

► Sanctuary for fireflies, refuge for amphibians?
The case of Tlaxcala and Puebla



Santuario

PARA LAS LUCIÉRNAGAS

¿refugio para los anfibios?

El caso de Tlaxcala y Puebla



Por:  Juan M. Díaz García · Itzel Arias del Razo · Aníbal H. Díaz de la Vega Pérez



Díaz García, J. M., Arias del Razo, I. y Díaz de la Vega Pérez, A. H. (2024). Santuario para las luciérnagas, ¿refugio para los anfibios? El caso de Tlaxcala y Puebla. *Entorno UDLAP*, 23

 **Recibido:** 13 de marzo de 2024  **Aceptado:** 2 de abril de 2024



► Sanctuary for fireflies, refuge for amphibians?
The case of Tlaxcala and Puebla



Santuario

PARA LAS LUCIÉRNAGAS

¿refugio para los anfibios?

El caso de Tlaxcala y Puebla



Por:  Juan M. Díaz García · Itzel Arias del Razo · Aníbal H. Díaz de la Vega Pérez



Díaz García, J. M., Arias del Razo, I. y Díaz de la Vega Pérez, A. H. (2024). Santuario para las luciérnagas, ¿refugio para los anfibios? El caso de Tlaxcala y Puebla. *Entorno UDLAP*, 23

 **Recibido:** 13 de marzo de 2024  **Aceptado:** 2 de abril de 2024



RESUMEN

Las luciérnagas son consideradas especies bandera en los sitios de avistamiento adyacentes al Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl, México, pero existen pocas evaluaciones sobre su influencia en la conservación de otros grupos amenazados. En este estudio comparamos la diversidad de anfibios entre el Santuario de Nanacamilpa, Tlaxcala, y la región de avistamiento en Tlahuapan, Puebla. La riqueza de especies no varió entre ambos sitios, pero la abundancia de anfibios fue mayor en Tlahuapan. La composición de anfibios fue diferente entre sitios, registrando especies exclusivas en cada uno. Estos resultados sugieren que los sitios de avistamiento de luciérnagas de Nanacamilpa y Tlahuapan son refugios para la diversidad de anfibios, por lo que las luciérnagas están cumpliendo su función como especie bandera. Sin embargo, es importante analizar si esto ocurre con otros grupos taxonómicos y es urgente mitigar la deforestación y contaminación, así como regular la afluencia de visitantes en el Santuario de Nanacamilpa, Tlaxcala.

PALABRAS CLAVE

Bosque templado · Diversidad taxonómica · Especies bandera · Sierra Nevada

ABSTRACT

Fireflies are considered flagship species in the sighting sites adjacent to the Iztaccíhuatl-Popocatepetl National Park, Mexico, but there are few evaluations of their influence on the conservation of other threatened groups. In this study we compared amphibian diversity between the Nanacamilpa Sanctuary, Tlaxcala, and the sighting region in Tlahuapan, Puebla. Species richness did not vary, but amphibian abundance was greater in Tlahuapan. The composition of amphibians was different between sites, but each site had exclusive species. Our results suggest that the firefly sighting sites of Nanacamilpa and Tlahuapan are refuges for amphibian diversity, so fireflies are fulfilling their function as flagship taxa. However, it is important to understand whether this occurs with other taxonomic groups, and it is urgent to mitigate deforestation and pollution, as well as regulate the influx of visitors to the Nanacamilpa Sanctuary, Tlaxcala.

KEYWORDS

Temperate forest · Taxonomic diversity · Flagship species · Sierra Nevada

INTRODUCCIÓN

La pérdida y fragmentación de los ecosistemas generadas por las actividades humanas son las principales causas de la disminución de la biodiversidad a nivel mundial (Primack, 2010; IPBES, 2019). Estos factores alteran el microclima (Agaja *et al.*, 2020; Bodo *et al.*, 2021), disminuyen la conectividad ecológica (Zemanova *et al.*, 2017) y reducen la disponibilidad de alimento para las especies animales (Miranda *et al.*, 2021). De acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2023), México es el segundo país con mayor número de especies amenazadas debido a las altas tasas de deforestación, la contaminación, el cambio climático y la invasión de especies exóticas.

Tlaxcala es el segundo estado mexicano más deforestado, con solo el 19 % de su territorio cubierto por vegetación nativa (17 % bosques y 2 % matorral [INEGI, 2018]). Los fragmentos de bosque en Tlaxcala están compuestos por vegetación primaria (9 %) y secundaria (8 %) de bosques de pino, pino-encino, oyamel, encino y táscate. Estos se encuentran principalmente en la Sierra de Tlaxco (5 %), el Parque Nacional La Malinche (4 %), el Espolón de la Sierra Nevada (3 %) y los lomeríos centrales (3 %) (INEGI, 2018). Sin embargo, pocos cuentan con algún tipo de protección. Incluso dentro de áreas naturales protegidas —como el Parque Nacional La Malinche— existen severos cambios en el uso del suelo (López-Téllez *et al.*, 2019).

En la región norte del Espolón de la Sierra Nevada, particularmente en el municipio de Nanacamilpa de Mariano Arista, Tlaxcala, se encuentran bosques que albergan al Santuario de las Luciérnagas, con 25 sitios de avistamiento que ofrecen actividades turísticas durante el periodo de reproducción de las luciérnagas, entre julio y



LAS LUCIÉRNAGAS HAN SIDO CONSIDERADAS ESPECIE BANDERA, PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE CORREDORES BIOLÓGICOS Y RECREATIVOS EN COSTA RICA (SÁNCHEZ LÓPEZ, 2022) Y COMIENZAN A SERLO TAMBIÉN EN TLAXCALA (REYES-SÁNCHEZ, 2020).



