

<https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v71i1.52471>

## Impacto de la extracción de materiales aluviales en la diversidad de reptiles del Río Tehuantepec, Oaxaca, México

Héctor Santiago-Romero<sup>1</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-9430-1001>

Aressia E. García-Mello<sup>2</sup>

José L. Arcos-García<sup>1</sup>;  <https://orcid.org/0000-0002-6058-0487>

Noé Ruiz-García<sup>1\*</sup>;  <https://orcid.org/0000-0001-7319-9311>

1. Instituto de Ecología, Universidad del Mar, Puerto Escondido, Oaxaca, Oaxaca, México; [romero@zicatela.umar.mx](mailto:romero@zicatela.umar.mx), [jarcos@zicatela.umar.mx](mailto:jarcos@zicatela.umar.mx), [nruizg@zicatela.umar.mx](mailto:nruizg@zicatela.umar.mx) (\*Correspondencia)
2. Maestría en Ciencias en Manejo de Fauna Silvestre, Universidad del Mar, Puerto Escondido, Oaxaca, México; [aressia@gmail.com](mailto:aressia@gmail.com)

Recibido 14-IX-2022. Corregido 14-IV-2023. Aceptado 29-VI-2023.

### ABSTRACT

#### Impact of alluvial material extraction on the reptile diversity of the Tehuantepec River, Oaxaca, Mexico

**Introduction:** The use of alluvial materials (sand, gravel, and boulders from riverbeds) has a direct impact on the associated wildlife. The most affected are those species of smaller size, poor vagility and small home range, such as some reptiles. This group was selected as an indicator of the impact of gravel pit installation due to its sensitivity to habitat disturbance.

**Objective:** To determine the effects of alluvial material extraction on the diversity and structure of the reptile communities in river areas where gravel pits are installed.

**Methods:** The study was carried out in the floodplains of the Tehuantepec River, Oaxaca, Mexico. Six transects of 300 m with a search width of 25 m were established, three at alluvial material extraction areas and three at non-extraction areas. In these two contrasting conditions, an inventory of reptiles was made. Also, relevant variables of the habitat of reptiles were evaluated. The alpha and beta diversity were compared between both conditions.

**Results:** We registered 27 reptile species. In the alluvial material extraction areas, we observe a lower richness and abundance (14 species and 390 individuals) compared to the non-extraction areas (26 species and 1 205 individuals). The negative effect was greater in snakes, causing a 75 % difference in richness, while in lizards it was 32 %. The abundance of reptiles was correlated with bodies of water, sun exposure and herbaceous vegetation.

**Conclusions:** The establishment of gravel pits and removal of alluvial materials has a strong impact on the diversity and structure of reptile communities. The negative effect is greater on snakes, which disappeared from the area from the gravel pits were established.

**Key words:** lizards; snakes; alpha diversity; beta diversity; gravel pit.

### RESUMEN

**Introducción:** El aprovechamiento de materiales aluviales: arena, grava y cantos rodados de los lechos de ríos impacta directamente a la fauna silvestre asociada a ellos. Los más afectados son aquellos grupos de menor talla, ámbito hogareño pequeño y poca vagilidad, como los reptiles. Se seleccionó a este grupo como indicador del efecto de la instalación de graveras por su sensibilidad a la alteración de su hábitat.



**Objetivo:** Determinar el impacto de la extracción de materiales aluviales en la diversidad y estructura de las comunidades de reptiles.

**Métodos:** el estudio se realizó en las llanuras de inundación del río Tehuantepec, Oaxaca, México. Se establecieron seis parcelas de 300 x 25 m, tres en área de extracción de materiales aluviales y otras tres en áreas sin extracción. En estas dos condiciones contrastantes se realizó el inventario de reptiles. También se registraron variables relevantes del hábitat para reptiles. Se comparó la diversidad alfa y beta entre ambas condiciones.

**Resultados:** Se registraron 27 especies. En el área con extracción se observó una menor riqueza y abundancia (14 especies y 390 individuos) que en el área sin extracción (26 especies y 1 205 individuos). El efecto negativo fue mayor en las serpientes, ocasionando una diferencia de 75 % en la riqueza, mientras que en los saurios fue del 32 %. La abundancia de reptiles estuvo correlacionada con los cuerpos de agua, la exposición al sol y la vegetación herbácea.

**Conclusiones:** El establecimiento de las graveras tuvo un impacto negativo en la diversidad y abundancia de reptiles. El efecto negativo fue mayor en las serpientes, las cuales, desaparecieron del área de aprovechamiento de materiales aluviales.

**Palabras clave:** lagartijas; serpientes; diversidad alfa; diversidad beta; graveras.

## INTRODUCCIÓN

La extracción de materiales aluviales: arena, grava y cantos rodados en el lecho superior de ríos afecta a las especies de fauna silvestre que ahí habitan, por la eliminación abrupta de vegetación y la cobertura del suelo (Valdeerrama, 1992). Al eliminar la vegetación y el suelo, se fragmenta y se modifica la estructura vegetal, situación que obliga a la fauna silvestre a moverse hacia otras áreas y los expone a cambios microambientales abruptos: microclima y propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Peña-Becerril et al., 2005; Zabala-Forero & Urbina-Cardona, 2021).

El filtro ambiental al cual las especies de fauna pueden ser más vulnerables es el microclima: temperatura, luz, velocidad del viento y humedad (Scheffers et al., 2014). Las especies que no toleran las condiciones microclimáticas nuevas creadas por el uso antropogénico son extirpadas del ensamblaje (Díaz et al., 2006). En climas cálidos, los cambios microambientales repercuten más en aquellos grupos de menor talla, con movilidad reducida y de desplazamiento lento, tal como los reptiles. La causa principal de la declinación de las poblaciones de reptiles es por cambios ambientales originados por la pérdida y degradación de hábitats naturales (Böhm et al., 2013); así como la captura, sacrificio intencional, recolección

de huevos, introducción de especies exóticas, contaminación y mortalidad accidental por tránsito vehicular (Gardner et al., 2007). De 1970 a 2012, por perturbación de hábitats, se ha estimado una disminución de hasta 55 % en poblaciones de reptiles, con una pérdida de hasta el 80 % para escuamatos (Saha et al., 2013). Es decir, los efectos de la fragmentación y pérdida del hábitat actúan de manera particular sobre cada especie (Pineda & Halfter, 2004). La respuesta depende de los atributos del taxón, como movilidad, ámbito hogareño, fisiología, microhábitat, alimentación y condiciones climáticas (Burke & Gibbons, 1995). Las respuestas identificadas ante la perturbación del hábitat pueden ser: positiva, negativa o neutra (Suazo-Ortuño et al., 2008). Se ha documentado que las serpientes de mayor tamaño son más vulnerables a la fragmentación (Luiselli & Capizzi, 1997). La respuesta negativa también se ha observado en lagartijas que emplean como microhábitat a la hojarasca (Suazo-Ortuño et al., 2008).

