianus*) en un área protegida de Uruguay. *Revista Latinoamericana de Herpetología* 1:47-50.
- Lemos-Espinal, J.A. & G.R. Smith. 2020. A checklist of the amphibians and reptiles of Sinaloa, Mexico with a conservation status summary and comparisons with neighboring states. *ZooKeys* 931:85-114.
- Lewis, T.H. & M.L. Johnson. 1956. Notes on a herpetological collection from Sinaloa, Mexico. *Herpetologica* 12:277-280.
- Lin, H.C., L.Y. Cheng, P.C. Chen & M.H. Chang. 2008. Involving local communities in amphibian conservation: Taipei frog *Rana taipehensis* as an example. *International Zoo Yearbook* 42:90-98
- Lloyd, T.J., R.A. Fuller, J.L. Oliver, A.I. Tulloch, M. Barnes & R. Steven. 2020. Estimating the spatial coverage of citizen science for monitoring threatened species. *Global Ecology and Conservation* 23: e01048.
- Loc-Barragán, J.A., H. Franz-Chávez, A.J. Grünwald & C.I. Grünwald. 2020. Geographic distribution: first record of *Eleutherodactylus pallidus* (Amphibia: Eleutherodactylidae) for the state of Sinaloa, Mexico. *Herpetological Review* 51:532.
- Longo, A., M. Zappatore & M.A. Bochichio. 2020. Apollon: towards a citizen science methodology for urban environmental monitoring. *Future Generation Computer Systems* 112:899-912.
- Luja, V.H., J.A. López, R. Cruz-Elizalde & A. Ramírez-Bautista. 2017. Herpetofauna inside and outside from a natural protected area: the case of Reserva Estatal de la Biósfera Sierra San Juan, Nayarit, Mexico. *Nature Conservation* 21:15-38.
- Luna-Gómez, M.I., A. García & G. Santos-Barrera. 2017. Spatial and temporal distribution and microhabitat use of aquatic breeding amphibians (Anura) in a seasonally dry tropical forest in Chamela, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 65:1082-1094.
- Maes, D., N.J.B. Isaac, C.A. Harrower, B. Collen, A.J. van-Strien & D. B. Roy. 2015. The use of opportunistic data for IUCN Red List assessments. *Biological Journal of the Linnean Society* 115:690-706.
- Márquez-Salazar, G., B. Salomón-Montijo, A. Reyes-Olivas, M. Amador-Medina & G. Millán-Otero. 2019. Composición y diversidad florística de bosques secos en la Meseta de Cacaxtla, Sinaloa, México. *Gayana Botanica* 76:176-188.
- McDiarmid, R.W., J.F. Copp & D.E. Breedlove. 1976. Notes on the herpetofauna of Western Mexico: new records from Sinaloa and the Tres Mariás Islands. *Contributions in Science Natural History Museum of Los Angeles County* 275:1-17.
- Medina-Torres, S.M., I. Cortés-Gregorio, E. Lara-Ponce & E.A. Sandoval-Forero. 2016. Uso de mamíferos silvestres entre yoremes y yoris de El Fuerte, Sinaloa, México. *Agricultura, Sociedad y desarrollo* 13:529-545.
- Morrone, J.J. 2001. Biogeografía de América Latina y el Caribe. MyT- Manuales y tesis SEA, vol. 3, Zaragoza, España.
- Murphy, P.G. & A.E. Lugo. 1986. Ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17:67-88.
- Naturalista. 2021. Proyecto Anfibios de Sinaloa. <https://www.naturalista.mx/projects/anfibios-de-sinaloa> [Consultado en diciembre 2021]
- Naturalista. 2019. Reto naturalista urbano México 2019. <https://www.naturalista.mx/projects/reto-naturalista-urbano-mexico-2019> [Consultado en diciembre 2021]
- Newman, G., A. Wiggins, A. Crall, E. Graham, S. Newman & K. Crowston. 2012. The future of citizen science: emerging technologies and shifting paradigms. *Frontiers in Ecology and the Environment* 10:298-304.
- Newson, S.E., H.E. Evans & S. Gillings. 2015. A novel citizen science approach for large-scale standardised monitoring of bat activity and distribution, evaluated in eastern England. *Biological Conservation* 191:38-49.
- O'Hanlon, S.J., A. Rieux, R.A. Farrer, G.M. Rosa, B. Waldman, A. Bataille, T.A. Kosch, K.A. Murray, B. Brankovics, M. Fumagalli, M.D. Martin, N. Wales, M. Alvarado-Rybak, K.A. Bates, L. Berger, S. Böll, L. Brookes, F. Clare, E.A. Courtois, A.A. Cunningham, T.M. Doherty-Bone, P. Ghosh, D.J. Gower, W.E. Hintz, J. Höglund,



