

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIVERSIDAD DE ANFIBIOS A LO LARGO DE UN GRADIENTE ALTITUDINAL Y SU
RELACIÓN CON VARIABLES AMBIENTALES: BASES PARA LA CONSERVACIÓN
Y LA EDUCACIÓN AMBIENTAL EN MIQUIHUANA, TAMAULIPAS, MÉXICO.

Por

BIÓL. BEATRIZ ALEXANDRA MORENO VÁSQUEZ

Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CONSERVACIÓN, FAUNA SILVESTRE Y SUSTENTABILIDAD

DIVERSIDAD DE ANFIBIOS A LO LARGO DE UN GRADIENTE ALTITUDINAL Y SU
RELACIÓN CON VARIABLES AMBIENTALES: BASES PARA LA CONSERVACIÓN
Y LA EDUCACIÓN AMBIENTAL EN MIQUIHUANA, TAMAULIPAS, MÉXICO.

Comité de Tesis



Dra. Alina Olalla Kerstupp
Directora



Dr. Antonio Guzmán Velasco
Secretario



Dra. Ana Laura Lara Rivera
Vocal



Dr. Juan Antonio García Salas
Vocal



Dr. Gabriel Ruiz Aymá
Vocal



Dra. Katushka Arevalo Niño
Subdirectora de Posgrado



DIVERSIDAD DE ANFIBIOS A LO LARGO DE UN GRADIENTE ALTITUDINAL Y SU
RELACIÓN CON VARIABLES AMBIENTALES: BASES PARA LA CONSERVACIÓN
Y LA EDUCACIÓN AMBIENTAL EN MIQUIHUANA, TAMAULIPAS, MÉXICO.

Dirección de Tesis



Dra. Alina Olalla Kerstupp

Directora



M.C. Nora Guadalupe Niño Olguín

Directora Externa

DERECHOS RESERVADOS©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta Tesis está protegido, el uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material contenido que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde se obtuvo mencionando al autor o autores.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera manifestar mi profundo agradecimiento a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el valioso apoyo económico brindado, el cual hizo posible la realización de mi tesis de maestría. Este financiamiento resultó fundamental para desarrollar la investigación, ya que me permitió acceder a recursos y oportunidades determinantes para el cumplimiento de los objetivos planteados.

De igual manera, expreso mi sincero reconocimiento al Laboratorio de Paleobiología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), por ofrecerme un ambiente adecuado para llevar a cabo mi proyecto, así como por el acompañamiento constante y atento de su equipo de investigadores. Las instalaciones del laboratorio y las condiciones de trabajo fueron factores clave que contribuyeron significativamente al éxito de esta investigación.

Finalmente, agradezco al Laboratorio de Biología de la Conservación y Desarrollo Sostenible, y a la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL por su apoyo institucional. La sólida formación académica recibida y el respaldo brindado fueron esenciales en mi desarrollo y consolidación como investigadora.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado, ante todo, a todas aquellas personas que han creído en mí, especialmente a mi familia y a mis amistades, quienes han sido un pilar fundamental a lo largo de este camino.

Aunque no fue un proceso sencillo, concluyo esta etapa con una profunda satisfacción. Agradezco al Dr. José Ignacio González Rojas por brindarme la oportunidad de ingresar a la maestría. Asimismo, expreso mi más sincero reconocimiento a la Dra. Alina Olalla Kerstupp y a la Dra. Susana Favela Lara, quienes fueron mucho más que docentes para mí: su apoyo constante, tanto profesional como emocional, su empatía, calidad humana y liderazgo, me hicieron sentir siempre acompañada y respaldada. Gracias por su motivación y por impulsarme a seguir adelante.

También dedico unas palabras al Dr. David Lazcano Villarreal (Q.E.P.D.), quien desde el inicio mostró un gran interés en este proyecto y con quien tuve la fortuna de compartir conocimientos, consejos, valiosas anécdotas y su amistad.

De igual manera, agradezco a las amistades que formé durante este proceso: M.C. Adrián González Martínez, M.C. Adrián Ibarra Elizondo, M.C. Nora Niño Olguín, M.C. Perla Chuc, M.V.Z. Alondra Villegas y al Dr. Sergio Luna Peña, quienes en distintos momentos me brindaron su apoyo, compartiendo sus conocimientos, valores y cualidades.

Este trabajo también está dedicado con profundo cariño a mi familia, quienes me apoyaron tanto emocional como económicamente durante esta etapa y han sido fundamentales en mi crecimiento personal. A mi tía Emy; a mis padres, Arnulfo Moreno Valdez y Elda Patricia Vásquez Farías, por su amor incondicional y por inculcar en mí el interés por la ciencia, la investigación y la superación; y a mis hermanas, Priscila y Fanny, quienes han sido mi mayor sostén emocional a lo largo de esta experiencia.

A mis amigos de licenciatura, los biólogos Isabel González y Carlos Flores, gracias por acompañarme en las salidas de campo y por su compañerismo.

Finalmente, dedico este trabajo a mis mascotas: a mis perritas Chispa y Nicky (Q.E.P.D.), así como a Bailey, Suri, Ramona y Cossi, y a mis gatos Pico, Luna y Roberta, quienes con su compañía y cariño incondicional han sido un gran apoyo emocional en este camino.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. ANTECEDENTES.....	5
2.1 Biodiversidad de anfibios en México	5
2.2 Anfibios en Áreas Naturales protegidas de México	6
2.3 Diversidad de anfibios en gradientes altitudinales	7
2.4 Modelados de distribución potencial y la relación de variables ambientales.....	8
2.5 Educación ambiental sobre anfibios y casos de éxito	10
3. JUSTIFICACIÓN.....	12
4. HIPÓTESIS.....	13
5. OBJETIVOS.....	14
5.1 General	14
5.2 Específicos	14
6. MATERIAL Y MÉTODOS.....	15
6.1 Área de estudio.....	15
6.1.1 Clima.....	16
6.1.2 Tipos de vegetación	16
6.1.3 Clasificación y uso de suelo	17
6.2 Metodología.....	18
6.2.1 Modelado de nicho ecológico y distribución	18
6.2.1.1 Listado de especies	18
6.2.1.2 Delimitación del área de estudio	20
6.2.1.3 Coberturas bioclimáticas.....	21
6.2.1.4 Modelado de distribución potencial y riqueza	22
6.2.2 Presencia y distribución altitudinal	23
6.2.2.1 Monitoreo en campo	23
6.2.3 Interpretación de espacios ambientales y similitud de nicho.....	24
6.2.4 Propuesta educativa	25
6.2.4.1 Diagnóstico: conocer ideas y necesidades.....	25
6.2.4.2 Creación de material para educación ambiental en la localidad.....	26
7. RESULTADOS.....	28
7.1 Diversidad y distribución potencial de anfibios en Miquihuana	28
7.2 Monitoreo en campo.....	33

7.3 Interpretación de espacios ambientales y similitud de nicho	39
7.3.1 Análisis de Componentes Principales	39
7.3.2 Asociaciones entre especies y variables bioclimáticas	41
7.3.3 Mapa de superposición de nicho de Shoener	43
7.3.4 Dendrograma de similitud de nicho	45
7.3.5 Curva de respuesta para comparación de distribuciones altitudinales.....	47
7.4 Propuesta educativa	49
7.4.1 Encuesta.....	49
7.4.2 Materiales para educación ambiental	51
8. DISCUSIÓN	54
8.1 Nicho ecológico y distribución	54
8.2 Educación ambiental como herramienta para la conservación de anfibios.....	57
9. CONCLUSIONES	60
10. PERSPECTIVAS	62
11. BIBLIOGRAFÍA	63
12. RESUMEN BIOGRÁFICO	72
13. ANEXOS	73
13.1 Anexo Fotográfico.....	73
13.1.1 Anfibios de Miquihuana.....	73
13.1.2 Sitios de monitoreo.....	76
13.1.3 Especies identificadas en campo.....	79
13.2 Anexo Propuesta Educativa	82
13.2.1 Encuesta.....	82
13.2.2 Cuadernillo para colorear.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Registros de anfibios válidos dentro del municipio de Miquihuana y su estado de conservación.....	18
Tabla 2.	Variables bioclimáticas empleadas como predictores para analizar la distribución potencial de especies de anfibios en Miquihuana, Tamaulipas	21
Tabla 3.	Resumen de atributos de modelación.....	28
Tabla 4.	Sitios de muestreo de anfibios en el municipio de Miquihuana 2024-2025.....	34
Tabla 5.	Interpretación de los cuadrantes del PCA.....	40
Tabla 6.	Asociaciones entre especies y variables bioclimáticas.....	41
Tabla 7.	Clados de similitud de nichos ecológicos de los anfibios de Miquihuana.....	46
Tabla 8.	Separación de especies de anfibios de Miquihuana de acuerdo con las elevaciones en las que se distribuyen.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Localización del Municipio de Miquihuana Tamaulipas.....	15
Figura 2.	Delimitación del ANP Estatal “Paisaje Natural de la Mariposa Monarca”	15
Figura 3.	Área de calibración correspondiente a la provincia herpetofaunística de la Sierra Madre Oriental.....	20
Figura 4.	Mapa de modelado de distribución potencial de <i>Aquiloerycea galeanae</i>	29
Figura 5.	Mapa de modelado de distribución potencial de <i>Scaphiopus couchii</i>	29
Figura 6.	Mapa de modelado de distribución potencial de <i>Spea multiplicata</i>	29
Figura 7.	Mapa de modelado de distribución potencial de <i>Chiropterotriton miquihuanus</i>	29
Figura 8.	Mapa de modelado de distribución potencial de <i>Spea hammondi</i>	30
Figura 9.	Mapa de modelado de distribución potencial de <i>Anaxyrus punctuatus</i>	30
Figura 10.	Mapa de modelado de distribución potencial de <i>Dryophytes eximius</i>	30
Figura 11.	Mapa de modelado de distribución potencial de <i>Eleutherodactylus guttilatus</i> .	30
Figura 12.	Mapa de modelado de distribución potencial de <i>Eleutherodactylus longipes</i> ..	31
Figura 13.	Mapa de modelado de distribución potencial de <i>Rhinophrynus dorsalis</i>	31
Figura 14.	Mapa de modelado de distribución potencial de <i>Hypopachus variolosus</i>	31
Figura 15.	Mapa de modelado de distribución potencial de <i>Lithobates berlandieri</i>	31
Figura 16.	Mapa de modelado de distribución potencial de <i>Smilisca baudinii</i>	32
Figura 17.	Mapa de riqueza de anfibios en el municipio de Miquihuana, Tamaulipas.....	32
Figura 18.	Presencia de especies de anfibios en el municipio de Miquihuana 2024-2025.	33
Figura 19.	Biplot del Análisis de Componentes Principales (PCA).....	39
Figura 20.	Agrupación de especies por variable bioclimática. Los colores cálidos (rojo) representan valores altos en esa variable para el nicho de esa especie, mientras que los colores fríos (azules) representan valores bajos.....	42
Figura 21.	Mapa de superposición de nicho de Schoener.....	43
Figura 22.	Dendrograma de similitud de nicho.....	45
Figura 23.	Curva de respuesta para comparar distribuciones altitudinales	47
Figura 24.	a) Portada del cuadernillo para colorear. b) Página no. 1 del cuadernillo para colorear.....	51