La cuenca baja del río Tehuantepec ubicado en el municipio de Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, México, es un reservorio importante de recursos bióticos, porque conserva a lo largo de su cauce, márgenes y llanuras de inundación, diversos ecosistemas y fragmentos importantes de vegetación ribereña y de selva baja caducifolia (Gómez-Martínez, 2005), los

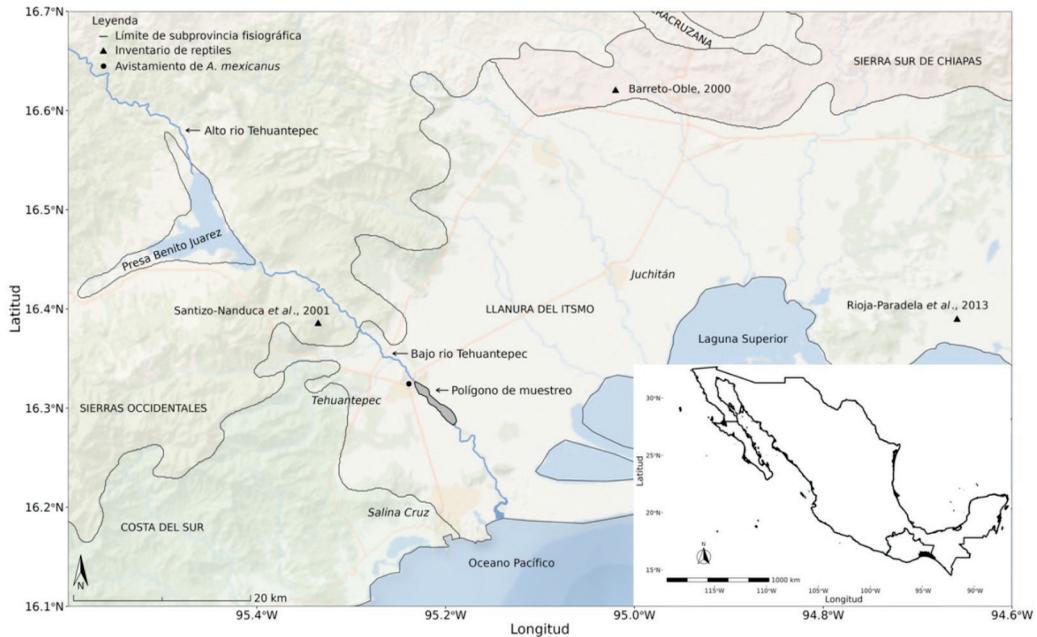
cuales sirven de corredores biológicos y proporciona hábitats para una gran diversidad de fauna silvestre, con un elevado nivel de endemismo (García, 2010; Meave et al., 2012). En el caso de los reptiles, en la cuenca baja del río Tehuantepec se ha registrado una gran riqueza y endemismo (Mata-Silva et al., 2021). No obstante, en los últimos años se han revalorizado económicamente los bancos de material aluvial en detrimento de los recursos biológicos, como resultado de la implementación de diversos programas de desarrollo para la región del Istmo de Tehuantepec, en donde se promueve la creación de infraestructura como supercarreteras, vía férrea transístmica, corredores comerciales, parques industriales y eólicos, modernización de los complejos industriales relacionados con el puerto petrolero de Salina Cruz (Torres-Fragoso, 2017). Debido a lo anterior, se incrementó la demanda de arena, grava y cantos rodados, como material primordial para la construcción. El aprovechamiento de los materiales aluviales podría ser una alternativa para el desarrollo de las comunidades de la cuenca baja del río Tehuantepec, comunidades en la que algunas familias registran un alto grado de marginación y pobreza (Cruz-González & Hernández-García, 2014), sin embargo, es necesario contar con un plan sustentable de gestión del territorio en donde se contemple el manejo del hábitat de fauna silvestre, con la finalidad de evitar pérdidas irreversibles de ciertas especies. Actualmente México no cuenta con una legislación específica que norme la extracción de materiales aluviales en márgenes de ríos, por lo que los emprendimientos de extracción de material aluvial no contemplan la implementación de planes de manejo del hábitat, rehabilitación de graveras, o acciones de mitigación y compensación (Torres-Mura et al., 2014). Con el propósito de contar con bases objetivas para realizar propuestas de protección del hábitat en áreas de aprovechamiento de materiales aluviales, es necesario generar información sobre la riqueza y abundancia de las especies que ahí habitan, que son indicadores del impacto de las actividades humanas (Moreno et al., 2011). Para cuantificar el efecto de la

extracción de materiales aluviales en la diversidad y estructura de las comunidades de reptiles, se comparó la diversidad alfa y beta, en sitios con y sin extracción de materiales aluviales.

## MATERIALES Y METODOS

**Área de estudio:** El trabajo se realizó en una zona de aprovechamiento de materiales aluviales del río Tehuantepec, bajo la jurisdicción de la comunidad de Santa Cruz Tagolaba, Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, México (Fig. 1). Se localiza entre las coordenadas  $16^{\circ}19'37''$ - $16^{\circ}17'10''$  N &  $95^{\circ}13'54''$ - $95^{\circ}11'13''$  W. Forma parte de la subprovincia fisiográfica Llanura del Istmo (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2014). El área de estudio corresponde al lecho superior del río Tehuantepec, donde se depositan grandes cantidades de materiales aluviales cuando el lecho inferior se desborda e inunda el lecho superior formando una llanura de inundación, que tiene una superficie de  $4.95 \text{ km}^2$  ( $495 \text{ ha}$ ). El tipo de vegetación presente corresponde a matorral espinoso en grado de sucesión terciaria, selva mediana subcaducifolia y selva baja caducifolia en grado de sucesión secundaria (Torres-Colín, 2004). El clima que predomina en la zona es Awig según la clasificación de Köppen modificado por García (2004): cálido subhúmedo con lluvias en verano; el mes más caliente se presenta en mayo ( $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), el más frío es enero ( $26.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), con oscilación térmica anual de tipo isotermal (inferior a  $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). La precipitación promedio anual es de  $884.7 \text{ mm}^3$ , la estación lluviosa generalmente se presenta en mayo y termina en octubre; mientras que la estación seca va de noviembre hasta abril (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2010).

**Trabajo de campo:** Se realizaron cuatro muestreos, dos en la época seca (abril y junio), y otros dos en la época lluviosa (agosto y octubre) de 2014 (Comisión Nacional del Agua, 2014). El muestreo se realizó con una combinación de dos técnicas complementarias, parcelas de búsqueda activa y trampas de



**Fig. 1.** Área de estudio, subprovincias fisiográficas y otros estudios sobre diversidad de reptiles y ocurrencia de *A. mexicanus*. / **Fig. 1.** Study area, Physiographic subprovinces and other studies on reptile diversity and occurrence of *A. mexicanus*.

caída. Las parcelas de búsqueda activa tuvieron una longitud de 300 x 25 m (0.75 ha). Tres parcelas se ubicaron en hábitats sin actividades de extracción (sin marcas de perturbación reciente) y tres en hábitats con extracción de materiales aluviales, cada parcela se muestreó una sola vez de 8:00 a 12:00 h, en cada fecha de muestreo. La búsqueda de los individuos se realizó con el método de encuentro visual con captura manual y búsqueda activa removiendo la hojarasca, debajo de piedras grandes, encima, dentro y debajo de troncos caídos, sobre las ramas y troncos de árboles (Urbina-Cardona et al., 2015). Los individuos encontrados se capturaron con gancho herpetológico y red de golpeo. En cada parcela se colocó en línea seis trampas de caída con una separación de 50 m entre ellas y se disimularon con ramas y hojas. Estas trampas consistieron en un cilindro de plástico de 20 cm de profundidad por 10 cm de diámetro, se fabricaron con envases de refrescos. Se colocaron durante el día previo al muestreo de cada parcela, se destaparon en la tarde y

se revisaron al finalizar el muestreo de la parcela correspondiente. Los individuos capturados se fotografiaron y se identificaron hasta el nivel de especie, se empleó la recopilación de claves de anfibios y reptiles de México (Flores-Villela et al., 1995) y la guía de reptiles de Centro América (Köhler, 2008). Cuando no fue posible identificarlo en campo, se trasladaron en bolsas de tela al campamento para su identificación y se liberaron al día siguiente en la parcela donde fueron capturados. La actualización de los cambios taxonómicos se realizó en gabinete siguiendo el trabajo de Mata-Silva et al. (2021), excepto el cambio de *Mabuya brachypoda* a *Marisora syntoma* sp. nov. (McCranie et al., 2020), y *Coleonyx elegans* a *Coleonyx nemoralis* (Butler et al., 2023). Para cada individuo se registró el microhábitat en donde fue avistado antes de que se desplazara (hojarasca, tronco caído, tronco erguido, vegetación ribereña, arbórea o saxícola), el sustrato predominante (arcilla, limo, arena, grava, canto rodado), la presencia de señales de quema, el porcentaje de

superficie expuesta al sol, distancia a cuerpos de agua, la estructura de la vegetación (arbórea, arbustiva, herbácea), el pH y la humedad del suelo en porcentaje.