- T.S. Jenkinson, C.F. Lin, A. Laurila, A. Loyau, A. Martel, S. Meurling, C. Miaud, P. Minting, F. Pasmans, D.S. Schmeller, B.R. Schmidt, J.M.G. Shelton, L.F. Skerratt, F. Smith, C. Soto-Azat, M. Spagnolett, G. Tessa, L.F. Toledo, A. Valenzuela-Sánchez, R. Verster, J. Vörös, R.J. Webb, C. Wierzbicki, E. Wombwell, K.R. Zamudio, D.M. Aanensen, T.Y. James, M.T.P. Gilbert, C. Weldon, J. Bosch, F. Balloux, T.W.J. Garner & M.C. Fisher. 2018. Recent Asian origin of chytrid fungi causing global amphibian declines. *Science* 360:621-627.
- Pearman-Gillman, S.B., J.E. Katz, R.M. Mickey, J.D. Murdoch & T.M. Donovan. 2019. Predicting wildlife occurrence with expert elicitation techniques: an assessment of species distributions in New England, United States. *Global Ecology and Conservation* 21:e00853.
- Phillimore, A.B., J.D. Hadfield, O.R. Jones & R.J. Smithers. 2010. Differences in spawning date between populations of common frog reveal local adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107:8292-8297.
- Pocock, M.J.O., H.E. Roy, C.D. Preston & D.B. Roy. 2015. The biological records centre: a pioneer of citizen science. *Biological Journal of the Linnean Society* 115:475-493.
- Powney, G.D. & N.J.B. Isaac. 2015. Beyond maps: detecting signals of change amidst the noise in the records. *Biological Journal of the Linnean Society* 115:532-542.
- Reyes-Velasco, J. & R. Ramírez-Chaparro. 2019. Algunas sugerencias para el formato de listados herpetofaunísticos de México. *Revista Latinoamericana de Herpetología* 2:103-106.
- Ripple, W.J., C. Wolf, T.M. Newsome, M.G. Betts, G. Ceballos, F. Courchamp, M.W. Hayward, B. van Valkenburgh, A.D. Wallach & B. Worm. 2019. Are we eating the world's megafauna to extinction? *Conservation Letters* e12627.
- Rommel, R.E. 2012. Toad trackers: amphibians as gateway species to biodiversity stewardship. *Herpetological Review* 43:417-421.
- Rowley, J.J.L., C.T. Callaghan, T. Cutajar, C. Portway, K. Potter, S. Mahony, D.F. Trembath, P. Flemons & A. Woods. 2019. FrogID: citizen scientists provide validated biodiversity data on frogs of Australia. *Herpetological Conservation and Biology* 14:155-170.
- Sarukhán, J. & G. García-Méndez. 2003. Hacia un mejor conocimiento de la biodiversidad de Sinaloa. Pp. 13-24. En J. L. Cifuentes-Lemus & J. Gaxiola-López (Eds.). *Atlas de los Ecosistemas de Sinaloa*. El Colegio de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México.
- Saucedo, B., J.M. Serrano, M. Jacinto-Maldonado, R. Leuven, A. A. Rocha-García, A. Méndez-Bernal, A. Gröne, S.J. van Beurden & C.M. Escobedo-Bonilla. 2019. Pathogen risk analysis for wild amphibian populations following the first report of a ranavirus outbreak in farmed american bullfrogs (*Lithobates catesbeianus*) from northern Mexico. *Viruses* 11:26.
- Serrano, J.M., C.A. Berlanga-Robles & A. Ruiz-Luna. 2014. High amphibian diversity related to unexpected environmental values in a biogeographic transitional area in north-western Mexico. *Contributions to Zoology* 83:151-166.
- Smith, H.M. & R.G. Van Gelder. 1955. New and noteworthy amphibians and reptiles from Sinaloa and Puebla, Mexico. *Herpetologica* 11:145-149.
- Sodhi, N.S., D. Bickford, A.C. Diesmos, T.M. Lee, L.P. Koh, B. W. Brook, C.H. Sekercioglu & C.J.A. Bradshaw. 2008. Measuring the meltdown: drivers of global amphibian extinction and decline. *PLoS ONE* 3:e1636.
- Spear, D.M., G.B. Pauly & K. Kaiser. 2017. Citizen science as a tool for augmenting museum collection data from urban areas. *Frontiers in Ecology and Evolution* 5:86.
- Streicher, J.W., J. Reyes-Velasco, C.L. Cox, J.A. Campbell & O. Flores-Villela. 2014. Additional distributional records of a recently described Mexican toad species, *Incilius mccoysi* (Anura: Bufonidae). *Herpetology Notes* 7:207-210.
- Suazo-Ortuño, I. 2002. Effects of habitat disturbance on a frog community in a Mexican tropical dry forest. *Froglog* 49:2.
- Suazo-Ortuño, I., J. Benítez-Malvido, J. Marroquín-Páramo, Y. Soto, H. Siliceo & J. Alvarado-Díaz. 2018. Resilience and vulnerability of herpetofaunal functional groups to natural and human disturbances in a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management* 426:145-157.
- Tomažič, I. 2008. The influence of direct experience on students' attitudes to, and knowledge about amphibians. *Acta Biologica Slovenica* 51:39-49.
- Turbé, A., J. Barba, M. Pelacho, S. Mugdal, L.D. Robinson, F. Serrano-Sanz, F. Sanz, C. Tsinaraki, J.M. Rubio & S. Schade. 2019. Understanding the citizen science landscape for European