Figura 25.	Botones entrenadores de mascotas empleados para la grabación de sonidos de anuros de Miquihuana	52
Figura 26.	a) Imagen de <i>Anaxyrus punctatus</i> empleada junto con el sonido grabado en botón	52
	b) Imagen de <i>Dryophytes eximius</i> empleada junto con el sonido grabado en botón	52
	c) Imagen de <i>Lithobates berlandieri</i> empleada junto con el sonido grabado en botón	52
	d) Imagen de <i>Spea multiplicata</i> empleada junto con el sonido grabado en botón	52
Figura 27.	Infografía sobre la diversidad de anfibios en Miquihuana.....	53
Figura 28.	a) Tlaconete de Galeana. <i>Aquiloerycea galeanae</i>	73
	b) Tlaconete de Miquihuana. <i>Chiropterotriton miquihuanus</i>	73
	c) Sapo de puntos rojos. <i>Anaxyrus punctatus</i>	73
	d) Rana arborícola de montaña. <i>Dryophytes eximius</i>	74
	e) Rana arborícola mexicana. <i>Smilisca baudinii</i>	74
	f) Rana chirriadora de puntos. <i>Eleutherodactylus guttilatus</i>	74
	g) Rana chirriadora de la Huasteca. <i>Eleutherodactylus longipes</i>	74
	h) Rana termitera. <i>Hypopachus variolosus</i>	74
	i) Rana leopardo. <i>Lithobates berlandieri</i>	74
	j) Sapo excavador mexicano. <i>Rhinophrynus dorsalis</i>	75
	k) Sapo de espuelas de Couch. <i>Scaphiopus couchii</i>	75
	l) Sapo de espuelas occidental. <i>Spea hammondi</i>	75
	m) Sapo de espuelas mexicano. <i>Spea multiplicata</i>	75
Figura 29.	a) Sitio 1. Palmillas.....	76
	b) Sitio2. Altamira.....	76
	c) Sitio 3. Rancho Joya Quemada.....	76
	d) Sitio 4. La Peña.....	76
	e) Sitio 5. Miquihuana.....	77
	f) Sitio 6. La Peña, cañón.....	77

	g) Sitio 7. Joya 1, bosque.....	77
	h) Sitio 8. Joya 1, valle.....	77
	i) Sitio 9. Joya 2, bosque.....	77
	j) Sitio 10. Antena.....	77
	k) Sitio 11. Camino con charcas.....	78
	l) Sitio 12. Entrada Joyas.....	78
	m) Sitio 13. Las Joyas Cabañas.....	78
	n) Sitio 14. El Aserradero.....	78
	o) Sitio 15. Vallehermoso.....	78
	p) Sitio 15. Vallehermoso.....	78
Figura 30.	a) Tlaconete de Galeana. <i>AquiloEURYCEA galeanae</i>	79
	b) Imagen de escala	79
	c) Imagen de <i>A. galeanae</i> . La morfología cefálica incluye surcos nasolabiales bien definidos, rasgo distintivo de esta especie, además de presentar en el cuerpo manchas irregulares semejantes a líquenes.....	79
	d) Imagen de estrato donde habita la especie, debajo de troncos de pino en descomposición	79
Figura 31.	a) Tlaconete de Miquihua. <i>Chiropterotriton miquihuanus</i>	80
	b) Imagen de escala	80
	c) Imagen de <i>C. miquihuanus</i> . La morfología cefálica incluye nostrilos bien definidos, rasgo distintivo de esta especie.....	80
	d) Imagen de estrato donde habita la especie, debajo de troncos de pino en descomposición.....	80
Figura 32.	Sapo de puntos rojos. <i>Anaxyrus punctatus</i>	81
Figura 33.	Rana arborícola de montaña. <i>Dryophytes eximius</i>	81
Figura 34.	Rana leopardo. <i>Lithobates berlandieri</i>	81
Figura 35.	Sapo de espuelas mexicano. <i>Spea multiplicata</i>	81

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

ANP: Área Natural Protegida.

AUC: *Area Under the Curve*. Área Bajo la Curva.

MaxEnt: *Maximum Entropy Modeling*, Máxima Entropía.

M S. N. M.: Metros sobre el nivel del mar.

PCA: *Principal Component Analysis* Análisis de Componentes Principales.

RF: *Random Forest*. Bosques aleatorios.

ROC: *Receiver Operating Characteristic*. Característica Operativa del Receptor.

SMO: Sierra Madre Oriental.

SVM: *Support Vector Machines*. Máquinas de Soporte de Vectores.

RESUMEN

El presente estudio analiza la diversidad y distribución de los anfibios en el municipio de Miquihuana, Tamaulipas, una región de alta relevancia biológica ubicada en la Sierra Madre Oriental, caracterizada por una notable heterogeneidad ambiental asociada a gradientes altitudinales. A nivel global y nacional, los anfibios enfrentan una crisis de conservación derivada principalmente de la pérdida de hábitat, el cambio climático y la presión antropogénica, lo que justifica la necesidad de generar información científica en regiones poco estudiadas. En este contexto, Miquihuana destaca por albergar una importante diversidad de especies, muchas de ellas endémicas o bajo alguna categoría de riesgo, pero con vacíos de conocimiento sobre su distribución y estructura comunitaria. Con base en estos antecedentes, el objetivo del estudio fue analizar la diversidad de anfibios a lo largo de un gradiente altitudinal (1000–3000 m.s.n.m.) y su relación con variables ambientales, así como generar insumos para el desarrollo de estrategias de educación ambiental. Se planteó como hipótesis que la diversidad disminuiría con el incremento en la altitud, debido a cambios en temperatura, humedad y disponibilidad de microhábitats. Metodológicamente, se integró un enfoque multidisciplinario que combinó modelación de nicho ecológico, análisis geoespacial y trabajo de campo. Se modeló la distribución potencial de 13 especies mediante algoritmos de aprendizaje supervisado (Random Forest y Support Vector Machines), utilizando variables bioclimáticas y registros de ocurrencia. Posteriormente, se realizaron muestreos en 15 sitios distribuidos a lo largo del gradiente altitudinal para corroborar la presencia de especies. Asimismo, se aplicaron análisis multivariados (PCA), mapas de calor, índices de similitud de nicho (Schoener) y dendrogramas, con el fin de interpretar los patrones ecológicos. De manera complementaria, se diseñó una propuesta de educación ambiental basada en encuestas, materiales didácticos e instrumentos interactivos. Los resultados permitieron identificar zonas con alta riqueza potencial de especies. En campo se registraron 228 individuos pertenecientes a seis especies, destacando la abundancia de especies oportunistas. El análisis de componentes principales mostró que la elevación, la humedad y la precipitación son los principales factores que determinan la distribución, mientras que la variabilidad térmica influye en la diferenciación de ciertos taxones. Se identificaron grupos ecológicos bien definidos: especies de alta montaña, especies de zonas intermedias húmedas y especies de ambientes bajos y áridos. Además, el bajo solapamiento de nicho sugiere una marcada partición ecológica entre especies, lo que favorece su coexistencia. En términos altitudinales, la mayor diversidad se concentró en zonas intermedias, mientras que las especies de alta montaña presentaron nichos más restringidos y mayor especialización. Destaca el caso de *Chiropterotriton miquihuanus*, especie endémica y en alto riesgo, cuya distribución se limita a ambientes vulnerables con presión antropogénica, lo que subraya la urgencia de su conservación. En conclusión, el estudio demuestra que el gradiente altitudinal actúa como un filtro ecológico clave en la estructuración de la comunidad de anfibios en Miquihuana, determinando la distribución, diversidad y especialización de las especies. Los resultados aportan una base científica sólida para la gestión de la biodiversidad local y promueven la participación comunitaria como un elemento esencial para la protección de los anfibios y sus ecosistemas.