TLAXCALA ES EL SEGUNDO ESTADO MEXICANO MÁS DEFORESTADO, CON SOLO EL 19 % DE SU TERRITORIO CUBIERTO POR VEGETACIÓN NATIVA.

agosto. Allí podemos encontrar a las especies *Photinus chapingoensi*, *P. palaciosi* y *Ellychnia corrusca* (García-Trujillo *et al.*, 2018), que se comunican a través de la bioluminiscencia para encontrar pareja. En el abdomen de estos escarabajos se genera luciferina, la cual produce oxiluciferina al entrar en contacto con el oxígeno, emitiendo, en consecuencia, luz fosforescente (Mena *et al.*, 2018). El avistamiento de luciérnagas en Tlaxcala comenzó en 1990, pero hasta 2010 cobró popularidad (García-Trujillo *et al.*, 2021). Tan solo en 2023, la Secretaría de Turismo de Tlaxcala estimó que esta actividad atrajo a aproximadamente 120,000 visitantes, generando una derrama económica de 62 millones de pesos (De la Rosa, 2023). Incluso en otros estados colindantes con el Santuario de las Luciérnagas —como Estado de México y Puebla— se han establecido nuevos sitios de avistamiento para beneficio económico de los habitantes.

Adyacente al PNIP (Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl), en el municipio de Tlahuapan, Puebla, se encuentra otra región dedicada a la observación de luciérnagas. El avistamiento en esta zona comenzó en 2016 (Velasco-Santos, 2020), manteniendo un bajo número de visitantes; para 2023 se registraron 850 personas en la temporada de junio a agosto (Registros del ejido de San Rafael Ixtapalucan,

com. pers.). A diferencia de Nanacamilpa, el paisaje de Tlahuapan está cubierto por bosques templados y zacatonales alpinos (INEGI, 2018).

Además de las luciérnagas, en el Santuario de Nanacamilpa habitan 129 especies de aves (Ramírez-Albores, 2013), 41 de mamíferos (Ramírez-Albores *et al.*, 2014; Pérez-Carreto, 2020) y diversos hongos comestibles (Zamora Martínez *et al.*, 2006). En el municipio de Tlahuapan se han registrado ocho especies de mamíferos (Pérez-Carreto, 2020) y 19 de hongos comestibles (García-Hernández, 2017). Sin embargo, poco se conoce sobre la diversidad de anfibios en ambas regiones de avistamiento. En la plataforma *Naturalista* (2023), existe registro de siete especies de anfibios en Nanacamilpa: *Ambystoma velasci*, *Aquiloerycea cephalica*, *Dryophytes eximius*, *D. plicatus*, *Lithobates spectabilis*, *Pseudoeurycea leprosa* y *Spea multiplicata*. Mientras que para Tlahuapan existen registros ciudadanos de cinco especies: *D. eximius*, *D. plicatus*, *Incilius occidentalis*, *L. spectabilis* y *P. leprosa*. Estos anfibios dependen de los bosques debido a que habitan áreas con altos niveles de humedad y bajas temperaturas (Duellman y Trueb, 1986), necesitan de cuerpos de agua y utilizan una variedad de refugios que les brinda la cobertura forestal (e. g., hojarasca, árboles, troncos caídos [Crump, 2009]). En cierta medida, las luciérnagas también depen-

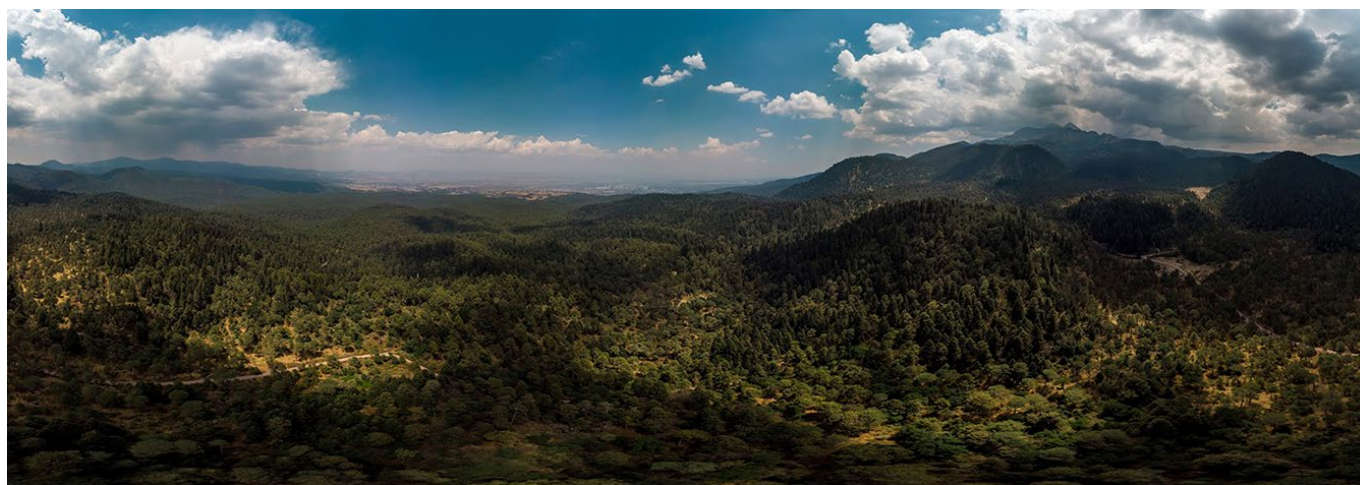


Figura 1. Región de avistamiento de luciérnagas adyacente al Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl.
Fotografía: Alejandro Arias del Razo.

den de los bosques templados para completar su ciclo de vida. Otra característica que comparten estos grupos es el actual decremento de sus poblaciones debido a la deforestación (WWF, 2022).

Una estrategia para promover el ecoturismo sin comprometer la conservación de la biodiversidad es la denominación de especies bandera, que se definen como «especies que tienen la capacidad de capturar la atención del público e inducir a las personas a apoyar acciones de conservación y/o donar fondos» (Walpole y Leader-Williams, 2022), beneficiando indirectamente a otras especies. Las luciérnagas han sido consideradas especie bandera para la implementación de corredores biológicos y recreativos en Costa Rica (Sánchez López, 2022) y comienzan a serlo también en Tlaxcala (Reyes-Sánchez, 2020). Sin embargo, no se ha evaluado la importancia de los sitios de avistamiento en la conservación de otras especies amenazadas, como los anfibios. Por ello, en este estudio comparamos la diversidad de anfibios

entre el Santuario de las Luciérnagas de Nanacamilpa, que presenta una alta demanda turística, y la región de avistamiento en Tlahuapan, Puebla, que presenta una baja demanda turística. La información de este estudio busca generar recomendaciones de manejo que permitan mantener comunidades diversas de anfibios sin comprometer la actividad ecoturística.