- environmental policy: an assessment and recommendations. *Citizen Science: Theory and Practice* 4:34.
- Van der Heiden, A.M., J.A. Castillo-Guerrero, A.K.A. Van der Heiden & M. Ruiz-Guerrero. 2018. Caracterización de la avifauna de La Guásima, Concordia, sur de Sinaloa, México, con énfasis en las especies asociadas a la selva tropical seca y anotaciones sobre especies accidentales y en riesgo. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 89:243-267.
- Van Devender, T.R., M. Ruiz-Guerrero, A.L. Reina-Guerrero, P. Mejía-Mora, S. Guido-Sánchez & A.M. Van der Heiden. 2012. Flora de La Guásima, Concordia, Sinaloa, México: región prioritaria para la conservación. Sinaloa, México: Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.
- Vargas-Álvarez, J., D. Mebs, W. Pogoda, S.W. Toennes & G. Köhler. 2017. Reproduction: *Incilius mazatlanensis* (Taylor, 1940). *Mesoamerican Hepetology* 4:918-920.
- Webb, R.G. 1984. Herpetogeography in the Mazatlan-Durango region of the Sierra Madre Occidental, Mexico. Pp. 217-241. En R. A. Seigel, L. E. Hunt, J. L. Knight, L. Malaret & N. L. Zuschlag (Eds.). *Vertebrate Ecology and Systematics*. University of Kansas, Special publication, Lawrence, Kansas.
- Weir, L.A. & M.J. Mossman. 2005. North American Amphibian Monitoring Program (NAAMP). Pp. 307-313. En M. Lannoo (Eds.). *Amphibian Declines: the Conservation Status of United States Species*. University of California Press, Berkeley, California.
- Wilson, L.D, J.D. Johnson & V. Mata-Silva. 2013. A conservation reassessment of the amphibians of Mexico based on the EVS measure. *Amphibian & Reptile Conservation* 7:97-127.
- Wood, C., B. Sullivan, M. Iliff, D. Fink & S. Kelling. 2011. eBird: engaging birders in science and conservation. *PLoS Biology* 9: e1001220.
- Zambrano, L., M.F.J. Aronson & T. Fernández. 2019. The consequences of landscape fragmentation on socio-ecological patterns in a rapidly developing urban area: a case study of the National Autonomous University of Mexico. *Frontiers in Environmental Science* 7:152.