ABSTRACT

This study analyzes the diversity and distribution of amphibians in the municipality of Miquihuana, Tamaulipas, a region of high biological importance located in the Sierra Madre Oriental, characterized by notable environmental heterogeneity associated with altitudinal gradients. At both global and national levels, amphibians face a conservation crisis mainly driven by habitat loss, climate change, and anthropogenic pressures, which highlights the need to generate scientific information in understudied regions. In this context, Miquihuana stands out for harboring significant species diversity, many of which are endemic or under some risk category, yet important gaps remain in understanding their distribution and community structure. Based on this background, the objective of the study was to analyze amphibian diversity along an altitudinal gradient (1000–3000 m a.s.l.) and its relationship with environmental variables, as well as to provide inputs for the development of environmental education strategies. The hypothesis proposed that diversity would decrease with increasing altitude due to changes in temperature, humidity, and microhabitat availability. Methodologically, a multidisciplinary approach was implemented, combining ecological niche modeling, geospatial analysis, and fieldwork. The potential distribution of 13 species was modeled using supervised learning algorithms (Random Forest and Support Vector Machines), incorporating bioclimatic variables and occurrence records. Field surveys were then conducted at 15 sites along the altitudinal gradient to verify species presence. Additionally, multivariate analyses (PCA), heatmaps, niche similarity indices (Schoener), and dendrograms were applied to interpret ecological patterns. Complementarily, an environmental education proposal was developed based on surveys, educational materials, and interactive tools. The results allowed the identification of areas with high potential species richness. In the field, 228 individuals belonging to six species were recorded, with opportunistic species being the most abundant. Principal component analysis revealed that elevation, humidity, and precipitation are the main factors determining species distribution, while thermal variability contributes to the differentiation of certain taxa. Well-defined ecological groups were identified, including high-mountain species, species associated with humid intermediate zones, and species adapted to lowland arid environments. Furthermore, low niche overlap suggests marked ecological partitioning among species, facilitating their coexistence. In altitudinal terms, the highest diversity was concentrated in intermediate zones, whereas high-mountain species exhibited more restricted niches and greater specialization. Notably, *Chiropterotriton miquihuanus*, an endemic species at high risk, is restricted to vulnerable habitats under anthropogenic pressure, highlighting the urgency of its conservation. In conclusion, the study demonstrates that the altitudinal gradient acts as a key ecological filter structuring amphibian communities in Miquihuana, determining species distribution, diversity, and specialization. The findings provide a solid scientific basis for local biodiversity management and promote community participation as an essential component for the conservation of amphibians and their ecosystems.

1. INTRODUCCIÓN

A escala global, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza reporta que cerca del 41 % de las especies de anfibios evaluadas se encuentran en alguna categoría de amenaza, debido principalmente a la pérdida de hábitat, la contaminación, el cambio climático y la introducción de enfermedades (AmphibiaWeb, 2021; Luedtke et al., 2023). A pesar de este panorama, existen regiones que aún concentran una alta riqueza y diversidad de anfibios, lo que resalta la importancia de su estudio y conservación.

En este contexto, México se posiciona como uno de los países con mayor diversidad de anfibios a nivel mundial, con 431 especies registradas, de las cuales cerca del 69.5 % son endémicas (Frost, 2023; Balderas-Valdivia y González-Hernández, 2023). Sin embargo, una proporción considerable de estas especies enfrenta algún grado de riesgo según la NOM-059-SEMARNAT-2010, principalmente debido a procesos de antropización que modifican los ecosistemas naturales (Martínez-Dueñas, 2010; Wilson et al., 2013).

A nivel regional, el estado de Tamaulipas destaca por albergar una riqueza importante de anfibios, con 44 especies registradas distribuidas en diversos ecosistemas (Lazcano-Villarreal, 1999; Terán-Juárez et al., 2016). Esta diversidad está estrechamente relacionada con la heterogeneidad ambiental del estado, influenciada en gran medida por la presencia de la Sierra Madre Oriental, un sistema montañoso que genera gradientes altitudinales, microclimas y una gran variedad de hábitats que favorecen la diversificación biológica.

Particularmente, el municipio de Miquihuana se ubica dentro de esta región montañosa y forma parte del Área Natural Protegida “Paisaje Natural de la Mariposa Monarca”, donde se han reportado al menos 16 especies de anfibios, muchas de ellas bajo alguna categoría de protección. No obstante, a pesar de su relevancia biológica, los estudios en zonas con distintos grados de perturbación, como áreas agrícolas o con influencia humana, siguen siendo limitados, lo que restringe la comprensión de la distribución y estructura de estas comunidades.

El conocimiento actual sugiere que factores como el gradiente altitudinal y la tolerancia térmica influyen significativamente en la distribución de los anfibios, afectando su riqueza, composición y patrones de coexistencia (Sanders, 2002; Ghalambor et al., 2005). Sin embargo, aún existen vacíos en la comprensión de cómo estos factores operan a escalas locales y en paisajes con distintos niveles de antropización.

En este contexto, el presente estudio tiene como propósito analizar la distribución y estructura de la comunidad de anfibios en un gradiente altitudinal en Miquihuana, Tamaulipas, con el fin de contribuir al entendimiento de los factores que determinan su diversidad y aportar información útil y material de educación ambiental, para su conservación.

2. ANTECEDENTES

2.1 Biodiversidad de anfibios en México

Se han realizado diversos estudios acerca de las relaciones ecológicas en las comunidades de anfibios y, aunque las investigaciones en el neotrópico iniciaron hace varias décadas, aún se conoce poco sobre muchos aspectos ecológicos de las especies que habitan en esta región (Scott, 1976; Duellman, 1978; Lynch & Duellman, 1980; Lynch & Duellman, 1997; Kopp & Eterovik, 2006), por lo que estudios cuantitativos en comunidades de anfibios deben ser prioritarios.

Estudios que permiten entender las relaciones, la estructura y composición son importantes para la conservación de la biodiversidad ya que podemos conocer cuál es la función de las especies y sus requerimientos en una comunidad (Rojas, 2006). El estudio de la estructura y la composición de las comunidades de anfibios a través del espacio y del tiempo, permite la caracterización de un hábitat (Thomas, 1998; Cross & Petersen, 2001), y aportar al conocimiento de las comunidades de anuros, lo cual es indispensable para realizar estrategias encaminadas a la conservación de anfibios que habitan los bosques remanentes, ya que el desconocimiento sobre las funciones ecológicas de las especies y comunidades de anfibios no permite plantear planes de conservación eficaces, ni determinar acciones encaminadas a la protección de los mismos.

Un estudio de distribución y conservación de anfibios de México, indica que el nivel de endemismo de anfibios en México es muy alto, ya que 7 de las 16 familias presentes en el país, contienen más de un 50% de especies endémicas, incluyendo 6 géneros (3 de anuros y 4 de salamandras). La distribución de anfibios por estado denota una marcada diferencia entre los estados de Oaxaca, Chiapas y Veracruz con el resto de México, siendo Oaxaca el más diverso (140 especies), seguido por Chiapas (100 especies) y Veracruz (96 especies) ocupando el segundo y tercer lugar, respectivamente. Actualmente los anfibios están sufriendo la peor crisis de extinción de toda su historia; se considera que el 43% de las especies están amenazadas o críticamente amenazadas para el caso de México (Ochoa-Ochoa & Flores-Villela, 2014).

2.2 Anfibios en Áreas Naturales protegidas de México

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son espacios geográficos delimitados y gestionados mediante instrumentos legales con el objetivo de conservar la biodiversidad, los ecosistemas y sus procesos ecológicos a largo plazo. Estas áreas representan una de las estrategias más importantes para la conservación biológica, ya que permiten proteger hábitats críticos, mantener la diversidad genética, conservar especies amenazadas y garantizar el funcionamiento de los servicios ecosistémicos. Asimismo, las ANP contribuyen a reducir el riesgo de extinción de las especies y favorecen la capacidad de recuperación de los ecosistemas frente a perturbaciones como el cambio climático y la degradación ambiental (Chape et al., 2008; Dudley, 2008).

En el contexto de México, la legislación ambiental establece que las ANP son zonas donde los ecosistemas no han sido significativamente alterados por la actividad humana o requieren ser preservados y restaurados, por lo que están sujetas a un régimen especial de protección y manejo. Estas áreas pueden incluir ecosistemas terrestres, acuáticos o marinos, y su protección permite conservar hábitats naturales, especies y procesos ecológicos esenciales (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP], 2025).

Para implementar acciones efectivas de conservación, es crucial conocer las especies presentes en ANP gubernamentales y privadas, así como su categoría de riesgo. Utilizando datos de distribución y la clasificación de la UICN, la NOM-059 y la serie VI de vegetación y uso de suelo, Quintero-Vallejo y Ochoa-Ochoa en 2021, propusieron una priorización para la conservación de anfibios en México. Las categorías son: 1) Especies sin ANP y 100% de área modificada: Estas especies requieren atención urgente debido a su alta alteración del hábitat (ejemplo: *Bolitoglossa zapoteca*). 2) Especies sin ANP y 70-99% de área modificada: También necesitan protección, aunque su hábitat está parcialmente alterado (ejemplo: *Craugastor rupinus*). 3) Especies microendémicas sin ANP: Aunque no están en ANP, su conservación es crucial (ejemplo: *Chiropterotriton arboreus*). 4) Especies microendémicas en ANP con 70-99% de área modificada: Estas especies enfrentan desafíos en su hábitat protegido (ejemplo: *Craugastor pozo*). 5) Especies sin ANP, independientemente del grado de alteración: Todas las especies deben ser consideradas (ejemplo: *Aquiloerycea galeanae*). Se identificaron 15 especies con su distribución totalmente modificada, en su mayoría microendémicas, y otras 97 en categorías prioritarias. Esto evidencia la necesidad de implementar acciones específicas de protección y monitoreo continuo para una conservación efectiva. (Quintero-Vallejo y Ochoa-Ochoa, 2022).

Para establecer la categorización de las especies dentro de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), resulta fundamental investigar e identificar la riqueza de especies de anfibios presentes en cada zona, por lo que trabajos como el realizado por Contreras-Lozano et al. (2011) y Terán et al. (2016) son de gran relevancia.

2.3 Diversidad de anfibios en gradientes altitudinales

En los bosques tropicales, la estratificación vertical es un patrón común, donde la riqueza y abundancia de especies varían a lo largo del gradiente desde el suelo hasta el dosel. Estos patrones difieren entre grupos taxonómicos: las especies voladoras tienden a concentrarse en estratos superiores, mientras que los vertebrados no voladores, como los anfibios, se asocian principalmente con el suelo. Además, factores como la estructura del hábitat, la disponibilidad de recursos, el clima y las interacciones biológicas influyen en esta distribución, generando una alta variabilidad en la organización vertical de las comunidades (Basham et al., 2022).