### **Complejidad del inventario y diversidad**

**alfa:** Para evaluar la completitud del muestreo y estimar la riqueza de especies en cada hábitat se utilizaron curvas de acumulación de especies (CAE) y el estimador Chao. La diversidad en cada hábitat se midió utilizando el índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y el número efectivo de especies de orden uno ( $1^D$ ) (García-Morales et al., 2011). Las posibles diferencias en la magnitud de los índices se establecieron por superposición de intervalos del 95 % estimado con 500 remuestreos Bootstrap (Chao et al., 2015). Las especies que determinaron los patrones de abundancia se identificaron con un análisis ordenamiento por escalamiento multidimensional no métrico (EMNM). Las especies retenidas fueron aquellas con una correlación significativa ( $P < 0.05$ ). Todos los análisis se realizaron con el software R (R Core Team, 2014) y empleando la librería SpadeR (Chao et al., 2015).

**Diversidad beta:** La estructura de la comunidad de reptiles entre los sitios con y sin actividades de extracción de materiales aluviales se comparó con la disimilitud beta ( $\beta_{cc}$ ), en sus componentes de reemplazo ( $\beta_{-3}$ ) y la diferencia en riqueza ( $\beta_{rich}$ ), en su versión aditiva  $\beta_{cc} = \beta_{-3} + \beta_{rich}$  (Carvalho et al., 2013). La interpretación de las tasas de recambio fue complementada con la prueba de asociación no paramétrica de Olmstead-Tukey que integra la abundancia y la prevalencia de cada especie en un hábitat particular: común (abundante y frecuente), ocasional (poco abundante y frecuente), frecuente (abundante y poco frecuente) y rara (poco abundante y poco frecuente). Este índice es un indicador razonable del nivel de sinantropismo para una especie (Desales-Lara et al., 2013).

Los factores del hábitat correlacionados con las abundancias se identificaron con un análisis de correspondencias canónicas (ACC)

entre la matriz de abundancias de los reptiles como variable de respuesta y la matriz las variables del hábitat como variables explicativas. Se incluyeron factores ambientales no correlacionados entre sí ( $VIF < 10$ ), y se realizó la prueba de significancia de permutaciones (ANOVA) para determinar los factores del hábitat correlacionados con la abundancia y composición de reptiles. Los análisis se realizaron con la librería vegan (Oksanen et al., 2015).

### **Especies en alguna categoría de riesgo:**

Las especies avistadas en alguna categoría de riesgo se identificó revisando la NOM-059-ECOL-2001 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2010) y la lista roja de especies amenazadas (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, 2015).

## RESULTADOS

### **Complejidad del inventario y diversidad**

**alfa:** Con un esfuerzo de muestro de 576 h, se registraron 27 especies pertenecientes a diez familias y una abundancia de 1595 individuos (Tabla 1). Se registró el 87 % de las 31 especies predichas por la curva de acumulación de especies (Tabla 2). Asimismo, se observaron 20 especies (estación seca: cuatro serpientes y 16 lagartijas; estación lluviosa: cinco serpientes y 15 lagartijas), aunque la abundancia de éstas fue mayor en la estación seca (1054 individuos) que en estación lluviosa (541 individuos). En los sitios sin actividades de extracción se observó el 84 % de las especies estimadas con la curva de acumulación de especies (CAE), y en los sitios con extracción se registró el 82 % (Tabla 2). En los sitios sin extracción se encontró una mayor riqueza (26 especies) y abundancia (1205 individuos) que en los sitios con extracción (14 especies y 390 individuos). La especie más abundante en ambos tipos de sitios fue *A. deppii*.

Se estimó una mayor diversidad en los sitios sin extracción de materiales aluviales con respecto a los sitios con extracción ( $P < 5.623631e-05$ ), que representó una reducción del 26.73 % (Tabla 3). En los sitios sin

**Tabla 1**

Especies observadas en una zona de aprovechamiento de materiales aluviales en la cuenca baja del Río Tehuantepec, Oaxaca, México. **Table 1.** Observed species in a zone of gravel pit installation in the lower basin of the Tehuantepec River, Oaxaca, Mexico.

Familia	Nombre científico	Extracción en el sitio		Temporada del año	
		Sí	No	Lluviosa	Seca
Boidae	<i>Boa imperator</i>	0	1	1	0
Colubridae	<i>Drymobius margaritiferus</i>	0	1	1	0
	<i>Leptophis diplotropis</i>	1	1	2	0
	<i>Masticophis mentovarius</i>	0	2	0	2
	<i>Oxybelis fulgidus</i>	0	1	0	1
	<i>Oxybelis micropthalmus</i>	0	1	1	0
	<i>Salvadora lemniscata</i>	1	1	1	1
	<i>Trimorphodon biscutatus</i>	0	1	0	1
Corytophanidae	<i>Basiliscus vittatus</i>	76	69	57	88
Dactyloidae	<i>Norops boulengerianus</i>	0	2	0	2
	<i>Norops lemurinus</i>	3	2	0	5
	<i>Norops sericeus</i>	0	7	0	7
Eublepharidae	<i>Coleonyx nemoralis</i>	0	1	0	1
Gekkonidae	<i>Hemidactylus frenatus</i>	4	26	24	6
Iguanidae	<i>Ctenosaura oaxacana</i>	0	1	1	0
	<i>Ctenosaura pectinata</i>	3	2	3	2
	<i>Iguana iguana</i>	3	1	3	1
Phrynosomatidae	<i>Sceloporus edwardtaylori</i>	0	37	23	14
	<i>Sceloporus siniferus</i>	0	121	25	96
	<i>Sceloporus variabilis</i>	1	14	5	10
	<i>Urosaurus bicarinatus</i>	4	68	47	25
Scincidae	<i>Marisora sintoma</i>	0	3	3	0
Teiidae	<i>Aspidoscelis deppii</i>	255	763	302	716
	<i>Aspidoscelis guttata</i>	1	5	5	1
	<i>Aspidoscelis mexicanus</i>	1	0	1	0
	<i>Aspidoscelis motaguae</i>	10	27	9	28
	<i>Holocopus undulatus</i>	27	47	27	47
Especies		14	26	20	20
Abundancia		1 205	390	541	1 054

**Tabla 2**

Abundancia, riqueza observada y estimada en la comunidad de reptiles en una zona de aprovechamiento de materiales aluviales en la cuenca baja del Río Tehuantepec, Oaxaca, México. / **Table 2.** / Abundance, Observed and estimated richness of the reptile community in a zone of gravel pit installation in the lower basin of the Tehuantepec River, Oaxaca, Mexico.

	N	S	Asintota (a,b)	Cobertura	Chao 1
Comunidad	1 595	27	31 (1.085, 0.035)	87.1	32.6 ± 5.34
Temporada del año					
Lluviosa	541	20	23 (1.752, 0.077)	86.9	27.5 ± 8.12
Seca	1 054	20	23 (1.581, 0.068)	86.9	23.7 ± 4.19
Condición del sitio					
Con extracción	390	14	17 (0.865, 0.051)	82.3	24.0 ± 10.23
Sin extracción	1 205	26	31 (1.682, 0.055)	83.9	35.0 ± 7.60

N= número de individuos; S= riqueza observada, Asintota: número esperado de especies estimado como a/b. / N= Number of individuals, S= Observed richness, Asymptote: expected number of species estimated as a/b.