## APÉNDICES



**Apéndice 1.** Geographical extension of the different priority zones for conservation [Voluntary Areas Designated for Conservation (ADVC, By its acronym in Spanish), State and Federal Protected Natural Areas (ANPs, By its acronym in Spanish)] in Sinaloa.

**Apéndice 1.** Extensión geográfica de las distintas zonas prioritarias para conservación [Áreas Destinadas Voluntariamente para Conservación (ADVC), Áreas Naturales Protegidas Estatales y Federales (ANPs)] en Sinaloa.

| Régimen de protección | Zonas prioritarias para conservación       | Municipios | Observaciones | Especies | Superficie (ha) |
|-----------------------|--|------------|---------------|----------|-----------------|
| ADVC                  | Paco's Reserva de Flora y Fauna            | Mazatlán   | 192           | 8        | 10.02           |
|                       | Reserva Ecológica Bahía de Santa María I   | Angostura  | 0             | 0        | 292.79          |
|                       | Reserva Ecológica Bahía de Santa María II  | Angostura  | 0             | 0        | 840.1           |
|                       | Reserva Ecológica Bahía de Santa María III | Angostura  | 0             | 0        | 506.15          |
|                       | Reserva El Chirimole                       | Elota      | 0             | 0        | 468.1           |
| ANPs Estatales        | El Palmito                                 | Concordia  | 0             | 0        | 4 874.04        |
|                       | Isla de Oraba                              | Culiacán   | 0             | 0        | 25.79           |

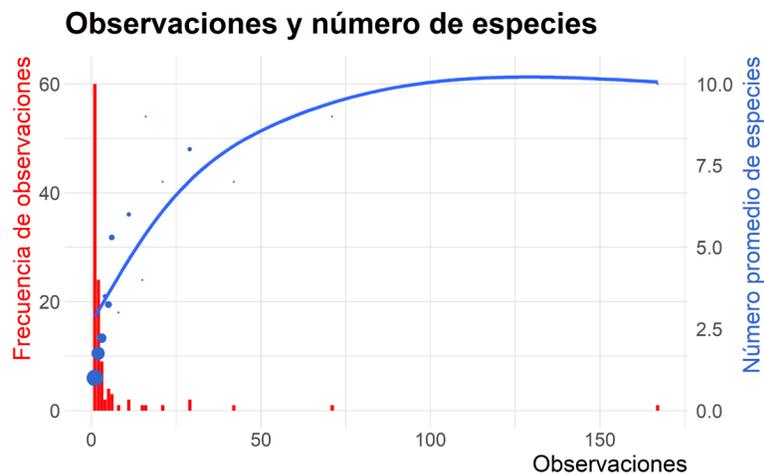
**Appendix 1 (cont.).** Geographical extension of the different priority zones for conservation [Voluntary Areas Designated for Conservation (ADVC, By its acronym in Spanish), State and Federal Protected Natural Areas (ANPs, By its acronym in Spanish)] in Sinaloa.