Los gradientes altitudinales tienen una gran relevancia ecológica en la distribución de los anfibios, ya que la altitud influye directamente en factores ambientales como la temperatura, la humedad, la precipitación y el tipo de vegetación, los cuales determinan las condiciones de hábitat adecuadas para cada especie.

A medida que se asciende en altitud, las condiciones climáticas se vuelven más frías y húmedas, lo que provoca un cambio en la composición y riqueza de especies. En muchos casos, los anfibios presentan una alta especificidad ecológica, adaptándose a rangos altitudinales estrechos, lo que favorece el endemismo y hace que ciertas especies se encuentren únicamente en zonas montañosas particulares.

Además, los gradientes altitudinales permiten estudiar cómo las especies responden a variaciones ambientales y cómo podrían verse afectadas por el cambio climático, ya que el desplazamiento hacia elevaciones mayores puede ser una respuesta a temperaturas crecientes (Duellman, 1999).

Se ha documentado que la diversidad y distribución altitudinal de anfibios varía significativamente a lo largo de gradientes ambientales, presentando patrones de reemplazo de especies conforme cambian factores como la temperatura y la humedad. En estos gradientes, las zonas de media y alta montaña suelen albergar especies con rangos de distribución más restringidos, lo que incrementa su vulnerabilidad ante cambios climáticos y alteraciones del hábitat,

resaltando la importancia de considerar la altitud en estrategias de conservación (Proaño et al., 2022).

Asimismo, en gradientes altitudinales del noreste de México se ha registrado una riqueza herpetofaunística limitada, con presencia de anfibios y reptiles representativos de distintos grupos taxonómicos, evidenciando cómo la composición de especies puede variar en función de la elevación y las condiciones ambientales (Contreras-Lozano et al., 2011).

A nivel estatal, se ha realizado una regionalización fisiográfica de Tamaulipas en siete subprovincias, lo que ha permitido analizar la distribución de la herpetofauna en distintos contextos ambientales. Dentro de esta clasificación, la región Gran Sierra Plegada, comprendida por catorce municipios, entre ellos Miquihuana, destaca por su relevancia biológica, ya que alberga una importante diversidad de anfibios, donde se han registrado 35 especies distribuidas en 10 familias, lo que resalta su importancia para el estudio de la diversidad herpetológica (Terán et al., 2016).

2.4 Modelados de distribución potencial y la relación de variables ambientales

La distribución de las especies está determinada en parte por factores ambientales como el clima, relieve y suelo. No obstante, es fundamental considerar también los factores bióticos (alimento, competidores, depredadores) y la historia biogeográfica de la región para determinar la presencia de una especie en una localidad específica. El modelado de nicho ecológico se fundamenta en el estudio de las condiciones ambientales de los sitios donde se conoce la presencia de la especie y sus aplicaciones son variadas, incluyendo la conservación, ecología, monitoreo y manejo de especies invasoras.

Un modelo de nicho ecológico es una herramienta, a menudo implementada mediante algoritmos, que estima la distribución de las especies al analizar las condiciones ambientales de las localidades conocidas donde se encuentran. El objetivo es predecir la idoneidad del ambiente para las especies en función de su nicho ecológico (Peterson et al., 2011).

Obtener datos completos sobre la distribución de especies resulta complicado, especialmente en zonas de difícil acceso, por lo que los puntos de ocurrencia existentes suelen ser solo una muestra limitada de la distribución real. Para solucionar esto, se emplean modelos de nicho ecológico.

Se han realizado estudios que abordan el desafío de modelar la distribución de especies que están cambiando su rango geográfico debido a factores como el cambio climático y la intervención humana. Tradicionalmente, se utilizan modelos correlativos de distribución de especies (SDM), pero estos presentan limitaciones cuando las especies no están en equilibrio con su entorno o cuando se proyectan a condiciones ambientales nuevas. Los autores analizan diferentes enfoques para mejorar la confiabilidad de estos modelos, incluyendo el uso de datos ajustados, la evaluación de la extrapolación y la integración de modelos mecanicistas. Mediante el caso del sapo de caña en Australia, demuestran que las predicciones pueden variar significativamente según el método y los datos utilizados, destacando la necesidad de combinar conocimiento biológico y herramientas analíticas para obtener resultados más robustos (Elith et al., 2010).

En América del Sur, diversos estudios han analizado la distribución actual y potencial de especies mediante modelamiento ambiental y de nicho ecológico. En el caso de *Atelopus bomolochus* en Ecuador, se han identificado áreas adecuadas para su desarrollo a partir de variables climáticas, evidenciando que su distribución está fuertemente influenciada por condiciones ambientales específicas. Asimismo, otras investigaciones han evaluado la distribución y el estado de conservación de especies considerando tanto variables ambientales como presiones antrópicas, demostrando que factores como el cambio climático y la transformación del paisaje afectan significativamente su supervivencia. En conjunto, estos estudios resaltan la importancia de integrar herramientas de modelación ecológica y análisis geoespacial para apoyar la planificación de estrategias de conservación y manejo sostenible de la biodiversidad (Proaño et al., 2022; Suntasig et al., 2024).

El modelado de nicho ecológico ha sido ampliamente utilizado para predecir la distribución de anfibios y reptiles a partir de información incompleta, mediante la relación entre registros de presencia y variables ambientales. En este enfoque, el algoritmo de Máxima Entropía (MaxEnt v3.3.3k) permite estimar distribuciones potenciales cercanas a una probabilidad uniforme, optimizando la información disponible. La calidad de los modelos se evalúa comúnmente mediante la curva ROC (Receiver Operating Characteristic) y el AUC (Area Under the Curve), donde valores superiores a 0.75 indican un buen desempeño del modelo, lo que respalda su utilidad en estudios de distribución de especies (Santos-Crespo, 2014).

El uso de modelos de nicho ecológico ha permitido analizar la distribución potencial de los anfibios en la Sierra Madre Oriental, integrando variables ambientales y registros de presencia para identificar áreas con alta idoneidad ambiental. A partir de estos modelos, se han delimitado zonas prioritarias no solo por su riqueza de especies, sino también por su diversidad filogenética, evidenciando patrones espaciales clave para la conservación. Este enfoque resalta la utilidad del modelado como herramienta para comprender la distribución de la biodiversidad y orientar estrategias de manejo en regiones montañosas complejas (Guajardo-Welsh., 2024).

2.5 Educación ambiental sobre anfibios y casos de éxito

La educación ambiental es una herramienta que inicia con la concientización del deterioro ambiental en el mundo, principalmente en los temas de: explosión demográfica, uso incontrolado de energía, desequilibrio económico entre países, crisis de valores y crisis política. Esto fue hablado y discutido en el Club de Roma de 1968, Planteándose generar conciencia en la opinión pública, establecer patrones de una nueva ética social y orientar las conductas de los seres humanos (Cruces, 1997).

Posteriormente, en la Conferencia internacional de Estocolmo de 1972 se establece por primera vez el concepto de “Educación ambiental” y además se consideraron los peligros ecológicos ocasionados por el desarrollo humano, particularmente el Principio 19, que establece la necesidad de promover la educación ambiental a nivel escolar y comunitario, destacando su carácter interdisciplinario y su papel en la toma de conciencia ambiental global. Por tal motivo se hizo un llamado a establecer un programa interdisciplinario de educación ambiental escolar y extraescolar (Naciones Unidas, 1972).

La educación ambiental en México ha sido reconocida como una herramienta fundamental para la conservación de la biodiversidad, particularmente en el contexto de las Áreas Naturales Protegidas (ANP). De acuerdo con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, este enfoque promueve la valoración de los ecosistemas y los servicios ambientales que éstos proporcionan, fomentando principios de respeto, cuidado de la naturaleza y uso sustentable de los recursos naturales. Asimismo, la educación ambiental cumple una función social relevante, al facilitar el acceso a información científica y ambiental, promover la sensibilización y generar cambios de actitud en la población, convirtiéndose en un elemento clave para la conservación. En este sentido, las estrategias implementadas en ANP buscan fortalecer la participación comunitaria,

desarrollar capacidades locales y consolidar una cultura de conservación mediante actividades educativas y materiales didácticos (CONANP, 2017).

En el ámbito de la educación ambiental aplicada a la conservación de anfibios, diversos estudios han demostrado la eficacia del uso de herramientas tecnológicas como estrategias didácticas. Un ejemplo de ello es la investigación realizada por Mera Martínez, Jiménez Ortigón y Chagüendo Díaz (2022), quienes desarrollaron una propuesta educativa basada en el uso de herramientas web 2.0 para sensibilizar a estudiantes de nivel básico sobre el cuidado de la anfibiofauna en el municipio de La Cumbre, Valle del Cauca. En dicha investigación se implementó un enfoque descriptivo estructurado en tres fases: un diagnóstico inicial del conocimiento de los estudiantes sobre los anfibios, la caracterización de la anfibiofauna local y el diseño e implementación de una estrategia didáctica apoyada en plataformas digitales como Kahoot y Educaplay. Los resultados evidenciaron que el uso de herramientas tecnológicas y actividades lúdicas favorece la participación de los estudiantes, fortalece el aprendizaje significativo y promueve actitudes positivas hacia la conservación de este grupo biológico.

En particular, estos enfoques resultan especialmente relevantes para la conservación de los anfibios, un grupo altamente vulnerable a las alteraciones ambientales y con un papel ecológico fundamental en los ecosistemas. En regiones como el municipio de Miquihuana, Tamaulipas, donde existe una notable heterogeneidad ambiental asociada a gradientes altitudinales y una importante diversidad de especies, la implementación de estrategias de educación ambiental, con la integración de recursos didácticos innovadores, orientadas a este grupo puede favorecer la generación de conocimiento local, la sensibilización comunitaria y la adopción de prácticas que contribuyan a su conservación y al reconocimiento de la importancia ecológica de los anfibios. En este sentido, la presente investigación retoma estos antecedentes para adaptar estrategias educativas al contexto del municipio de Miquihuana, Tamaulipas, considerando sus particularidades ecológicas y la diversidad de anfibios presente en sus gradientes altitudinales.