METODOLOGÍA

Área de estudio

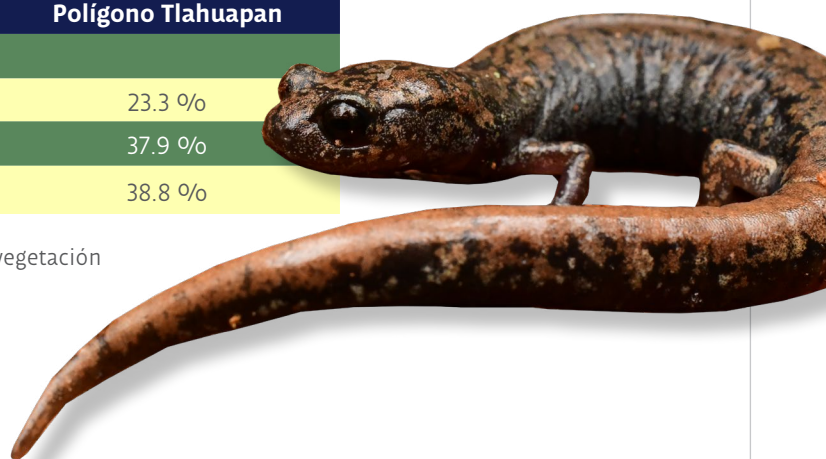
Este estudio se realizó en Nanacamilpa de Mariano Arista, Tlaxcala, y Tlahuapan, Puebla. Nanacamilpa se encuentra en el occidente de Tlaxcala, entre los 2,600 y 3,300 m s. n. m., con un clima templado-subhúmedo con lluvias en verano y una temperatura mínima de 12 y máxima de 18 °C (INEGI, 2018). La vegetación corresponde al bosque de coníferas y latifoliadas, principalmente de las especies *Abies religiosa*, *Pinus montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. teocote* y *Quercus laurina*. Nanacamilpa representa el 2.7 % de la superficie total de Tlaxcala

Tabla 1. Uso de suelo y tipos de vegetación de los polígonos establecidos en sitios de observación de luciérnagas en Nanacamilpa, Tlaxcala, y Tlahuapan, Puebla.

	Polígono Nanacamilpa	Polígono Tlahuapan
Agricultura	15.6 %	
Bosque de pino	76 %	23.3 %
Bosque de pino-encino		37.9 %
Bosque de oyamel	8.4 %	38.8 %

Nota: no se incluye el porcentaje de área para los usos de suelo o vegetación que no están presentes dentro del polígono.

Fuente: elaboración propia.



**PARA COMPARAR
LA ABUNDANCIA
ENTRE POLÍGONOS
SE UTILIZARON
MODELOS LINEALES
GENERALIZADOS
CON DISTRIBUCIÓN
POISSON Y
FUNCIÓN DE LIGA
LOGARÍTMICA.**



y alberga cerca de 4,000 hectáreas de bosques templados; sin embargo, enfrenta graves procesos de deforestación (SEMARNAT, 2022). En esta región se encuentran los sitios de avistamiento de luciérnagas más concurridos (Rosas-López, 2017).

Tlahuapan se encuentra en el centro-oeste de Puebla, en las faldas del PNIP, entre los 2,300 y 3,500 m s. n. m. El clima es templado-subhúmedo con lluvias en verano y semifrío húmedo con lluvias en verano, registra una temperatura mínima de 8 y máxima de 16 °C, y una precipitación entre los 900 y 1,100 mm anuales. En lo que respecta al uso de suelo y vegetación, el 52 % se utiliza con fines agrícolas, el 41 % está cubierto por bosques de pino y encino, mientras que la zona urbana abarca el 5 %, y el pastizal introducido, un 2 % (INEGI, 2018). En los bosques de Tlahuapan, el número de visitantes (850 personas) durante la temporada de avistamiento de luciérnagas es significativamente menor en comparación con Nanacamilpa (120,000 personas) (figura 1).

Diseño de estudio

Se estableció un polígono de aproximadamente 13 km² en el Santuario de las Luciérnagas de Nanacamilpa, a una elevación promedio de 2,832 m s. n. m. (19° 27.332'N, 98° 35.841'O). La vegetación dominante es el bosque templado, pero existen cultivos de cebada y maíz (tabla 1). El 32 % del polígono se encuentra en tierras eji-

dales de vocación forestal, agrícola y turística (Pérez-Carreto, 2020).

El segundo polígono de aproximadamente 13 km² se estableció en el ejido de San Rafael Ixtapalucan, Tlahuapan, a una elevación promedio de 2,898 m s. n. m (19° 16.604' N, 98° 35.407' O), donde la vegetación se compone de bosques templados (tabla 1). El 65 % del polígono se encuentra en tierras ejidales de vocación forestal y turística (Pérez-Carreto, 2020).

Ambos polígonos se visitaron en tres ocasiones (durante 2019, 2021 y 2022). En cada visita, entre cuatro y cinco personas buscaron a los anfibios en sus microhábitats de preferencia (e. g. hojarasca, rocas, cuerpos de agua, arbustos, etcétera) entre las 18:00 y 23:00 horas. Se utilizó la técnica de búsqueda libre con captura manual (Crump, 2009) y, en algunas ocasiones, redes de mango largo para la captura de especies semiacuáticas. Para la búsqueda de ajolotes (*Ambystoma velasci*) se colocaron seis trampas de embudo en los cuerpos de agua que tuvieran más de 50 centímetros de profundidad durante cinco horas. Todos los individuos fueron identificados a nivel de especie y liberados en el sitio de captura.