**Tabla 3**

Diversidad de las comunidades de reptiles en una zona de aprovechamiento de materiales aluviales en la cuenca baja del Río Tehuantepec, Oaxaca, México. / **Table 3.** / Diversity of the reptile community in a gravel pit installation in the lower basin of the Tehuantepec River, Oaxaca, Mexico.

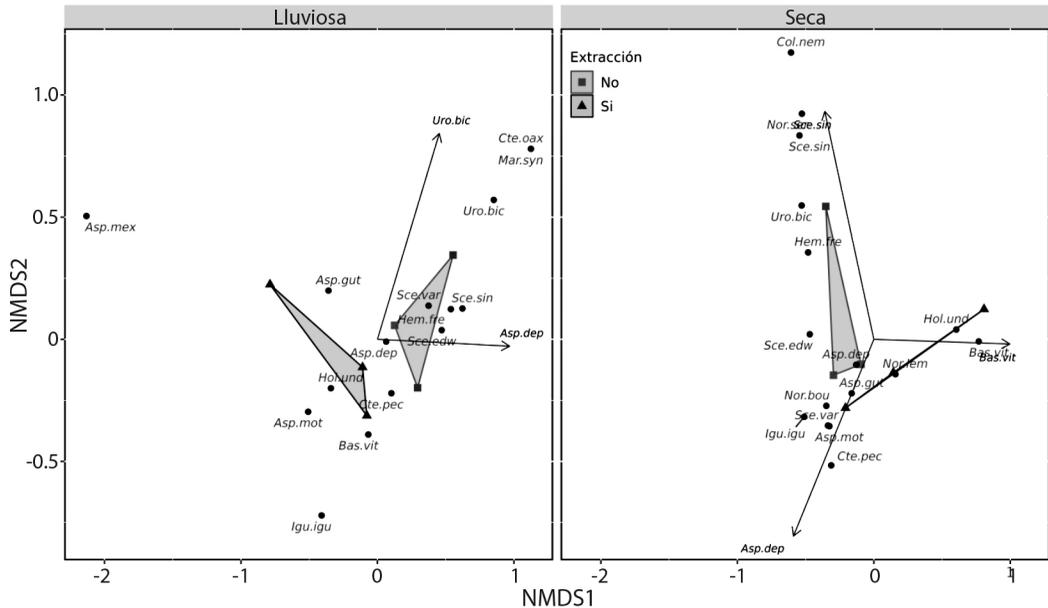
	Shannon	Equidad	<sup>0</sup> D	<sup>1</sup> D
Comunidad	1.454 ± 0.042	0.441	35.2 ± 6.2	4.28 ± 0.18
Temporada del año*				
Lluviosa	1.671 ± 0.060a	0.558	27.2 ± 6.3a	5.31 ± 0.31a
Seca	1.277 ± 0.043b	0.426	28.2 ± 7.1a	3.59 ± 0.16b
Condición del sitio*				
Con extracción	1.158 ± 0.062b	0.438	20.4 ± 6.00a	3.18 ± 0.18b
Sin extracción	1.468 ± 0.042a	0.450	44.2 ± 12.8a	4.34 ± 0.17a

<sup>0</sup>D= Riqueza de especies, <sup>1</sup>D= exponencial del índice de entropía de Shannon. \*Los índices seguidos de la misma literal indican superposición en sus intervalos de confianza, por lo que se consideran iguales. / <sup>0</sup>D= Species richness, <sup>1</sup>D= Exponential of Shannon's Entropy Index. \*Indices followed by the same literal indicate overlapping in their confidence intervals, so they are considered equal.

actividades de extracción y en estación lluviosa se observó la misma diversidad que en toda la comunidad. Los patrones de abundancia fueron diferentes en cada tipo de hábitat (Fig. 2). En la temporada seca estuvo determinado por *S. siniferus* en los sitios sin extracción, mientras que en los sitios con extracción estuvo determinado por *A. deppii* y *B. vittatus*. En contraste, las abundancias en la temporada de lluvia en el área sin extracción estuvieron determinado por *A. deppii* y *U. bicarinatus* (Fig. 2).

**Diversidad beta:** El impacto de la extracción de materiales aluviales tuvo un efecto significativo en la diversidad de la comunidad

de reptiles, ocasionando una disimilitud del 48.1 % con respecto a los sitios donde no se realiza la extracción, de la cuales el 40.7 % corresponde a diferencia en riqueza y apenas el 7.4 % al recambio. El efecto fue mayor en las serpientes que en las lagartijas, pues la disimilitud fue prácticamente el doble en las primeras y se debió a diferencias en riqueza (Tabla 4). El efecto negativo de la extracción de materiales aluviales fue mayor en la estación seca que en la estación lluviosa, pues en la primera la disimilitud corresponde a diferencias en la riqueza, mientras que, en la segunda, aproximadamente la mitad de la disimilitud corresponde a diferencias en la riqueza y la otra mitad al



**Fig. 2.** Escalamiento multidimensional no métrico (EMNM) de las abundancias de especies de reptiles avistados en un área con y sin extracción de materiales aluviales, en la estación lluviosa y seca en la cuenca baja del Río Tehuantepec, Oaxaca, México. / **Fig. 2.** Non-Metric Multidimensional Scaling (nMDS) of the abundance of reptile species observed in an area with and without gravel pit, in the rainy and dry seasons in the lower basin of the Tehuantepec River, Oaxaca, Mexico.

**Tabla 4**

efecto de la extracción de materiales aluviales en la diversidad de reptiles por temporada lluviosa y seca, en la cuenca baja del Río Tehuantepec, Oaxaca, México. / **Table 4.** / Impact of the gravel pit installation on the diversity of the reptile community by rainy and dry season, in the lower basin of the Tehuantepec River, Oaxaca, Mexico.

	$\beta_{cc}$	$\beta_{-3}$	$\beta_{rich}$
Comunidad	0.481	0.074	0.407
Lluviosa	0.500	0.300	0.200
Seca	0.550	0.000	0.550
Sauria	0.421	0.105	0.316
Lluviosa	0.467	0.267	0.200
Seca	0.437	0.000	0.437
Serpentes	0.75	0.00	0.75
Lluviosa	0.8	0.4	0.4
Seca	1.0	0.0	1.0

recambio de especies (Tabla 4). Las más afectadas fueron las especies del género *Sceloporus* y *N. sericeus* que son comunes y desaparecieron en las áreas con actividades de extracción (Fig. 3). Lo mismo ocurre con las especies

listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, con excepción de *C. pectinata* y *L. diplotropis*, que son especies que pueden vivir en ambientes antropizados. Los saurios *A. deppii*, *H. undulatus* y *B. vittatus* pueden considerarse especies sinantrópicas.