3. JUSTIFICACIÓN

La región de Miquihuana, ubicada en la Sierra Madre Oriental de Tamaulipas, representa un área de gran relevancia biológica debido a la heterogeneidad ambiental que se genera a lo largo de su gradiente altitudinal. Estos cambios en altitud propician variaciones importantes en temperatura, humedad, cobertura vegetal y disponibilidad de microhábitats, factores que influyen directamente en la distribución y diversidad de los anfibios. Sin embargo, a pesar de su potencial para albergar una alta diversidad de especies, el conocimiento científico sobre la herpetofauna de esta región sigue siendo limitado. En este contexto, analizar la diversidad de anfibios a lo largo de un gradiente altitudinal y su relación con variables ambientales en Miquihuana resulta fundamental para comprender los patrones ecológicos que determinan su presencia y distribución.

Los anfibios son particularmente sensibles a cambios ambientales debido a su fisiología y a su estrecha dependencia de condiciones específicas de temperatura, humedad y calidad del hábitat. Estas características los convierten en bioindicadores clave de la salud de los ecosistemas. Además, muchas especies presentan distribuciones restringidas y altos niveles de endemismo, lo que incrementa su vulnerabilidad ante procesos como el cambio climático, la pérdida de hábitat y otras perturbaciones ambientales. Por ello, la generación de información científica sobre su diversidad y relación con variables ambientales en regiones poco estudiadas como Miquihuana constituye una base importante para orientar acciones de conservación y manejo de la biodiversidad a nivel local y regional.

Asimismo, este trabajo adquiere un valor adicional al vincular la investigación ecológica con estrategias de educación ambiental dirigidas a la comunidad local. Promover el conocimiento sobre la diversidad de anfibios presentes en Miquihuana y su importancia ecológica puede fortalecer la valoración del patrimonio natural de la región y fomentar la participación social en su conservación. De esta manera, los resultados de esta investigación no solo contribuirán al entendimiento científico de la diversidad de anfibios en un gradiente altitudinal de la Sierra Madre Oriental, sino que también servirán como base para el desarrollo de iniciativas educativas y de conservación que involucren activamente a la comunidad en la protección de su riqueza biológica.

4. HIPÓTESIS

La diversidad de anfibios en Miquihuana, Tamaulipas, disminuirá conforme aumente la altitud a lo largo del gradiente de 1000 a 3000 m s.n.m., debido a variaciones en variables ambientales como la temperatura, humedad y disponibilidad de microhábitats; además, la identificación de los sitios con mayor riqueza y condiciones ambientales favorables permitirá generar información clave para la conservación local y para el diseño de estrategias de educación ambiental dirigidas a la comunidad.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Analizar y relacionar la diversidad de anfibios a través de un gradiente altitudinal de 1000 a 3000 m.s.n.m., con variables ambientales y el desarrollo de estrategias para implementarlas en actividades de educación ambiental que incentiven el aprendizaje en la comunidad de Miquihuana, Tamps.

5.2. Específicos

- 5.2.1 Elaborar un mapa de riqueza de las especies de anfibios reportadas en Miquihuana, con base en la modelación de la distribución de estas especies, con el fin de guiar los esfuerzos de muestreo.
- 5.2.2 Corroborar la presencia de anfibios en campo en los distintos gradientes altitudinales y determinar la similitud de nicho entre las especies de anfibios de Miquihuana, Tamaulipas.
- 5.2.3 Diseñar material educativo sobre la importancia y conservación de anfibios para implementarlo en actividades de educación ambiental que incentiven el aprendizaje en la comunidad de Miquihuana, Tamaulipas.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Área de estudio

El municipio de Miquihuana se ubica en la porción suroeste del estado de Tamaulipas dentro de la Sierra Madre Oriental (SMO) (Figura 1), su extensión territorial es de 1,055.88 kilómetros cuadrados, lo que representa el 1.13 % de la superficie estatal, colinda al norte y al oeste con el estado de Nuevo León; al sur con el municipio de Bustamante y al este con el de Jaumave. La cabecera se encuentra en la villa de Miquihuana, entre los 23°33' latitud norte y los 99°48' longitud oeste, a una altitud de 1.892 metros sobre el nivel del mar. Forma parte del ANP "Paisaje Natural de La Mariposa Monarca", que incluye también a otros municipios como Antiguo Morelos, Bustamante, Jaumave, Nuevo Morelos, Ocampo, Palmillas y Tula. El ANP cuenta con una superficie de 555,737.22 hectáreas (ha), de las cuales, 88,479.71 ha corresponden a Miquihuana (Figura 2).



Figura 1. Localización del Municipio de Miquihuana, Tamaulipas.

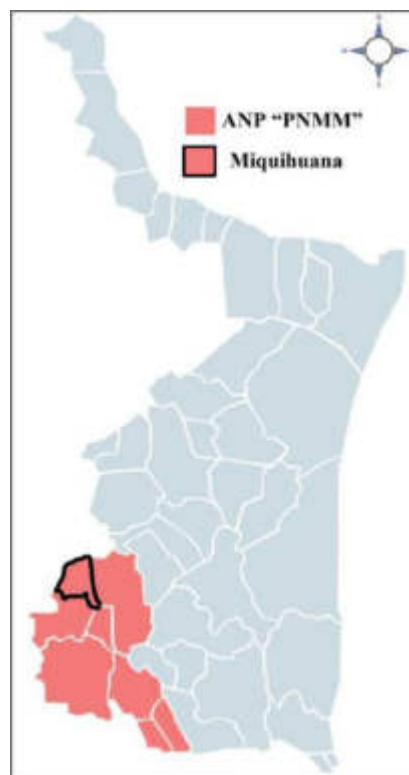


Figura 2. Delimitación del ANP Estatal "Paisaje Natural de la Mariposa Monarca".

6.1.1 Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen-Geiger modificada por Enriqueta García (1964) para México, el municipio de Miquihuana, en el estado de Tamaulipas, presenta principalmente climas secos, templados, y extremoso con lluvias en verano, debido a su ubicación en la SMO. Las temperaturas mínimas son de -11°C y las máximas de 41°C.

El régimen de lluvias es de julio a septiembre con precipitaciones pluviales de 500 a 700 milímetros; los meses más calurosos son de mayo a agosto, siendo la dirección dominante la de los vientos del sureste y suroeste, salvo en invierno que predominan los del norte.

6.1.2 Tipos de vegetación

El municipio de Miquihuana, se caracteriza por presentar una alta diversidad vegetal asociada a la variación altitudinal y a la transición entre ambientes áridos y templados (Requena-Lara et al., 2019). En las zonas de menor altitud predominan los ecosistemas áridos, mientras que en las partes altas de la sierra se desarrollan comunidades forestales templadas, lo que favorece la presencia de una notable heterogeneidad de hábitats (Rzedowski, 2006).

En las zonas bajas y laderas secas del municipio se encuentra principalmente el matorral xerófilo, particularmente el matorral desértico rosetófilo, el cual constituye una de las comunidades vegetales más representativas de la región. Este tipo de vegetación está compuesto por especies adaptadas a condiciones de aridez, altas temperaturas y baja disponibilidad de agua. Asimismo, gran parte del territorio municipal está cubierto por matorral espinoso y matorral bajo espinoso, los cuales dominan extensas áreas con suelos poco profundos y condiciones climáticas secas (Gobierno del Estado de Tamaulipas, 2022–2028).

A medida que aumenta la altitud, las condiciones ambientales favorecen el desarrollo de comunidades vegetales más complejas. En zonas intermedias se presenta el bosque de *Quercus* (encino), el cual se distribuye en áreas montañosas con condiciones templadas. También se han registrado sitios con mayor disponibilidad de humedad, como cañadas y barrancas, donde se desarrollan elementos de bosque mesófilo de montaña, caracterizados por condiciones microclimáticas más estables y húmedas (Rzedowski, 2006; Requena-Lara et al., 2019).

En las partes más elevadas de la sierra se localizan los bosques de coníferas, que incluyen principalmente bosques de pino (*Pinus spp.*) y táscate (*Juniperus spp.*), así como comunidades mixtas de pino-encino, como las presentes en el Ejido Marcela. Estas comunidades se desarrollan en condiciones templado-frías y representan uno de los ecosistemas forestales más importantes del municipio. Asimismo, se ha documentado la presencia de vegetación relictas, incluyendo poblaciones aisladas de oyamel (*Abies spp.*), las cuales constituyen remanentes de condiciones climáticas pasadas y poseen un alto valor ecológico (Requena-Lara et al., 2019).

En términos generales, desde el norte hacia el este del municipio se distribuyen bosques de coníferas, mientras que el resto del territorio está dominado principalmente por comunidades de matorral xerófilo y espinoso, reflejando el gradiente altitudinal y climático característico de la región (Gobierno del Estado de Tamaulipas, 2022–2028).

Para la descripción de la vegetación en los sitios de monitoreo, se adoptó la clasificación de tipos de vegetación propuesta por Flores et al. (1971), ya que es una de las clasificaciones más empleadas en México, la cual permite una adecuada caracterización de las unidades vegetales a partir de criterios fisonómicos, florísticos y ambientales, facilitando su análisis y comparación en estudios ecológicos.

6.1.3 Clasificación y uso del suelo

La orografía presenta tres formas características de relieve: las zonas accidentadas que se localizan al noreste del municipio, con pendientes que fluctúan entre el 30 y 50 por ciento de terrenos cerriles o escarpados, que abarcan el 77.35% de la superficie municipal; las zonas semiplanas, localizadas al sureste y formadas por terrenos con pendientes del 6 % y que abarcan aproximadamente el 14.44 % restante (INEGI, 2020). El suelo es montañoso y forestal (90 % litosol y xerosol). En el extremo sureste se puede encontrar litosol.