Análisis de datos

Posteriormente, se calculó la riqueza de especies —entendida como el número total registrado en todo el muestreo— para cada polígono. Asimismo, se calculó la abundancia, es decir, el

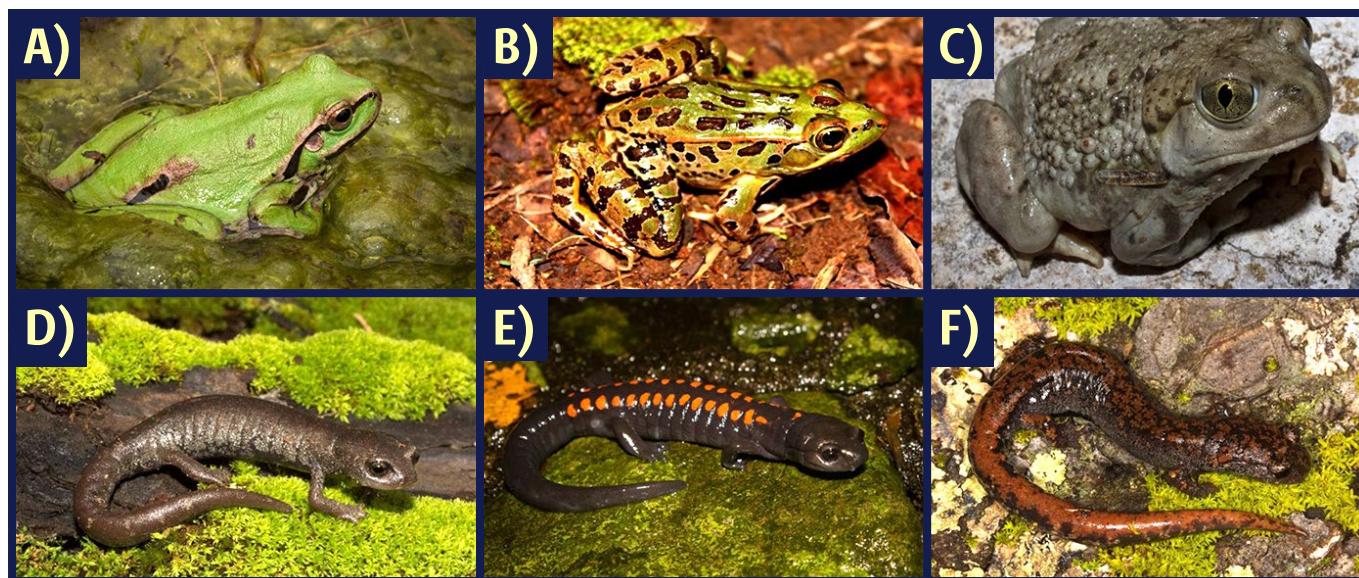


Figura 2. Especies de anfibios registrados en los sitios de avistamiento de luciérnagas en Nanacamilpa, Tlaxcala y Tlahuapan, Puebla. A) *Dryophytes plicatus* (fotografía: Eric Centenero Alcalá), B) *Lithobates spectabilis* (fotografía: Erick Gómez Campos), C) *Spea multiplicata* (fotografía: Eric Centenero Alcalá), D) *Aquiloeurycea cephalica* (fotografía: Eric Centenero Alcalá), E) *Isthmura bellii* (fotografía: Jonatan Torres Pérez Coeto), F) *Pseudoeurycea leprosa* (fotografía: Eric Centenero Alcalá).

Tabla 2. Riqueza y abundancia de los anfibios registrados en Nanacamilpa, Tlaxcala y en Tlahuapan, Puebla.

	Polígono Nanacamilpa	Polígono Tlahuapan	Total
Ranas y sapos			
<i>Dryophytes plicatus</i>	8	29	37
<i>Lithobates spectabilis</i>	11		11
<i>Spea multiplicata</i>	2		2
Salamandras			
<i>Aquiloectomy cephalica</i>	4	2	6
<i>Isthmura bellii</i>		1	1
<i>Pseudoeurycea leprosa</i>	7	23	30
Riqueza de especies	5	4	6
Abundancia	32	55	87

Nota: las especies registradas fuera del polígono no presentan valor de abundancia.
Fuente: elaboración propia.

número total de individuos registrados en todo el muestreo. Para comparar la riqueza entre polígonos, se calcularon los intervalos de confianza al 96 % (IC96 %), considerando diferencias significativas cuando no hubo traslape entre los intervalos (Chao y Jost, 2012). Para comparar la abundancia entre polígonos se utilizaron modelos lineales generalizados con distribución Poisson y función de liga logarítmica. Se construyeron curvas de rango abundancia para evaluar los cambios en la composición de las comunidades. Estos análisis fueron realizados con las paqueterías INEXT (Hsieh et al., 2016) y «gmodels» (Warnes et al., 2018) en R (R Core Team, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En total, se registraron 87 individuos de seis especies de anfibios. La especie más abundante fue la rana *D. plicatus*, con 37 individuos, y la menos abundante fue la salamandra *Isthmura bellii*, con un individuo. En Nanacamilpa se registraron dos especies de ranas, una de sapo y dos de salamandra. Mientras que en Tlahuapan, una especie de rana y tres de salamandra. En ninguno de los dos polígonos de estudio se encontraron ajolotes (tabla 2) (figura 2).

La riqueza de especies de anfibios fue similar entre polígonos (Nanacamilpa $\bar{x}=5$, IC96%=0.67; Tlahuapan $\bar{x}=4$, IC96%=1.57). No obstante, la abundancia de anfibios fue mayor en Tlahuapan que en Nanacamilpa (g.l. = 1, devianza residual = 6.15, $p < 0.05$).

La comunidad de anfibios del polígono de Nanacamilpa presentó una mayor equidad (i. e., repartición homogénea de la abundan-

LA COMUNIDAD DE ANFIBIOS DEL POLÍGONO DE NANACAMILPA PRESENTÓ UNA MAYOR EQUIDAD (I. E. REPARTICIÓN HOMOGÉNEA DE LA ABUNDANCIA ENTRE LAS ESPECIES) QUE LA COMUNIDAD DEL POLÍGONO DE TLAHUAPAN.



cia entre las especies) que la comunidad del polígono de Tlahuapan. En este último, se observa una codominancia marcada por la rana *D. plicatus* y la salamandra *P. leprosa*. Además, se registraron especies exclusivas en cada polígono, en Nanacamilpa, la rana *L. spectabilis* y el sapo *S. multiplicata*, mientras que en Tlahuapan, la salamandra *I. bellii* (figura 3).

Nuestros resultados sugieren que los bosques templados con actividad ecoturística para el avistamiento de luciérnagas en Nanacamilpa y Tlahuapan son importantes para mantener la riqueza de especies de anfibios a nivel regional, independientemente del número de visitantes que reciben durante la temporada de avistamiento. En conjunto, los polígonos estudiados son refugio del 75 % de las especies registradas en ambos municipios (Naturalista, 2023).