**Factores del hábitat relevantes para los reptiles:** En la zona sin extracción de materiales aluviales se identificaron dos factores ambientales significativos: distancia a los cuerpos de agua (Distag) y el sustrato de tipo arenoso-gravoso (Sargr), sin embargo, ambas variables estuvieron correlacionadas entre sí. La distancia a los cuerpos de agua explicó el 95.34 % la estructura y abundancia de reptiles ( $P = 0.006944$ ). El primer ACC incluyó los factores ambientales relacionado con el agua (distancia a cuerpos de agua: Distag,  $r^2 = 0.989$ ,  $P = 0.002778$ ), el tipo de cobertura vegetal (vegetación arbórea: Var,  $r^2 = 0.843$ ,  $P = 0.03888$ ) y microhábitats terrestres (microhábitats en troncos caídos: Mtca y microhábitats en troncos

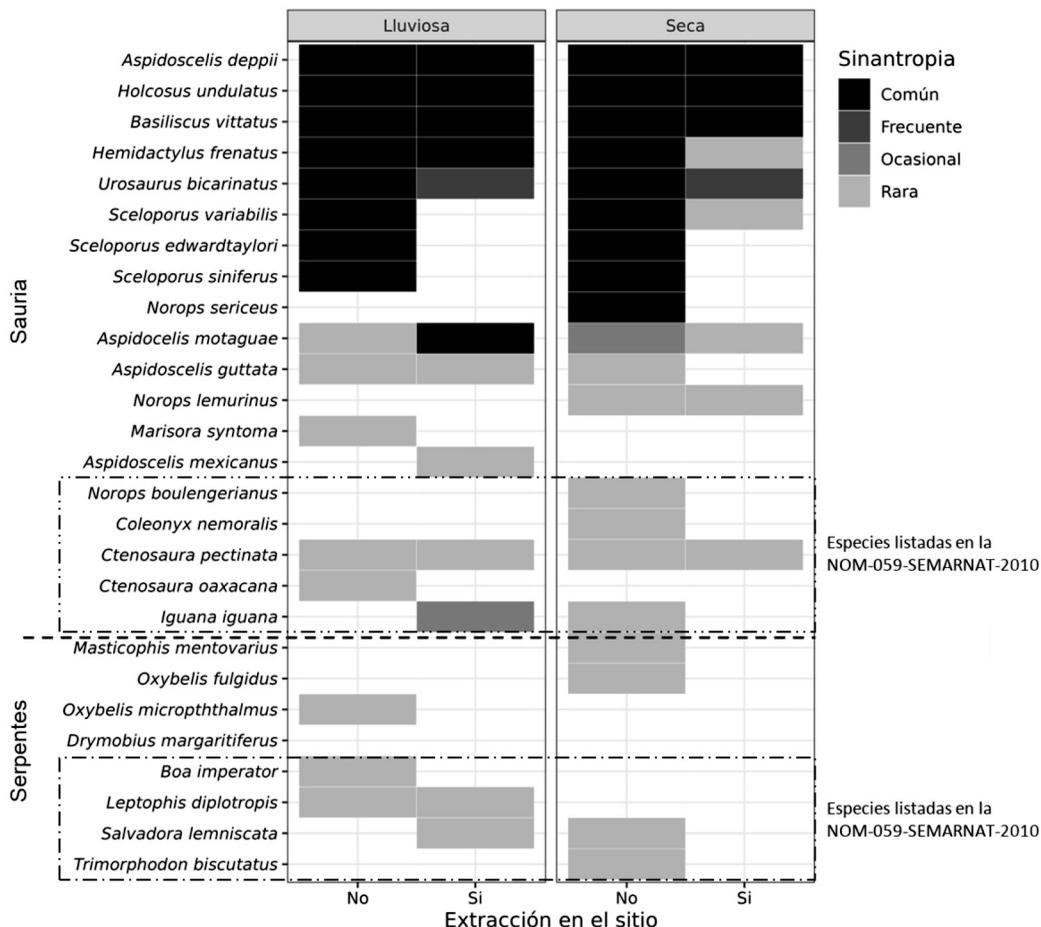


Fig. 3. Patrones de presencia de las especies de reptiles avistados en un área de extracción de materiales aluviales en la cuenca baja del Río Tehuantepec, Oaxaca, México. / Fig. 3. Reptile species presence patterns of observed in a gravel pit installation in the lower basin of the Tehuantepec River, Oaxaca, México.

erguidos: Mter) (Fig. 4). El segundo ACC incluyó las variables ambientales: sustrato arcillo-gravoso, vegetación arbórea, micro hábitat troncos erguido (Sargr, Var, Mtca y Mter) (Fig. 4). Este análisis explicó el 95.27 % la abundancia y composición de reptiles ( $P = 0.008333$ ). Aunque solo las variables sustrato arcillo-gravoso ( $r^2 = 0.882$ ,  $P = 0.008333$ ) y vegetación arbórea ( $r^2 = 0.836$ ,  $P = 0.05$ ) mostraron correlaciones significativas. En los sitios con extracción de materiales aluviales, el análisis que mejor explicó la abundancia y composición de reptiles incluyó las variables: exposición al sol (Sol,  $r^2 = 0.951$ ,  $P = 0.008333$ ), vegetación

herbácea (Vhe,  $r^2 = 0.940$ ,  $P = 0.034722$ ) y altura de los árboles (Alar), que explicaron el 72.32 % ( $P = 0.0375$ ) de la abundancia y estructura de reptiles (Fig. 4).

**Especies con alguna categoría de riesgo:** Se avistaron nueve especies listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010, en la categoría de amenazadas: *B. imperator*, *L. diplotropis*, *C. pectinata*, *C. nemoralis*, *C. oaxacana* y con protección especial a *S. lemniscata*, *T. biscutatus*, *A. boulengerianus* e *I. iguana*. La lista roja de la IUCN incluye a *C. oaxacana* en peligro crítico y en peligro a *B. imperator*,



*T. biscutatus*, *C. nemoralis*, *C. pectinata* e *I. iguana*.

## DISCUSION

Se registraron 27 especies, lo que representó una completitud del inventario del 87 %. En el 55 % de las especies registradas se avistaron uno o dos individuos. Es posible que puedan avistarse más especies empleando métodos diseñados para especies raras (Boback et al., 2020) y para especies que debido a sus hábitos son difíciles de observar, como las especies fosoriales o las arborícolas (Henderson et al., 2016). Sin embargo, considerando la historia natural de las especies registradas y potenciales en una zona altamente perturbada, el número de especies registradas en este estudio fue representativo de la comunidad de reptiles que viven en áreas de aprovechamiento de materiales aluviales de la cuenca baja del río Tehuantepec (Fig. 1). La completitud del inventario observada en los sitios con extracción (82 %) fue similar al observado en los sitios sin extracción (84 %). Resultados similares se han observado en perturbaciones catastróficas naturales de la vegetación en un bosque tropical seco: después del huracán Jova la completitud fue del 81-90 % y después del huracán Patricia fue del 85-89 % (Marroquín-Páramo et al., 2021).

Los resultados muestran que las actividades de extracción de materiales aluviales han modificado notablemente la estructura de la comunidad de reptiles, en comparación con la riqueza registrada en otras áreas de bosque seco del Istmo de Tehuantepec con menor perturbación humana, mayor cobertura vegetal y sin actividades de extracción de materiales aluviales: diez especies menos que en una zona con cobertura vegetal (Rioja-Paradela et al., 2013), 17 especies menos que en Nizanda (Barreto-Oble, 2000) y siete especies menos que en el cerro Guiengola (Martín-Regalado et al., 2011). Lo anterior sugiere que las actividades de extracción de material aluvial disminuyen considerablemente la diversidad de especies porque se ven expuestos a microambientes hostiles (Díaz et al., 2006), también incrementa

la abundancia de especies generalistas, modificándose así la riqueza y abundancia (Suazo-Ortuño, Benítez-Malvido, et al., 2018).

El impacto de las actividades de extracción de materiales aluviales fue diferencial en lagartijas y serpientes, como se ha reportado con la perturbación de otros hábitats: bosque tropical a potrero (Urbina-Cardona & Reynoso, 2005) y bosque tropical seco a campos agrícolas (Suazo-Ortuño et al., 2008). En el grupo de las lagartijas se observó un recambio de aproximadamente la mitad de las especies. En contraste, en el grupo de las serpientes, la extracción de materiales aluviales ocasionó el remplazo de todas las especies en la temporada seca.