**Apéndice 1 (cont.).** Extensión geográfica de las distintas zonas prioritarias para conservación [Áreas Destinadas Voluntariamente para Conservación (ADVC), Áreas Naturales Protegidas Estatales y Federales (ANPs)] en Sinaloa.

| Régimen de protección | Zonas prioritarias para conservación         | Municipios   | Observaciones | Especies | Superficie (ha) |
|-----------------------|--|--|---------------|----------|-----------------|
|                       | Islas del municipio de Mazatlán*             | Mazatlán   | 0             | 0        | 105.28          |
|                       | La Cueva del murciélago del Ejido Topo Viejo | Ahome  | 0             | 0        | 0.59            |
|                       | Mineral de Nuestra Señora de la Candelaria   | Cosalá   | 0             | 0        | 1 217.78        |
|                       | Navachiste                                   | Ahome y Guasave  | 0             | 0        | 16 886.93       |
|                       | Surutato                                     | Badiraguato  | 7             | 6        | 30 555.83       |
|                       | Vado Hondo y Gruta Cosalá                    | Cosalá   | 0             | 0        | 3 802.09        |
| ANPs Federales        | Islas del Golfo de California                | El Rosario, Mazatlán, Elota, Culiacán, Navolato, Angostura, Guasave y Ahome. | 0             | 0        | 374553.63       |
|                       | Marismas Nacionales de Nayarit**             | Escuinapa  | 0             | 0        | 59.27           |
|                       | Meseta de Cacaxtla                           | San Ignacio y Mazatlán   | 33            | 8        | 50 862.31       |
|                       | Playa Ceuta                                  | Elota y San Ignacio  | 0             | 0        | 144.15          |
|                       | Playa El Verde Camacho                       | Mazatlán   | 0             | 0        | 96.64           |
|                       | Sierra de Álamos-Río Cuchujaqui              | Choix  | 0             | 0        | 191.27          |

\*También se consideran parte de las ANPs Federales.

\*\*Región protegida en los municipios de Nayarit: Tecuala, Rosamorada, Tuxpan, Santiago Ixcuintla y Acajoneta, que también cubren una pequeña zona de marismas al sur de la localidad de Teacapan en municipio de Escuinapa.

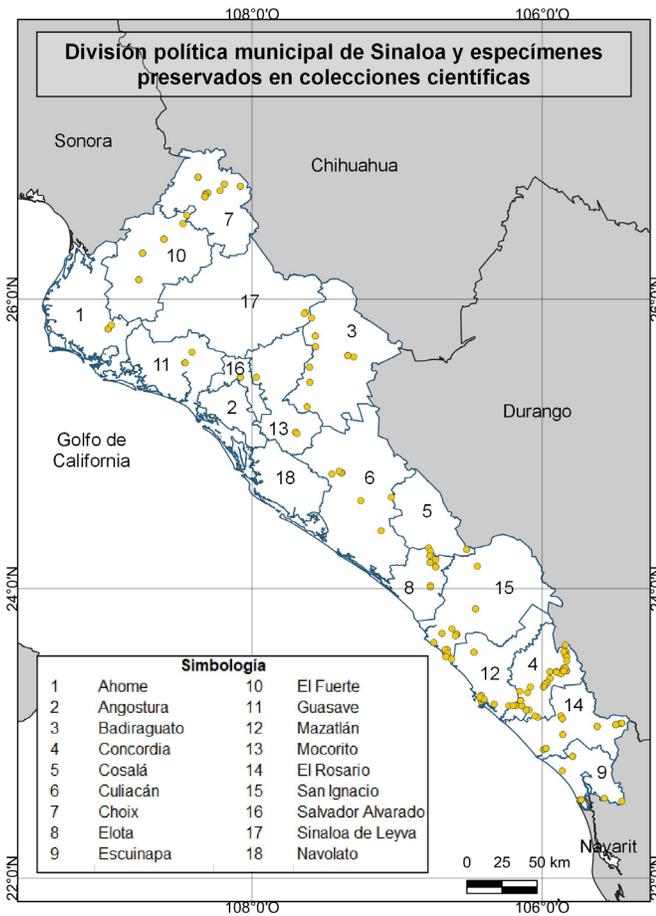


**Appendix 2.** Frequency and average number of amphibians recorded by Naturalista observers according to GBIF (2021b) records. The size of the points indicates the frequency of observations in the number of species.