En particular, la ausencia del ajolote *Ambystoma velasci* —y de cualquier otra especie de este género— en ambos sitios de estudio, podría indicar la ausencia de condiciones adecuadas para el establecimiento y mantenimiento de las poblaciones. No obstante, juzgamos necesario incrementar el esfuerzo de muestreo para ampliar el catálogo de riqueza de anfibios considerando otros ecosistemas y tipos de uso de suelo. Además, consideramos urgente la implementación de monitoreo a largo plazo para evaluar el posible efecto de las actividades ecoturísticas a nivel regional. Entre las especies encontradas están las salamandras *P. leprosa* y *A. cephalica*, y la rana *L. spectabilis*, cuyas poblaciones, a pesar de no estar catalogadas como especies amenazadas, se encuentran en decremento debido a la disminución en la ex-



**LOS BOSQUES
TEMPLADOS
CON ACTIVIDAD
ECOTURÍSTICA PARA
EL AVISTAMIENTO
DE LUCIÉRNAGAS
EN NANACAMILPA
Y TLAHUAPAN SON
IMPORTANTES
PARA MANTENER LA
RIQUEZA DE ESPECIES
DE ANFIBIOS A
NIVEL REGIONAL.**

tensión y calidad de sus hábitats (IUCN, 2023). Por lo general, en los sitios de avistamiento de luciérnagas se mantiene la cobertura forestal (García-Trujillo *et al.*, 2018) y, en consecuencia, se pueden dar los requerimientos ambientales para que los anfibios los habiten.

Ambas regiones de avistamiento de luciérnagas presentan diferencias en la cobertura de vegetación; en Tlahuapan dominan los bosques templados, mientras que en Nanacamilpa existen cultivos agrícolas (INEGI, 2018). A nivel mundial, se ha demostrado que el cambio de bosques por cultivos es la principal amenaza para las poblaciones de anfibios (WWF, 2022). Esto se vio reflejado en que se registró un 40 % menos de individuos de anfibios en Nanacamilpa que en Tlahuapan, a pesar de no haber encontrado diferencia en la riqueza de especies. A partir de un metanálisis, Thompson y Donnelly (2018) reportaron que la riqueza de anfibios es una variable menos sensible a la modificación del hábitat en comparación con la abundancia o la composición de especies. La pérdida de los bosques templados incrementa la temperatura atmosférica y del suelo (Prevedello *et al.*, 2019),

además, modifica la estructura y composición florística (Chávez-León y Lemos-Espinal, 2021). Estas alteraciones pueden reducir la cantidad y variedad de microhábitats para los anfibios (Díaz-García *et al.*, 2020). En otros estudios también se ha documentado que la abundancia de anfibios se ve afectada por la disminución del área cubierta por bosque templado (Aldape-López y Santos Moreno, 2016; Illescas-Aparicio *et al.*, 2016).

Es posible que la ubicación de los sitios de avistamiento y el tipo de tenencia de la tierra en Tlahuapan hayan favorecido el avistamiento de una comunidad más abundante de anfibios y, en específico, un mayor número de especies e individuos de salamandras sin pulmones —que son más sensibles a la pérdida del bosque que otros anfibios (Díaz-García *et al.*, 2020)—. La continuidad entre los bosques protegidos del PNIP y los bosques de Tlahuapan podría amortiguar las variaciones microclimáticas, reducir el efecto de borde y favorecer la dispersión de especies (Gilbert-Norton *et al.*, 2010; Crosby *et al.*, 2010). Por otro lado, la mayor parte del polígono en Tlahuapan se encuen-