Las lagartijas de la familia Teiidae (*A. deppei* y *H. undulatus*) y Corytophanidae (*B. vittatus*) mostraron tolerancia a la perturbación del hábitat. La modificación de las condiciones del hábitat en ocasiones favorece y provee de hábitats exitosos para algunas especies de lagartijas de dimensiones pequeñas por el aumento de espacios para termorregular (Suazo-Ortuño et al., 2008). En cambio, las lagartijas del género *Sceloporus* fueron sensibles a las actividades de extracción de materiales aluviales. Estas especies estuvieron asociadas con microhábitat: troncos erguidos (Mter), sustratos areno-gravoso (Sargr) y cobertura vegetal de tipo arbórea-herbácea (Varbhe). Esto corresponde con los microhábitats reportados para *S. siniferus*, que son suelo, rocas y troncos (Ansell et al., 2014).

Las especies de serpientes fueron sensibles a la extracción de materiales aluviales, pues todas desaparecieron en los sitios donde se realiza esta actividad. Como ocurre con perturbaciones fuertes como los huracanes, las especies arborícolas son las más sensibles a los cambios súbitos del paisaje en los bosques secos (Suazo-Ortuño, Urbina-Cardona, et al., 2018). En bosques secos, se ha documentado que en áreas perturbadas por actividades agrícolas aledañas a la vegetación ribereña se registra mayor riqueza y abundancia de serpientes que la vegetación ribereña misma, porque en el área perturbada encuentran mayor disponibilidad de alimento (Suazo-Ortuño, Benítez-Malvido, et al., 2018). Para la serpiente terrestre *L. diploptis* que



emplea la hojarasca del suelo como microhábitats se ha documentado una respuesta neutra a la perturbación en bosques secos (Suazo-Ortuño et al., 2008). En el presente trabajo, esta serpiente se observó también en los sitios con actividades de extracción de materiales aluviales, en la vegetación herbácea que se regenera en la estación lluviosa, mientras que en la estación seca se observó en pequeñas manchas de vegetación herbácea que se presentaban cerca de cuerpos de agua.

La correlación entre la distancia a los cuerpos de agua (Distag), con algunas variables del microhábitats: sustrato de tipo areno-gravoso (Sargr), altura de la vegetación herbácea (Alhe), asociación de vegetación arbórea-herbácea (Varbhe), microhábitats de troncos caídos (Mtca), y microhábitats troncos erguidos (Mter), se debe al proceso de sedimentación de materiales sólidos en un fluido (ley de Stokes). Durante la crecida de un río, los materiales aluviales de mayor masa (cantos rodados, troncos grandes, grava y arena), se precipitan rápidamente y en cualquier lugar en el lecho superior, en cambio los materiales de menor masa (limos y arcillas) quedan en suspensión durante más tiempo y precipitan en aguas tranquilas que se acumulan en las depresiones del paisaje del lecho superior, que después forman pequeños cuerpos de agua, en donde a partir de las orillas surge abundante vegetación herbácea y algunas especies arbóreas oportunistas. Es decir, existe una correlación entre la distancia de los cuerpos de agua con la ubicación de los bancos de arena-grava, la deposición de troncos transportados por crecidas de ríos y la ubicación de manchas de vegetación herbácea. En la cuenca baja del río Tehuantepec, la instalación de una gravera por lo general es en el lecho superior del río, donde primero se podan hierbas y arbustos para poder cortar los árboles, después con retro excavadora arrancan y retiran las raíces de los árboles, y para acceder a los depósitos aluviales de interés económico (arena y grava) retiran el suelo incipiente. Por esta razón, la actividad de extracción sí ocasiona la pérdida de microhábitats para especies terrestres y arborícolas.

De las seis especies de saurios listados en la NOM-059-ECOL-2001, solo la iguana negra (*C. pectinata*) estuvo correlacionado con microhábitat de troncos caídos y altura de la cobertura arbórea (Mtca y Alarb); en los sitios con extracción esta especie fue observada principalmente en grandes troncos que no fueron retirados y en ramas de árboles aislados que los trabajadores dejaron como refugio para sombra (principalmente *Pithecellobium dulce* y *Prosopis laevigata*). En el manejo de hábitats de reptiles la presencia de árboles es importante, ya que presentan tanto espacios con insolación como espacios sombreados y frescos que los reptiles usan para controlar la temperatura corporal (Dubois et al., 2009).

Las actividades de extracción de materiales aluviales también han modificado la equidad en la abundancia de las especies. En los sitios sin actividades de extracción se observó una mayor equidad que en los sitios con extracción de materiales aluviales. En los hábitats con extracción las condiciones adversas favorecieron la presencia de la lagartija *B. vittatus*. Esta especie considerada semi-arborícola-acuática (Savage, 2002), se vio favorecida por el establecimiento de las graveras, ya que aprovechan los cuerpos de agua que se forman cuando la extracción de material aluvial alcanza una profundidad igual al del nivel del manto freático. En el presente trabajo esta lagartija también se avistó en la parcela adyacente a la corriente de agua, tanto en los árboles como en vegetación herbácea, también se han reportado en la vegetación ribereña a lo largo del río Tehuantepec (Martín-Regalado et al., 2011), y en pastizales y vegetación anual de la región (Rioja-Paradela et al., 2013)

Los cambios estacionales de temperatura y humedad por las estaciones del año, generó un recambio del 60 % de las especies. Se observaron siete especies exclusivas en la estación lluviosa y una en la estación seca. La riqueza observada en la estación lluviosa fue mayor que en la estación seca, sin embargo, la abundancia fue mayor en la estación seca. Esto podría deberse a que en algunos casos ocurre una explosión demográfica antes de iniciar las

lluvias (Duellman, 2005). Pero también podría estar relacionado con la facilidad de detección, ya que las condiciones de la explosión vegetativa producidas por la estación lluviosa dificultan la detección (Brambila-Navarrete, 2006). En este estudio, durante la estación lluviosa, el suelo se cubrió de abundante vegetación herbácea que dificultó el avistamiento de los reptiles. La mayor diversidad en la estación de lluvias también ha sido reportada en un bosque tropical seco de la cuenca baja del río Verde, Oaxaca (Martínez-Salazar, 2011) y para el cerro Guiengola (Martín-Regalado et al., 2011). En ambos estudios también se ha reportado menos especies dominantes que en la estación seca.

La presencia de *A. mexicana* en parcelas con matorral xerofito en la cuenca baja del río Tehuantepec, se explica por la función de corredor biológico que cumplen los ríos (Gómez-Martínez, 2005; Meave et al., 2012). Es decir, existe más reportes de esta especie en las subprovincias de Valles Centrales y Sierras Occidentales (Fig. 1) que en que la región del Istmo de Tehuantepec (Mata-Silva et al., 2021). Lo que se debe tomar en cuenta, es que la cuenca alta del río Tehuantepec se inicia en cotas superiores de 700 m.s.n.m., en la subprovincia Sierras Occidentales, en los municipios de San Pedro Totolapam, San Dionicio Ocotepéc y Santa María Zoquitlán, en donde también predominan vegetación tipo matorral xerofita, y se debe remarcar que estos municipios están en cabalgamiento entre las montañas de Sierras Occidentales y los Valles Centrales (Acosta et al., 2003). Por otro lado, la base de datos “enciclo vida” de la CONABIO iniciado en 1998 por Flores-Villela (2023), sí reporta la presencia de *A. mexicana* en la localidad de Santo Domingo Tehuantepec, en vegetación selva baja espinosa.