6.2 Metodología

6.2.1 Modelado de nicho ecológico y distribución

6.2.1.1 Listado de especies

Se empleó el listado de especies de anfibios del municipio de Miquihuana, Tamaulipas, registrado en el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB), que es una base de datos y red de información creada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Dicho listado tiene reportadas 18 especies de anfibios dentro del área de estudio, las cuales incluyen cinco especies del orden Caudata: *Aquiloemycea scandens*, *A. cephalica*, *A. galeanae*, *Chiropertrotiton miquihuanus*, *C. cracens*; y trece especies del orden Anura: *Spea multiplicata*, *S. hammondii*, *Scaphiopus couchii*, *Rhynophrurus dorsalis*, *Hypopachus variolosus*, *Gastrophryne olivacea*, *Dryophytes eximius*, *Smilisca baudinii*, *Eleutherodactylus longipes*, *E. guttilatus*, *Anaxyrus punctatus*, *Lithobates berlandieri* y *Craugastor batrachylus*. Se descartaron las especies *Gastrophryne olivacea*, *Craugastor batrachylus*, *Chiropertrotiton cracens*, *Aquiloemycea scandens* y *A. cephalica* por registros insuficientes y/o identificaciones incorrectas dentro del área de estudio, resultando en 13 especies con observaciones válidas dentro del municipio. Ver apartado ANEXOS para fotografías de las especies.

Tabla 1. Registros de anfibios válidos dentro del municipio de Miquihuana y su estado de conservación.

Orden	Familia	Género_Especie	Nombre común	Estado de Conservación	
				NOM-059-SEMARNAT-2010	Lista roja UICN
Caudata	Plethodontidae	<i>Aquiloemycea galeanae</i>	Tlaconete de Galeana	Amenazada (A)	Vulnerable (VU)
		<i>Chiropertrotiton miquihuanus</i>	Tlaconete de patas anchas de Miquihuana.	Protección especial (Pr)	En peligro (EN)

Tabla 1. (cont.) Registros de anfibios válidos dentro del municipio de Miquihuana y su estado de conservación.

Orden	Familia	Género_Especie	Nombre común	Estado de Conservación	
				NOM-059-SEMARNAT-2010	Lista roja UICN
Anura	Bufonidae	<i>Anaxyrus punctatus</i>	Sapo de puntos rojos	No listada (NL)	Preocupación menor (LC)
	Hylidae	<i>Dryophytes eximius</i>	Rana arborícola de montaña	Protección especial (Pr)	Preocupación menor (LC)
		<i>Smilisca baudinii</i>	Rana arborícola mexicana	No listada (NL)	Preocupación menor (LC)
	Eleutherodactylidae	<i>Eleutherodactylus guttilatus</i>	Rana chirriadora punteada	Amenazada (A)	Preocupación menor (LC)
		<i>Eleutherodactylus longipes</i>	Ranita chirriadora de la Huasteca	Amenazada (A)	Preocupación menor (LC)
	Microhylidae	<i>Hypopachus variolosus</i>	Rana termitera, rana ovejera	No listada (NL)	Preocupación menor (LC)
	Ranidae	<i>Lithobates berlandieri</i>	Rana leopardo	Protección especial (Pr)	Preocupación menor (LC)
	Rhinophrynidae	<i>Rhynophrnu dorsalis</i>	Sapo excavador mexicano o sapo de madriguera.	Protección especial (Pr)	Preocupación menor (LC)
	Scaphiopodidae	<i>Scaphiopus couchii</i>	Sapo de espuelas de Couch o sapo cavador	No listada (NL)	Preocupación menor (LC)
		<i>Spea hammondi</i>	Sapo de espuelas occidental	Amenazada (A)	Casi amenazada (NT)
		<i>Spea multiplicata</i>	Sapo de espuelas mexicano	No listada (NL)	Preocupación menor (LC)

Una vez obtenida la lista de las trece especies de anfibios con ocurrencia en el municipio de Miquihuana, se utilizó el mapa de Uso de Suelo y Vegetación modificado por la CONABIO para analizar su posible distribución. Mediante el software QGIS, se realizó el traslape entre los modelos de nicho ecológico de cada especie y dicho mapa, con el objetivo de identificar los tipos de vegetación donde potencialmente pueden encontrarse las especies previamente registradas (CONABIO, 2001). Posteriormente, se llevó a cabo un análisis geoespacial que permitió mapear la distribución potencial de estas especies dentro del municipio. Este análisis consistió en integrar la información de ocurrencia de las especies con los datos de cobertura vegetal, lo que permitió asociar cada especie con los distintos hábitats presentes en la región.

6.2.1.2 Delimitación del área de estudio

La delimitación del área de estudio constituye un paso crítico en la construcción de modelos de distribución de especies (SDM), ya que la extensión y características del área de calibración influyen directamente en la capacidad del modelo para representar adecuadamente el nicho ecológico de la especie, así como en la precisión de sus predicciones (Luna-Peña et al., 2024, Rojas-Soto et al., 2024). En el presente estudio, se definió como área de calibración la Provincia herpetofaunística de la Sierra Madre Oriental (Casas-Andreu & Reyna-Trujillo, 1990 a partir de CONABIO) (Figura 3). A esta delimitación se le aplicó un amortiguador (buffer) de 50 km, el cual fue utilizado como máscara para restringir el espacio geográfico de los predictores ambientales, con el fin de aproximarse al concepto de área accesible (M) dentro del marco BAM (Biótico-Abiótico-Movilidad) (Soberón et al., 2017), la cual representa el espacio geográfico que las especies han podido explorar históricamente en función de sus capacidades de dispersión.

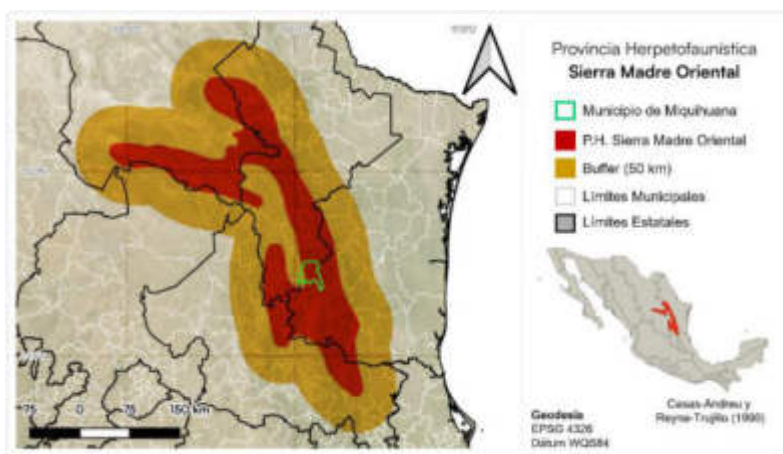


Figura 3. Área de calibración correspondiente a la provincia herpetofaunística de la Sierra Madre Oriental.

6.2.1.3 Coberturas Bioclimáticas

De acuerdo con Buckley y Jetz (2007), algunas de las variables bioclimáticas más relevantes para los anfibios son la temperatura promedio anual, la precipitación del cuatrimestre más seco y la precipitación anual.

Se utilizaron diez variables ambientales: Bio1, Bio3, Bio8, Bio9, Bio12, Bio18, Bio19, Elevación, Productividad primaria neta y Humedad relativa superficial (Tabla 2), obtenidas de la plataforma CHELSA (Climatologies at High Resolution for the Earth's Land Surface Areas), en formato ráster con resolución aproximada de 1 km² y representativas del periodo 1981–2010. Estas se acotaron a la extensión del área de calibración.

Tabla 2. Variables bioclimáticas empleadas como predictores para analizar la distribución potencial de especies de anfibios en Miquihuana, Tamaulipas.	
Variable	Descripción
Bio1	Temperatura media anual (°C).
Bio3	Isotermalidad (Bio2/Bio7) *100; rango de variabilidad diurno-nocturno de temperaturas anuales.
Bio8	Temperatura media del cuartil más lluvioso (°C).
Bio9	Temperatura media del cuartil más seco (°C).
Bio12	Precipitación anual (mm).
Bio18	Precipitación del cuartil más cálido (mm).
Bio19	Precipitación del cuartil más frío (mm).
Elevación	Metros sobre el nivel medio del mar (msnm).
Productividad	Productividad primaria neta en gramos de carbono por metro cuadrado por año (g C m ⁻² yr ⁻¹). Es el carbono fijado por organismos autótrofos (principalmente plantas) después de restar la respiración propia. Representa la biomasa nueva disponible para herbívoros y otros niveles tróficos.
Humedad	Humedad relativa cercana a la superficie (%). Razón entre la cantidad de vapor de agua presente en el aire y la cantidad máxima que el aire puede contener antes de saturarse, considerando el estado de la superficie de agua o hielo.

6.2.1.4 Modelado de distribución potencial y riqueza

Los modelados de distribución de las especies se realizaron en RStudio versión 2025.09.1+401 (Posit, <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>), utilizando el paquete *sdm* versión 1.2-32 (Naimi y Araújo, 2024). Se emplearon dos algoritmos de aprendizaje supervisado: *Random Forest* (RF) (Breiman, 2001) y *Support Vector Machines* (SVM) (Burges, 1998; Vapnik, 1999).

El algoritmo Random Forest utiliza múltiples árboles de decisión generados de manera aleatoria con el objetivo de mejorar la precisión, robustez y estabilidad de las predicciones. Por su parte, Support Vector Machines (SVM) es un algoritmo utilizado en problemas de clasificación y regresión, el cual identifica la frontera de decisión óptima que permite separar las clases de datos de manera eficiente dentro de un espacio multidimensional.

Estos algoritmos fueron seleccionados debido a su capacidad para generar modelos confiables incluso cuando se cuenta con pocos registros de presencia y no se dispone de datos de ausencia reales, condición común en estudios de distribución de especies.