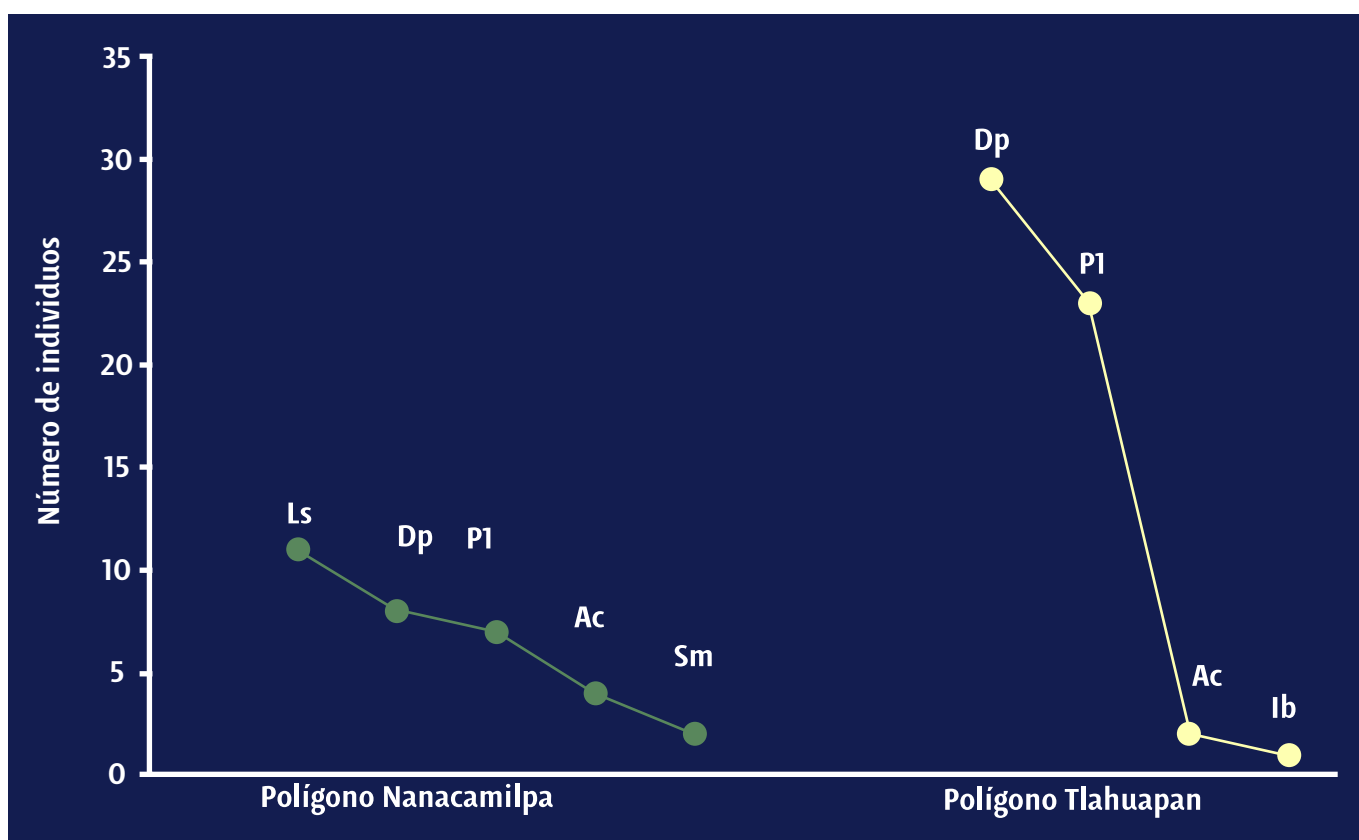


Figura 3. Curvas de rango abundancia de las comunidades de anfibios registradas en los polígonos de Nanacamilpa, Tlaxcala y de Tlahuapan, Puebla. Ls = *Lithobates spectabilis*, Dp = *Dryophytes plicatus*, Pl = *Pseudoeurycea leprosa*, Ac = *Aquiloeurycea cephalica*, Sm = *Spea multiplicata*, Ib = *Isthmura bellii*.

Fuente: elaboración propia.

tra dentro de un ejido forestal (Pérez-Carreto, 2020), donde se regula la extracción de madera, contribuyendo al mantenimiento de una cobertura forestal extensa e, indirectamente, a la conservación de los anfibios especialistas del bosque templado. Aunado a ello, el ejido tiene otras fuentes de ingreso económico: cuenta con una planta embotelladora de agua (Velasco-Santos, 2020) y recibe turistas a lo largo del año que practican deportes de montaña, además de visitas de turistas con vehículos todoterreno. Asimismo, se comercializan bienes forestales no maderables, como heno y musgo. Hay que decir que la tala y la caza son frecuentes en esta región, pese a que existen programas de vigilancia. Sin embargo, es necesario evaluar en profundidad el posible impacto negativo de algunas de estas actividades sobre la diversidad, el ecosistema y los procesos ecológicos.

A pesar de que es considerada una actividad «ecoturística», en el Santuario de las Luciérnagas de Nanacamilpa se han detectado problemáticas ambientales asociadas a la elevada afluencia turística, como contaminación lumínica, del agua y por residuos sólidos, así como el pisoteo de luciérnagas, la pérdida de bosque para la delimitación de nuevos senderos y la construcción de infraestructura (García-Trujillo et al., 2018). García-Trujillo et al. (2018) proponen que el Santuario de las Luciérnagas sea considerado un «recurso de uso común», no en los límites de propiedad (privados o ejidales), sino en el manejo y aprovechamiento de los bosques. Esto debido a que el manejo turístico sin regulación y el cambio de uso de suelo en cada uno de los sitios de avistamiento afectan directamente al hábitat de los anfibios y a los sitios de reproducción de las luciérnagas, comprometiendo, además, la viabilidad de esta actividad ecoturística a largo plazo.

Dentro de las estrategias para mitigar el impacto de las actividades turísticas en el Santuario de las Luciérnagas de Nanacamilpa, así como en otros sitios de avistamiento, los pobladores han registrado sus predios como «Áreas destinadas voluntariamente a la conservación», y han establecido senderos de observación permanentes para evitar el pisoteo de luciérnagas y de otros organismos (Reyes-Sánchez, 2020). Una estrategia que pudiera ayudar a mantener y recuperar el bosque templado es promover el esquema de «Pago por servicios ambientales» donde aún no se ha implementado. Este incentivo económico favorece las prácticas de mane-

jo sustentables (Conafor, 2022) y podría ayudar a regular la capacidad de carga del santuario, calculada en 466 visitantes por día y que actualmente se encuentra rebasada en un 250 % (García-Trujillo et al., 2018). Estas estrategias podrían ser ventajosas para las luciérnagas y los anfibios.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados de esta investigación sugieren que los sitios de avistamiento de luciérnagas de Nanacamilpa y Tlahuapan son refugio para la diversidad de anfibios y que, al albergar a comunidades de aves, hongos y mamíferos (Zamora Martínez, et. al., 2006; Pérez-Carreto, 2020; García-Hernández, 2017; Ramírez-Albores, 2013; Ramírez-Albores et. al., 2014;), están protegiendo indirectamente a otras especies.

Sin embargo, es necesario monitorear la persistencia de la deforestación en sitios como Nanacamilpa, la cual puede reducir la diversidad de hongos del suelo (Navarro-Noya et al., 2021), aves (Ramírez-Albores, 2013) y anfibios. Asimismo, es necesario evaluar si existen donaciones o asignaciones económicas obtenidas de la actividad ecoturística, para fomentar la conservación del bosque templado y su biodiversidad, por ejemplo, a partir de la implementación de prácticas de restauración ecológica.

Finalmente, para contribuir a la conservación de la biodiversidad en los sitios de avistamiento de luciérnagas en Nanacamilpa, es necesario controlar el elevado número de turistas. Mientras que en Tlahuapan es importante estimar la capacidad de carga del sitio y mantener bajo el número de visitantes, así como establecer rutas específicas para la práctica de deportes de montaña. Así, se podría garantizar que los sitios de avistamiento de luciérnagas apoyen la conservación de comunidades biológicas diversas y esto sea redituable en la economía de los pobladores.

Agradecimientos

A los administradores y autoridades de los ejidos de San Rafael Ixtapalucan, Moxolahuac y San José Nanacamilpa. A los propietarios y administradores del Parque Ecoturístico Piedra Canteada y Villas del Bosque Santa Clara. A las autoridades de los municipios de Nanacamilpa, Tlaxcala y Tlahuapan, Puebla. A Lenin Ríos Figueroa, María Chandel Juárez Ramírez, Omar Ramírez Icaza y Erick Gómez Campos por el apoyo en trabajo de campo, logística y administración. A Erick Gómez Campos, Eric Cen-



EN LOS SITIOS DE AVISTAMIENTO DE LUCIÉRNAGAS SE MANTIENE LA COBERTURA FORESTAL (GARCÍA-TRUJILLO ET AL., 2018) Y, EN CONSECUENCIA, SE PUEDEN DAR LOS REQUERIMIENTOS AMBIENTALES PARA QUE LOS ANFIBIOS PUEDAN HABITARLOS.

tenero Alcalá, Jonathan Torres Pérez Coeto y Alejandro Arias del Razo por compartir las fotografías. A Judith Galicia por su apoyo en la administración. A la Semarnat y Conanp, por los permisos otorgados (SGPA/DGVS/9263/19 y SGPA/DGVS/07931/21).