**Apéndice 2.** Frecuencia y número promedio de anfibios registrados por observadores de Naturalista de acuerdo con los registros de GBIF (2021b). El tamaño de los puntos indica la frecuencia de observaciones en el número de especies.

**Appendix 3.** Map of collections of amphibians deposited in scientific collections from 1970 to 2020.

**Apéndice 3.** Mapa de colectas de anfibios depositados en colecciones científicas desde 1970 hasta 2020.



**Appendix 4.** Annual collection of amphibian specimens from 1970 to 2020 in Sinaloa deposited in Collections and scientific Museums (GBIF, 2021c).

**Apéndice 4.** Colecta anual de especímenes de anfibios entre 1970 y 2020 en Sinaloa depositados en Colecciones y Museos científicos (GBIF 2021c).

| Años | Número de colectas |
|------|--------------------|
| 1970 | 65                 |
| 1971 | 20                 |
| 1972 | 60                 |
| 1973 | 25                 |
| 1974 | 15                 |
| 1975 | 40                 |
| 1976 | 7                  |
| 1977 | 2                  |
| 1978 | 3                  |
| 1979 | 3                  |
| 1980 | 2                  |

**Appendix 4 (cont.).** Annual collection of amphibian specimens from 1970 to 2020 in Sinaloa deposited in Collections and scientific Museums (GBIF, 2021c).

**Apéndice 4 (cont.).** Colecta anual de especímenes de anfibios entre 1970 y 2020 en Sinaloa depositados en Colecciones y Museos científicos (GBIF 2021c).

| Años | Número de colectas |
|------|--------------------|
| 1981 | 13                 |
| 1982 | 8                  |
| 1983 | 3                  |
| 1984 | 33                 |
| 1985 | 29                 |
| 1986 | 7                  |
| 1987 | 0                  |
| 1988 | 0                  |
| 1989 | 6                  |
| 1990 | 9                  |
| 1991 | 0                  |
| 1992 | 0                  |
| 1993 | 259                |
| 1994 | 0                  |
| 1995 | 0                  |
| 1996 | 0                  |
| 1997 | 0                  |
| 1998 | 0                  |
| 1999 | 0                  |
| 2000 | 22                 |
| 2001 | 0                  |
| 2002 | 0                  |
| 2003 | 0                  |
| 2004 | 1                  |
| 2005 | 0                  |
| 2006 | 2                  |
| 2007 | 21                 |
| 2008 | 0                  |
| 2009 | 0                  |
| 2010 | 0                  |
| 2011 | 2                  |
| 2012 | 0                  |
| 2013 | 0                  |
| 2014 | 0                  |
| 2015 | 0                  |
| 2016 | 0                  |
| 2017 | 7                  |
| 2018 | 15                 |
| 2019 | 0                  |
| 2020 | 0                  |



**Appendix 5.** Species without collection records in the last five decades in Sinaloa. California Academy of Science (CAS); University Kansas (KU); Yale Peabody Museum of Natural History (YPMNH).

**Apéndice 5.** Especies sin registros de colecta en las últimas cinco décadas en Sinaloa. California Academy of Science (CAS); University Kansas (KU); Yale Peabody Museum of Natural History (YPMNH).

| <b>Especies</b>              | <b>Último año de registro</b> | <b>Años transcurridos</b> | <b>Fuente</b>        |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------|
| <b>Anura</b>                 |                               |                           |                      |
| <b>Craugastoridae</b>        |                               |                           |                      |
| <i>Craugastor pygmaeus</i>   | 1963                          | 57                        | CAS HERP 175697      |
| <b>Hylidae</b>               |                               |                           |                      |
| <i>Dryophytes eximius</i>    | 1965                          | 55                        | YPMNH HERA-021560    |
| <i>Sarcohyala bistrincta</i> | 1955                          | 65                        | KU Herpetology 44567 |