Para cada especie se generaron puntos de pseudoausencia (*background*) en número equivalente a los registros de presencia, los cuales fueron utilizados junto con los predictores ambientales en la calibración de los modelos. Se aplicaron dos esquemas de replicación: *subsampling* (70% entrenamiento, 30% validación) y *bootstrapping*, con 50 iteraciones por algoritmo y tipo de replicación (200 modelos por especie).

El desempeño de los modelos se evaluó mediante el estadístico AUC (área bajo la curva), que mide la capacidad de discriminación entre presencias y ausencias (valores de 0.7 en adelante indican que el modelo es confiable). Adicionalmente, mediante el mismo paquete *sdm* se estimaron umbrales de aceptación específicos para cada especie, los cuales fueron empleados para la reclasificación de las salidas continuas en mapas de presencia potencial.

Una vez generados los mapas de distribución potencial de las especies dentro el municipio de Miquihuana, se realizó un traslape de todas las especies para obtener un mapa de riqueza potencial que fuera de ayuda para seleccionar las áreas de monitoreo en campo.

6.2.2 Presencia y distribución altitudinal

6.2.2.1 Monitoreo en campo

Empleando el mapa de riqueza de especies como base, se seleccionaron 15 sitios de monitoreo, ubicados en diferentes gradientes altitudinales. Se utilizaron áreas de captación de agua para ganado, senderos y la ruta del ejido la Peña hasta el ejido Valle Hermoso, que asciende en el transcurso del camino desde los 1800 m.s.n.m. hasta los 3000 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar). Los monitoreos en campo se llevaron a cabo entre los meses de julio del 2024 y noviembre de 2025, con una duración aproximada de 3 días por salida.

El objetivo de las salidas fue la búsqueda de individuos para corroborar, o en su caso, aumentar el listado de especies de anfibios en la región.

Durante cada salida, se realizaron transectos mediante el método de inventario y muestreo descrito por Campbell & Christman (1982), que consiste en localizar y capturar los ejemplares en el sustrato que estaba siendo utilizado ya sea debajo o sobre las piedras, troncos, vegetación y en sustratos artificiales (paredes, láminas, etc.). Cada transecto tuvo una longitud de 1000 m por 6 m de ancho. Los ejemplares observados fueron fotografiados e identificados utilizando los criterios de Smith & Taylor (1966), Conant & Collins (1998), Crother et al. (2003), Flores-Villela & Canseco-Márquez (2004).

En todos los muestreos se aplicaron las medidas de bioseguridad sugeridas por Martínez-Silvestre y colaboradores (2023), entre las que se incluye el utilizar guantes de nitrilo durante la manipulación de los ejemplares y la desinfección de instrumentos con alcohol al 96% y agua pura. Asimismo, se realizó la desinfección de las botas de campo antes de visitar los diferentes sitios.

La preferencia de microhábitat de cada especie se determinó haciendo la observación del tipo de sustrato en el que se encontró y el tipo de vegetación, tomando como base el estrato arbóreo más predominante en el área en que se encontraron los individuos. Se tomaron las coordenadas, altitud, temperatura y hora del lugar de la observación. Durante la ejecución de los muestreos se procuró causar el menor impacto posible en el microhábitat de los organismos estudiados, reincorporando a los individuos a su sitio original tras la obtención de datos y fotografías, junto con los elementos que ofrecían cobertura en el entorno cercano (Frost et al., 2006).

6.2.3 Interpretación de espacios ambientales y similitud de nicho

Se realizó un análisis de componentes principales (PCA) en el entorno de programación RStudio versión 2025.09.1+401, utilizando las paqueterías *FactoMineR* versión 2.12 (Lê et al., 2008; Husson et al., 2025), *factoextra* versión 1.0.7 (Kassambara et al., 2025) y *ggrepel* versión 0.9.7 (Slowikowski et al., 2024) con el objetivo de identificar y simplificar los principales gradientes ambientales que explican las diferencias entre las condiciones ambientales que prefieren las especies.

Se generó un mapa de calor en el entorno de programación RStudio, utilizando la paquetería *pheatmap* versión 1.0.13 (Kolde, 2025) con el fin de visualizar la relación entre las especies de anfibios y los valores de las variables ambientales seleccionadas (Bio3, Bio9, Bio1, Bio8, Bio12, Bio19, Bio18, Elevación, Humedad y Productividad). Este análisis permitió identificar patrones de asociación y similitud en el espacio ambiental.

Se estimó el grado de solapamiento de nicho ecológico entre las especies mediante el índice de Schoener (D) en el entorno de programación RStudio, utilizando las paqueterías *ks* versión 1.15.1 (Duong et al., 2025) y *dyplr* versión 1.1.4 (Wickham et al., 2023), el cual cuantifica la similitud entre sus distribuciones en el espacio ambiental (Castellanos et al., 2019). Este índice toma valores entre 0 y 1, donde valores cercanos a 1 indican alta similitud y valores cercanos a 0 reflejan diferenciación de nicho (Schoener, 1970).

Con el objetivo de delimitar con mayor precisión las similitudes en los espacios ambientales de las especies, se empleó un dendrograma basado en el índice de Schoener, utilizando una matriz de distancias derivada de los valores de similitud. Este análisis permitió agrupar las especies según la afinidad de sus nichos ecológicos, destacando tanto los conjuntos con condiciones ambientales similares como aquellos con mayor grado de diferenciación. Este fue realizado en el entorno de programación RStudio, utilizando la paquetería *dendextend* versión 1.19.1 (Galili et al., 2025).

Se extrajeron las curvas de respuesta a la elevación para cada especie a partir de los modelos de distribución, en el entorno de programación RStudio y el paquete *sdm*. Para cada especie, se obtuvo la curva de respuesta promediada entre los distintos métodos de modelado mediante la función *getResponseCurve* con el argumento *mean = TRUE*, y los resultados se consolidaron en un archivo combinado en formato .csv para su posterior análisis.

Con el objetivo de visualizar y comparar los rangos altitudinales óptimos entre las especies, se generó un gráfico de crestas o *joyplot*, utilizando las paqueterías *ggplot2* versión 3.5.2 (Wickham et al., 2025), *ggridges* versión 0.5.7 (Wilke, 2025), y *tidyr* versión 1.3.1 (Wickham et al., 2024).

Las curvas de respuesta de cada especie fueron normalizadas al intervalo [0, 1] mediante una transformación min-máx por especie, lo que permitió la comparación directa entre modelos con distintas escalas de idoneidad. A partir de los valores normalizados, se identificó la elevación óptima de cada especie como el punto de máxima idoneidad ($mean_norm = 1$), y se calcularon los umbrales altitudinales correspondientes a una idoneidad relativa de 0.65 mediante interpolación lineal entre puntos consecutivos de la curva. Las especies fueron ordenadas en el eje vertical según su elevación óptima, y la zona de idoneidad superior al umbral de 0.65 fue destacada visualmente mediante sombreado.

6.2.4 Propuesta educativa

El presente proyecto integra herramientas pedagógicas orientadas a la implementación de estrategias y actividades mediante campañas de educación ambiental en instituciones educativas oficiales del sector rural, dirigidas tanto a estudiantes como a docentes. Estas estrategias buscan promover la participación de la comunidad escolar a través de enfoques didácticos que faciliten la comprensión de contenidos relacionados con la biodiversidad y conservación de anfibios de la localidad.

6.2.4.1 Diagnóstico: conocer ideas y necesidades

Las instituciones educativas del municipio de Miquihuana presentan limitaciones en el acceso a infraestructura tecnológica, ya que el servicio de internet disponible es de baja capacidad y funcionamiento intermitente, además, no todos los estudiantes cuentan con dispositivos tecnológicos propios, por lo que el acceso a recursos digitales y herramientas educativas complementarias es restringido. Ante esta situación, tanto docentes como estudiantes optimizan el uso de los recursos disponibles para el desarrollo de las actividades académicas.

Tomando en cuenta lo anterior, se diseñó una herramienta orientada a fortalecer el conocimiento y la sensibilización social respecto a la importancia ecológica de los anfibios de la localidad. Para este estudio de opinión social, se optó por usar una encuesta (cuestionario) impresa en papel como para la obtención de datos.

Como lo sugieren Hernández-Sampeiri et al. (2017) y Alaminos-Fernández (2023), la encuesta se estructuró de tal manera que no fuera larga ni compleja, redactada en un lenguaje sencillo y dirigida a un público en general (infantil, juvenil y adulto) pero que incluyera las variables (preguntas) congruentes y relevantes para los objetivos del estudio. De esta manera, se incluyeron un total de 15 preguntas de las cuales siete (7) son cerradas y delimitadas por tres opciones de respuesta: Si / No / No sé; una (1) es cerrada y delimitada por dos opciones de respuesta: Mujer-Niña / Hombre-Niño; cinco (5) son cerradas con opción múltiple para elección de varias respuestas y dos (2) son preguntas abiertas.

6.2.4.2 Creación de material para educación ambiental en la localidad

Cuadernillo para colorear

A través de la plataforma de diseño gráfico en línea “Canva” se elaboró un cuadernillo para colorear con información biológica y las características distintivas de los anfibios de Miquihuana. Para ello, se seleccionó la información más relevante, incluyendo el nombre común y científico de las especies, su distribución geográfica y los principales factores que afectan su conservación.

Además, se agregaron actividades didácticas, como una sopa de letras, adivinanzas y conectar puntos para crear una figura. Algunas ilustraciones (páginas: 2,3,4,6,7 y 8 del cuadernillo) fueron obtenidas de la plataforma en línea “Supercoloring”, que ofrece una amplia gama de recursos creativos publicados bajo diversas licencias públicas gratuitas.

El material se diseñó en formato blanco y negro, con el propósito de facilitar su uso como ilustraciones para colorear, promoviendo así una mayor interacción y participación del público infantil, y favoreciendo el aprendizaje a través de actividades didácticas.