JMDG recibió una beca posdoctoral (número 3981386) del Conahcyt (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnología). Al Proyecto del Fondo Sectorial de Investigación SRE-Conahcyt: análisis de la conectividad funcional entre los Parques Nacionales La Malinche e Iztaccíhuatl-Popocatepetl e identificación de áreas prioritarias para la conservación (CAR número 286794), por el financiamiento.



➤ Aníbal Helios Díaz de la Vega Pérez

Biólogo egresado de la FES-Iztacala con maestría y doctorado en el Instituto de Biología de la UNAM. Actualmente, es investigador por México del Conahcyt, adscrito al Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta de la UATx. Se ha enfocado al estudio de los requerimientos ecofisiológicos, la biodiversidad y la evaluación de la vulnerabilidad ante el cambio climático global de reptiles y anfibios, en concordancia con la conservación y protección de ecosistemas y especies.
anibal.helios@gmail.com



➤ Itzel Arias del Razo

Bióloga egresada de la BUAP y doctora en Ecología y Manejo de Recursos Naturales por el Instituto de Ecología, A. C. (INECOL). Es académica en la Universidad Autónoma de Tlaxcala. Su línea de investigación se centra en evaluar el impacto de las actividades humanas en las interacciones multitroficas y sus posibles implicaciones en la pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos. Está interesada en desarrollar estrategias para el manejo, conservación y uso sostenible de la vida silvestre, así como en el desarrollo de proyectos de restauración y refaunación.
itzel.arias@gmail.com



➤ Juan Manuel Díaz García

Biólogo, maestro y doctor en Ciencias. Es candidato a investigador nacional e investigador posdoctoral en el Centro Tlaxcala de Biología de la Conducta, UATx. Su línea de investigación es la ecología de la restauración, la ecología funcional, la conservación de anfibios, la diversidad biocultural y la identificación de áreas prioritarias con enfoque multitaxonómico.
juanm.diazgarcia@gmail.com

REFERENCIAS

- Acle Mena, R. S., Valverde Sierra, M. L., Franco Martínez, G. y Claudio Morales, A. (2018). Sustentabilidad para la preservación del santuario de la luciérnaga en Nanacamilpa Tlaxcala. *PASOS Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 16(3), 731-744. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2018.16.052>
- Agaja, T. M., Adeleke, E. A., Adeniyi, E. E. y Afolayan, P. T. (2020). The assessment of deforestation impact towards microclimate and environment in Ilorin, Nigeria. *Geosfera Indonesia*, 5(3), 301. <https://doi.org/10.19184/geosi.v5i3.16874>
- Aldape-López, C. T. y Santos Moreno, A. (2016). Efecto del manejo forestal en la herpetofauna de un bosque templado del occidente de Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical*, 64(3). <https://doi.org/10.15517/rbt.v64i3.21525>
- Bodo, T., Gimah, B. G. y Seomoni, K. J. (2021). Deforestation and habitat loss: human causes, consequences and possible solutions. *Journal of Geographical Research*, 4(2), 22-30. <https://doi.org/10.30564/jgr.v4i2.3059>
- Chao, A. y Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93(12), 2533-2547. <https://doi.org/10.1890/11-1952.1>
- Chávez-León, G. y Lemos-Espinal, J. A. (2021). Anfibios y reptiles de bosques bajo manejo silvicultural. En G. Chávez y J. Lemos, *Folleto Técnico Núm. 32* (p. 73). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales.
- Conafor (Comisión Nacional Forestal). (2022). Pago por Servicios Ambientales: incentivos económicos para la conservación de los ecosistemas. *Gobierno de México*. <https://www.gob.mx/conafor/articulos/pago-por-servicios-ambientales-incentivos-economicos-para-la-conservacion-de-los-ecosistemas>
- Crump, M. L. (2009). Amphibian diversity and life history. En C. Kenneth Dodd (Ed.), *Amphibian Ecology and Conservation: A Handbook of Techniques* (pp. 3-19). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780199541188.003.0001>
- De la Rosa, D. (15 de agosto de 2023). Exitosa temporada de luciérnagas, presume Secture. Quadratín Tlaxcala. *Quadratín Tlaxcala*. <https://tlaxcala.quadratín.com.mx/turismo/exitosa-temporada-de-luciernagas-presume-secture/>
- Díaz-García, J. M., López-Barrera, F., Toledo-Aceves, T., Andresen, E. y Pineda, E. (2020). Does forest restoration assist the recovery of threatened species? A study of cloud forest amphibian communities. *Biological Conservation*, 242, 108400. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108400>
- Duellman, W. E. y Trueb, L. (1986). *Biology of amphibians*. Johns Hopkins University Press. <https://ci.nii.ac.jp/ncid/BA23465732>
- García-Hernández, M. (2017). *Etnomicrología de San Rafael Ixtapalucan, municipio de Santa Rita Tlahuapan, Puebla* [Tesis de licenciatura, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio Institucional BUAP. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/14012>
- García-Trujillo, Z. H. M. K., Quintero, S., Hernández, L. G. G. y Pérez, J. A. T. (2018). Valoración económica del Santuario de la Luciérnaga en Nanacamilpa, Tlaxcala. *El Periplo Sustentable*, 35, 64-95.
- García-Trujillo, Z. H. M. K., Almeraya-Quintero, S. X., Guajardo-Hernández, L. G. y Torres-Pérez, J. A. (2021). Evaluación de la capacidad de carga en los senderos de turismo de luciérnagas, Nanacamilpa, Tlaxcala. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 18(1), 127-143.
- Gilbert-Norton, L., Wilson, R. R., Stevens, J. R. y Beard, K. H. (2010). A meta-analytic review of corridor effectiveness. *Conservation biology*, 24(3), 660-668. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01450.x>