Se avistaron once especies con alguna categoría de riesgo o endémicas de la región. Aun cuando algunas especies de iguana (*C. pectinata*, *I. iguana*) o serpientes como *L. diplotropis* y *S. lemniscata* se observaron tanto en sitios con y sin actividades de extracción en la época lluviosa, las especies endémicas de la región como la lagartija *N. boulengerianus* y *T.*

*biscutatus*, la iguana *C. oaxacana*, la lagartija espinosa *S. edwardtaylori* y los reptiles de gran tamaño como *B. imperator* solo se observaron en sitios con vegetación. La disimilitud del 48 % entre los sitios con y sin actividades de extracción, que representa un recambio de 13 especies exclusivas de los sitios sin actividades de extracción y solo una en los sitios con extracción, sugiere que las graveras son incompatibles con la preservación de niveles altos de biodiversidad de la herpetofauna, y posiblemente, de la fauna silvestre en general. Dado que el aprovechamiento de los materiales aluviales es parte del desarrollo económico de las comunidades que poseen estos recursos, es necesario encontrar un modo de aprovechamiento compatible con el manejo y conservación del hábitat para los reptiles y de la fauna silvestre en general. Una gestión de territorio que considere áreas mínimas de conservación de hábitats de reptiles durante la extracción y un manejo que considere la restauración de graveras abandonadas como parte del valor ecológico y cultural del río Tehuantepec, es urgente y necesario.

**Ethical statement:** the authors declare that they all agree with this publication and made significant contributions; that there is no conflict of interest of any kind; and that we followed all pertinent ethical and legal procedures and requirements. All financial sources are fully and clearly stated in the acknowledgments section. A signed document has been filed in the journal archives.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio forma parte del proyecto de investigación del Instituto de Ecología (CUP-2IE1403), de la Universidad del Mar, campus Puerto Escondido. Los resultados del presente estudio son parte de la tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Fauna Silvestre del segundo autor. Los autores desean agradecer al Comisariado de Bienes Comunales de Santa Cruz Tagolaba, conformado por los señores Alfredo Martínez Gutiérrez, Mario Barrera



Flores, Gerardo Hernández Ruíz, Gildardo, y Vidal quienes tuvieron la inquietud de iniciar el proyecto de aprovechamiento de materiales aluviales y nos proporcionaron todas las facilidades para poder desarrollar este estudio.

## REFERENCIAS

- Acosta, S., Flores, A., Saynes, S., Aguilar, R., & Manzanero, G. (2003). Vegetación y flora de una zona semiárida de la cuenca alta del río Tehuantepec, Oaxaca, México. *Polibotánica*, 16, 125–152.
- Ansell, K., Garcia-Collazo, R., Chavez-Tapia, C. B., & Mallory, F. F. (2014). Sexual dimorphism and thermoregulatory behaviour in the long-tailed spiny lizard, *Sceloporus siniferus* from México. En M. P. Kiernan (Ed.), *Lizards: Thermal ecology, genetic diversity and functional role in ecosystems* (pp. 121–142). Nova Science Publishers, Inc.
- Barreto-Oble, D. (2000). *Análisis ecológico y distribucional de los anfibios y reptiles de la región de Nizanda, Istmo de Tehuantepec, Oaxaca* (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Boback, S. M., Nafus, M. G., Adams, Y. A. A., & Reed, R. N. (2020). Use of visual surveys and radiotelemetry reveals sources of detection bias for a cryptic snake at low densities. *Ecosphere*, 11(1), e03000. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3000>
- Böhm, M., Collen, B., Baillie, J. E. M., Bowles, P., Chanson, J., Cox, N., Hammerson, G., Hoffmann, M., Livingstone, S. R., Ram, M., Rhodin, A. G. J., Stuart, S. N., van Dijk, P. P., Young, B. E., Aftuang, L. E., Aghasyan, A., García, A., Aguilar, C., Ajtic, R., ... Zug, G. (2013). The conservation status of the world's reptiles. *Biological Conservation*, 157, 372–385. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.07.015>
- Brambila-Navarrete, J. (2006). *Métodos y técnicas de manejo y conservación para anfibios y reptiles en campo: Análisis, evaluación y aprovechamiento sustentable en México*. SEMARNAT.
- Burke, V. J., & Gibbons, J. W. (1995). Terrestrial buffer zones and wetland conservation: A case study of freshwater turtles in Carolina Bay. *Conservation Biology*, 9(6), 1365–1369. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1995.09061365.x>
- Butler, B. O., Smith, L. L., & Flores-Villela, O. (2023). Phylogeography and taxonomy of *Coleonyx elegans* Gray 1845 (Squamata: Eublepharidae) in Mesoamerica: The Isthmus of Tehuantepec as an environmental barrier. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 178, 107632. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2022.107632>
- Carvalho, J. C., Cardoso, P., Borges, P. A. V., Schmera, D., & Podani, J. (2013). Measuring fractions of beta diversity and their relationships to nestedness: A theoretical and empirical comparison of novel approaches. *Oikos*, 122(6), 825–834. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2012.20980.x>
- Chao, A., Ma, K. H., & Hsieh, T. C. (2015). *SpadeR: Species prediction and diversity estimation with R*. <http://chao.stat.nthu.edu.tw/blog/software-download/>
- Comisión Nacional del Agua. (2014). *Reporte del clima en México, reporte anual 2014*. <http://smn1.conagua.gob.mx/climatologia/analisis/reportes/Anual2014.pdf>
- Cruz-González, G., & Hernández-García, S. (2014). *Diagnóstico socioeconómico en la región del corredor transistmico. Publicación Técnica No. 447*. Instituto Mexicano del Transporte. Secretaría de Comunicaciones y Transporte.
- Desales-Lara, M. A., Francke, O., & Sánchez-Nava, P. (2013). Diversidad de arañas (Arachnida: Araneae) en hábitats antropogénicos. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(1), 291–305. <https://doi.org/10.7550/rmb.31708>
- Díaz, S., Fargione, J., Chapin, F. S., & Tilman, D. (2006). Biodiversity loss threatens human well-being. *Plos Biology*, 4, 1300–1305. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040277>
- Duellman, W. E. (2005). *Cuzco Amazónico, the lives of amphibians and reptiles in an Amazonian rainforest*. Comstock Publishing Associates.
- Dubois, Y., Blouin-Demers, G., Shipley, B., & Thomas, D. (2009). Thermoregulation and habitat selection in wood turtles *Glyptemys insculpta*: Chasing the sun slowly. *Journal of Animal Ecology*, 78(5), 1023–1032. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2009.01555.x>
- Flores-Villela, O. (2023). *Formación de una base de datos y elaboración de un atlas de la herpetofauna de México*. SNIB-CONABIO. <http://www.snib.mx/snibgeoportal/Ejemplar.php?id=f27ba054040a07835f86231f1e5b429c>
- Flores-Villela, O., Mendoza-Quijano, F., & González-Porter, G. (1995). Recopilación de claves para la determinación de anfibios y reptiles de México. *Publicaciones Especiales del Museo de Zoología*, 10, 1–125.
- García, A. (2010). Reptiles y anfibios. In G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury-Creel, & R. Dirzo (Eds.), *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las Selvas Secas del Pacífico de México* (pp. 165–178). Fondo de Cultura Económica, Comisión Nacional para el Fomento y de Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y WWF-México.

- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- García-Morales, R., Moreno, C. E., & Bello-Gutiérrez, J. (2011). Renovando las medidas para evaluar la diversidad en comunidades ecológicas: El número de especies efectivas de murciélagos en el sureste de Tabasco, México. *Therya*, 2(3), 205–215.
- Gardner, T. A., Barlow, J., & Peres, C. A. (2007). Paradox, presumption and pitfalls in conservation biology: The importance of habitat change for amphibians and reptiles. *Biological Conservation*, 138, 166–179. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.04.017>
- Gómez-Martínez, E. (2005). *Diagnóstico regional del Istmo de Tehuantepec*. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores de Antropología Social, Unidad Istmo. <https://www.academica.org/emanuel.gomez/32.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010, Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca*. INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2014). *Conjunto de datos vectoriales fisiográficos. Continuo nacional. Escala 1:1 000 000. Serie I (Subprovincias fisiográficas)*. INEGI.
- Henderson, R. W., Powell, R., Martin, J., & Lopez, P. (2016). Arboreal and fossorial reptiles. En C. K. Dodd Jr. (Ed.), *Reptile ecology and conservation: A handbook of techniques* (pp. 139–153). Oxford University Press.
- Köhler, G. (2008). *Reptiles of Central America*. Herpeton Verlag.
- Luiselli, L., & Capizzi, D. (1997). Influences of area, isolation and habitat features on distribution of snakes in Mediterranean fragmented woodlands. *Biodiversity and Conservation*, 6(10), 1339–1351. <https://doi.org/10.1023/A:1018333512693>
- Marroquín-Páramo, J. A., Suazo-Ortuño, I., Urbina-Cardona, N., & Benítez-Malvido, J. (2021). Cumulative effects of high intensity hurricanes on herpetofaunal assemblages along a tropical dry forest chronosequence. *Forest Ecology and Management*, 479, 118505. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118505>.
- Martín-Regalado, C. N., Gómez-Ugalde, R. M., & Cisneros-Palacios, M. E. (2011). Herpetofauna del cerro Guiengola, Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. *Acta Zoológica Mexicana*, 27(2), 359–376. <https://doi.org/10.21829/azm.2011.272758>
- Martínez-Salazar, M. (2011). *Herpetofauna de la cuenca baja del Río Verde, Oaxaca, México* (Tesis de Licenciatura). Universidad del Mar, México.
- Mata-Silva, V., García-Padilla, E., Rocha, A., Desantis, D. L., Johnson, J. D., Ramírez-Bautista, A., & Wilson, L. D. (2021). A reexamination of the herpetofauna of Oaxaca, Mexico: Composition update, physiographic distribution, and conservation commentary. *Zootaxa*, 4996(2), 201–252. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4996.2.1>
- McCranie, J. R., Matthews, A. J., & Hedges, S. B. (2020). A morphological and molecular revision of lizards of the genus *Marisora* Hedges & Conn (Squamata: Mabuyidae) from Central America and Mexico, with descriptions of four new species. *Zootaxa*, 4763(3), 301–353. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4763.3.1>
- Meave, J. A., Romero-Romero, M. A., Salas-Morales, S. H., Pérez-García, E. A., & Gallardo-Cruz, J. A. (2012). Diversidad, amenazas y oportunidades para la conservación del bosque tropical caducifolio en el estado de Oaxaca, México. *Ecosistemas*, 21(1), 85–100.
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., & Pavón, P. N. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: Alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(4), 1249–1261.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., & Wagner, H. (2015). *Vegan: Community ecology package*. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Peña-Becerril, J. C., Monroy-Ata, A., Álvarez-Sánchez, F., & Orozco-Almanza, M. (2005). Uso del efecto de borde de la vegetación para la restauración ecológica del bosque tropical. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 8(2), 91–98.
- Pineda, E., & Halffter, G. (2004). Species diversity and habitat fragmentation: Frogs in a tropical montane landscape in México. *Biological Conservation*, 117(5), 499–508. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2003.08.009>
- R Core Team. (2014). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- Rioja-Paradela, T., Carrillo-Reyes, A., Castañeda, G., & López, S. (2013). Diversidad herpetofaunística al norte de la laguna inferior, Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 29(3), 574–595. <https://doi.org/10.21829/azm.2013.2931599>
- Saha, A., McRae, L., Dodd, C. K., Gadsden, H., Hare, K. M., Lukoschek, V., & Böhm, M. (2018). Tracking global population trends: Population time-series data and a living planet index for reptiles. *Journal of Herpetology*, 52(3), 259–268. <https://doi.org/10.1670/17-076>



- Savage, J. M. (2002). *The amphibians and reptiles of Costa Rica: A herpetofauna between two continents, between two seas*. The University of Chicago Press.
- Scheffers, B. R., Edwards, D. P., Diesmos, A., Williams, S. E., & Evans, T. A. (2014). Microhabitats reduce animal's exposure to climate extremes. *Global Change Biology*, 20, 495–503. <https://doi.org/10.1111/gcb.12439>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SE-MARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5173091](https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091)
- Suazo-Ortuño, I., Alvarado-Díaz, J., & Martínez-Ramos, M. (2008). Effects of conversion of dry tropical forest to agricultural mosaic on herpetofaunal assemblages. *Conservation Biology*, 22(2), 362–374. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00883.x>
- Suazo-Ortuño, I., Benítez-Malvido, J., Marroquín-Páramo, J., Soto, Y., Siliceo, H., & Alvarado-Díaz, J. (2018a). Resilience and vulnerability of herpetofaunal functional groups to natural and human disturbances in a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*, 426, 145–157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.041>
- Suazo-Ortuño, I., Urbina-Cardona, J. N., Lara-Urbe, N., Marroquín-Páramo, J., Soto-Sandoval, Y., Rangel-Orozco, J., & Lopez-Toledo, L. (2018b). Impact of a hurricane on the herpetofaunal assemblages of a successional chronosequence in a tropical dry forest. *Biotrópica*, 50(4), 649–663. <https://doi.org/10.1111/btp.12544>
- Torres-Colín, R. (2004). Tipos de vegetación. En A. J. García-Mendoza, M. J. Ordóñez & M. Briones-Salas (Eds.), *Biodiversidad de Oaxaca* (pp. 105–117). Instituto de Biología, UNAM- Fondo Oaxaqueño para la conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund.
- Torres-Mura, J. C., Riveros-Riffo, E., & Escobar-Gimpel, V. (2014). *Guía técnica para implementar medidas de rescate/relocalización y perturbación controlada. Sistema de Evaluación e Impacto Ambiental*. Gobierno de Chile.
- Torres-Fragoso, J. (2017). El corredor del Istmo de Tehuantepec: De los proyectos fallidos a las nuevas posibilidades para su desarrollo. *Espacios Públicos*, 20(48), 127–148.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (2015). *The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2015.1*. <https://www.iucnredlist.org>
- Urbina-Cardona, J. N., Bernal, E. A., Giraldo-Echeverry, N., & Echeverry-Alcendra, A. (2015). El monitoreo de herpetofauna en los procesos de restauración ecológica: Indicadores y métodos. En M. Aguilar-Garavito & W. Ramírez (Eds.), *Monitoreo a procesos de restauración ecológica aplicado a ecosistemas terrestres* (pp. 134–250). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Urbina-Cardona, J. N., & Reynoso, V. H. (2005). Recambio de anfibios y reptiles en el gradiente potrero-borde-interior en la Reserva de Los Tuxtlas, Veracruz, México. En G. J. Halffter, P. Soberón, L. Koleff, & A. Melic (Eds.), *Sobre diversidad biológica: El significado de las diversidades alfa, beta y gamma* (pp. 191–208). Editorial Monografías Tercer Milenio.
- Valderrama, C. E. (1992). La actividad minera en la Amazonia colombiana. En G. I. Andrade, A. Hurtado, & R. Torres (Eds.), *Amazonia colombiana: Diversidad y conflicto* (pp. 282–300). Comisión Nacional de Investigaciones Amazónicas, Ágora Impresores.
- Zabala-Forero, F., & Urbina-Cardona, N. (2021). Respuestas de la diversidad taxonómica y funcional a la transformación del paisaje: Relación de los ensamblajes de anfibios con cambios en el uso y cobertura del suelo. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92, e923443. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3443>