- Hsieh, T. C., Ma K. H. y Chao, A. (2016). iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, 7(12), 1451-1456. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613>
- Illescas-Aparicio, M., Clark-Tapia, R., González-Hernández, A., Vásquez-Díaz, Pedro R. y Aguirre-Hidalgo, V. (2016). Diversidad y riqueza herpetofaunística asociada al bosque de manejo forestal y áreas de cultivo, en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Acta Zoológica Mexicana*, 32(3), 359-369.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2018). *Uso de suelo y vegetación*. Geografía y Medio Ambiente. <https://www.inegi.org.mx/temas/usosuelo/>
- IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). (5 de mayo de 2019). Media release: nature's dangerous decline 'unprecedented'; species extinction rates 'accelerating'. *Ipbes*. <https://www.ipbes.net/news/Media-Release-Global-Assessment>
- IUCN. (2023). *IUCN Red List of Threatened Species*. <https://www.iucnredlist.org/>
- Krosby, M., Tewksbury, J. J., Haddad, N. M. y Hoekstra, J. M. (2010). Ecological connectivity for a changing climate. *Conservation Biology*, 24(6), 1686-1689. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01585.x>
- López-Téllez, M. C., Campos-Cabral, V. y Ramírez-Carmona, G. (2019). Parque Nacional La Malinche y el impacto ecológico social de su decreto como Área Natural Protegida. *Regiones y Desarrollo Sustentable*, 19(36), 10-30. <http://www.coltlax.edu.mx/openj/index.php/ReyDS/article/download/74/pdf>
- Miranda, E. B. P., Peres, C. A., Carvalho-Rocha, V., Miguel, B. V., Lormand, N., Huizinga, N., Munn, C. A., Semedo, T. B. F., Ferreira, T., De Pinho, J. B., Piacentini, V. Q., Marini, M. A. y Downs, C. T. (2021). Tropical deforestation induces thresholds of reproductive viability and habitat suitability in Earth's largest eagles. *Scientific Reports*, 11, artículo 13048. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92372-z>
- Naturalista. (2023). *iNaturalist Mexico*. <https://mexico.inaturalist.org/>
- Navarro-Noya, Y. E., Montoya-Ciriaco, N., Muñoz-Arenas, L. C., Hereira-Pacheco, S., Estrada-Torres, A. y Dendooven, L. (2021). Conversion of a high-altitude temperate forest for agriculture reduced alpha and beta diversity of the soil fungal communities as revealed by a metabarcoding analysis. *Frontiers in Microbiology*, 12, artículo 667566. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.667566>
- Pérez-Carreto, Z. J. (2020). Identificación de áreas con mayor riqueza potencial de especies en la zona intermedia y en los Parques Nacionales La Malinche e Iztaccíhuatl-Popocatepetl. [Tesis de Licenciatura en Biología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio Institucional BUAP. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/11493>
- Prevedello, J. A., Winck, G. R., De Moraes-Weber, M., Nichols, E. y Sinervo, B. (2019). Impacts of forestation and deforestation on local temperature across the globe. *PLOS ONE*, 14(3), artículo e0213368. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213368>
- Primack, R. B. (2010). *Essentials of conservation biology* (4ª edición). Sinauer Associates.
- R Core Team. (2018). R: a language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Viena, Austria. Disponible en línea en <https://www.r-project.org/>
- Ramírez-Albores, J. E. (2013). Riqueza y diversidad de aves de un área de la faja volcánica transmexicana, Tlaxcala, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 29(3), 486-512. <https://doi.org/10.21829/azm.2013.2931593>
- Ramírez-Albores, J. E., León-Paniagua, L. y Navarro-Sigüenza, A. G. (2014). Mamíferos silvestres del Parque Ecoturístico Piedra Canteada y alrededores, Tlaxcala, México; con notas sobre algunos registros notables para el área. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(1), 48-61. <https://doi.org/10.7550/rmb.30485>
- Reyes-Sánchez, M. D. (2020). *Análisis de relación entre ejidos y áreas naturales protegidas en México: estudio de caso del municipio de Nanacamilpa de Mariano Arista Tlaxcala* [Área de Síntesis y Evaluación de la Licenciatura en Ciencias Ambientales y Desarrollo Sustentable, Universidad Iberoamericana Puebla]. Repositorio Institucional Ibero. <https://hdl.handle.net/20.500.11777/4777>
- Rosas-López, P. E. (2017). *Propuesta de mejora en el servicio caso: ecohotel Piedra Canteada, Nanacamilpa, Tlaxcala*. [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional].
- Sánchez-López, A. C. (2022). *Diseño paisajístico del proyecto conjunto el barrilete: parque productivo y recreativo el barrilete, microcorredor biológico Tirrá y centro de visitación Río Azul, Tlaxcala*. [Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica].
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2022). *Informe del Medio Ambiente*. <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap2.html>
- Thompson, M. E. y Donnelly, M. A. (2018). Effects of secondary forest succession on amphibians and reptiles: a review and meta-analysis. *Copeia*, 106(1), 10-19. <https://doi.org/10.1643/ch-17-654>
- Velasco-Santos, P. (2020). El ciclo hidropolitico en Tlhuapan, Puebla: reflexiones en el Capitaloceno. *Collectivus: Revista de Ciencias Sociales*, 7(2), 53-85. <https://doi.org/10.15648/collectivus.vol7num2.2020.2673>
- Walpole, M. J. y Leader-Williams, N. (2002). Tourism and flagship species in conservation. *Biodiversity and Conservation*, 11(3), 543-547. <https://doi.org/10.1023/a:1014864708777>
- Warnes, G.R., Bolker, B., Lumley, T. y Johnson, R.C. (2018). Package 'gmodels'. Various R programming tools for model fitting
- WWF (World Wildlife Fund). (2022). *Living Planet Report - 2022: Building a nature-positive society*. WWF.
- Zamora-Martínez, M. C., Montoya, A., Kong, A., Nieto de Pascual, C., González-Hernández, A. y Martínez-Valdés, J. I. (2007). *Hongos silvestres comestibles de Tlaxcala II* (p. 79). CENID-COMEF, INIFAP, UAT.
- Zemanova, M. A., Perotto-Baldivieso, H. L., Dickins, E. L., Gill, A. B., Leonard, J. P. y Wester, D. B. (2017). Impact of deforestation on habitat connectivity thresholds for large carnivores in tropical forests. *Ecological Processes*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s13717-017-0089-1W>