Actividad interactiva de sonidos e imágenes

Se diseñó una actividad orientada al reconocimiento auditivo de los cantos de anuros (ranas y sapos) de la región llamado, “La misión del canto perdido: adivinando los cantos de ranas y sapos” utilizando botones de entrenamiento comúnmente empleados en caninos como herramienta interactiva.

En cada dispositivo se grabaron las vocalizaciones de diferentes especies de anuros de Miquihuana y se incorporaron las imágenes correspondientes a los organismos que las producen. Para el desarrollo de la actividad de reconocimiento auditivo, se utilizaron grabaciones obtenidas de la Fonoteca de Anfibios de México, una biblioteca digital especializada que reúne registros

sonoros de diversas especies de anuros del país (UNAM, 2020). Este recurso, desarrollado por la Universidad Nacional Autónoma de México permite acceder a vocalizaciones verificadas científicamente, las cuales constituyen una herramienta fundamental para la identificación de especies en campo y para el fortalecimiento del aprendizaje sobre la diversidad de anfibios.

Infografía

A través de la plataforma Google NotebookLM, se diseñó una infografía con imágenes e información relativa a la diversidad de anfibios en Miquihuana, ambientes y alturas donde se encuentran, función ecológica de los anfibios y acciones para su conservación.

7. RESULTADOS

7.1. Diversidad y distribución potencial de anfibios en Miquihuana

Se emplearon 4,310 registros para el modelado de las 13 especies de anfibios. Todos los modelados obtuvieron un valor de AUC superior a 0.7 lo cual indica que el modelo es confiable.

Tabla 3.

Tabla 3. Resumen de atributos de modelación.				
Especie	Registros	Modelo	AUC	Umbral de Aceptación
<i>A. galeanae</i>	205	rf	0.95	0.22238
		svm	0.94	
<i>A. punctatus</i>	689	rf	0.76	0.30739
		svm	0.72	
<i>D. eximius</i>	105	rf	0.93	0.38033
		svm	0.93	
<i>C. miquihuanus</i>	27	rf	0.99	0.85245
		svm	0.97	
<i>E. gutttilatus</i>	49	rf	0.71	0.53874
		svm	0.73	
<i>E. longipes</i>	178	rf	0.88	0.32802
		svm	0.86	
<i>H. variolosus</i>	61	rf	0.87	0.22188
		svm	0.86	
<i>L. berlandieri</i>	1130	rf	0.83	0.29583
		svm	0.76	
<i>R. dorsalis</i>	38	rf	0.83	0.23042
		svm	0.83	
<i>S. baudinii</i>	587	rf	0.94	0.21408
		svm	0.91	
<i>S. couchii</i>	607	rf	0.83	0.27657
		svm	0.77	
<i>S. hammondii</i>	51	rf	0.84	0.51206
		svm	0.79	
<i>S. multiplicata</i>	583	rf	0.84	0.31629
		svm	0.77	

AUC= Area Under Curve; rf= random forest; svm=support vector machines

En las Figuras 4 a la 16 se muestran los mapas con los modelados de distribución potencial obtenidos para cada una de las trece especies de anfibios.

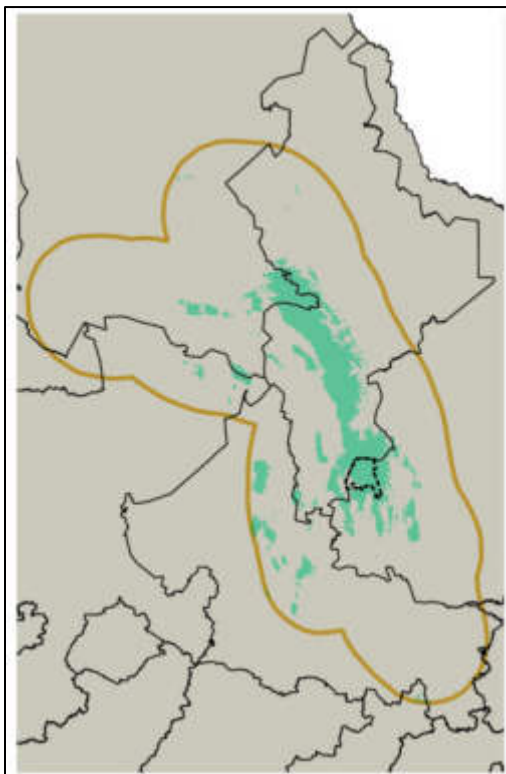


Figura 4. Mapa de modelado de distribución potencial de *Aquiloeurycea galeanae*.

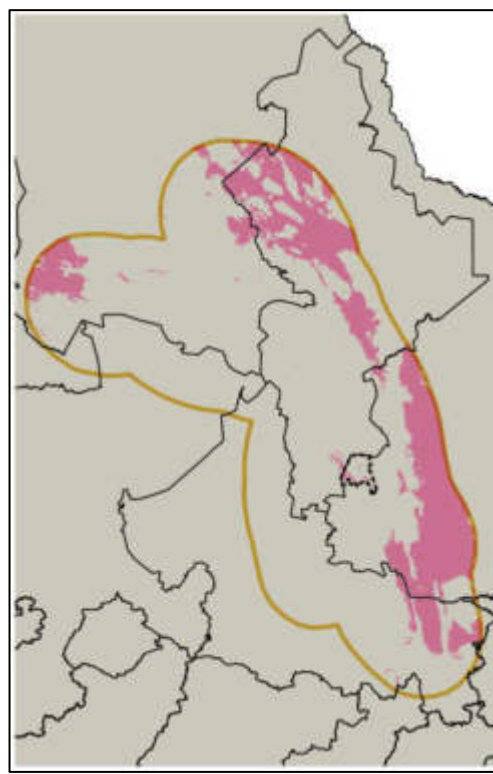


Figura 5. Mapa de modelado de distribución potencial de *Scaphiopus couchii*.

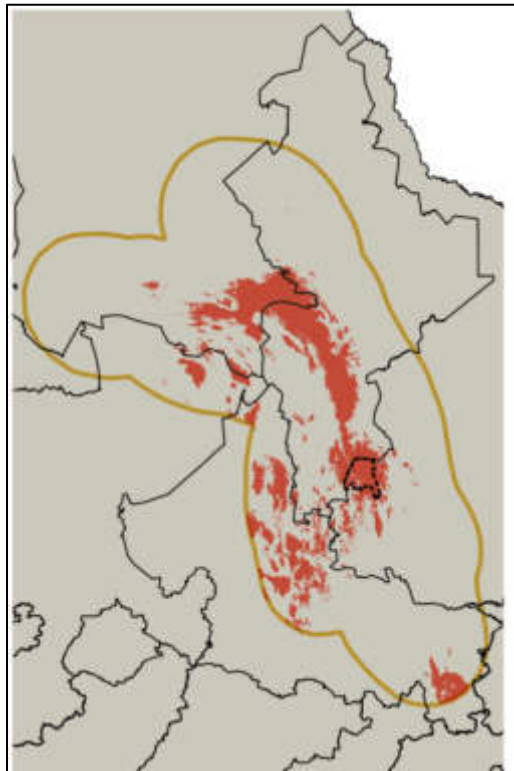


Figura 6. Mapa de modelado de distribución potencial de *Spea multiplicata*.

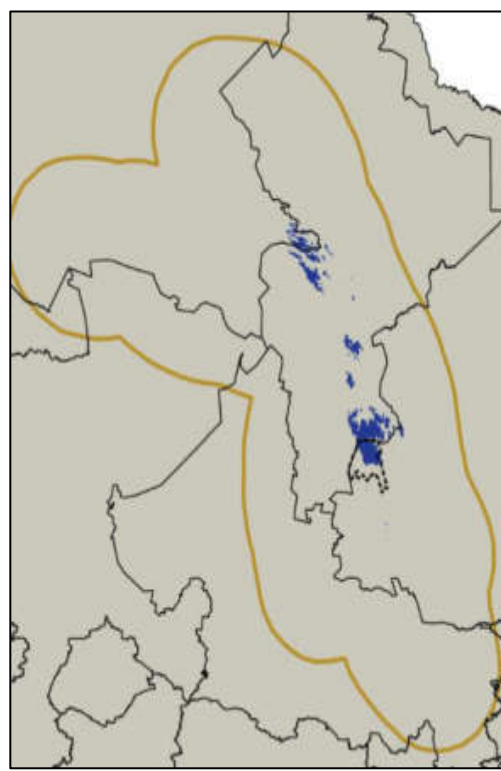


Figura 7. Mapa de modelado de distribución potencial de *Chiropterotriton miquihuanus*.

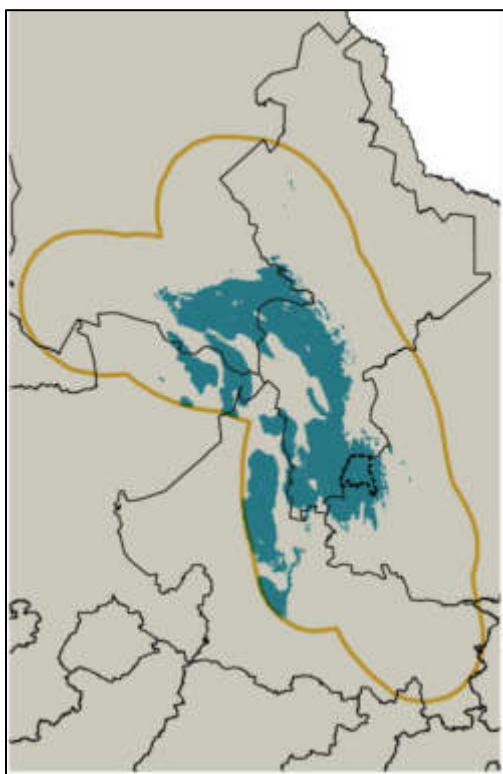


Figura 8. Mapa de modelado de distribución potencial de *Spea hammondi*.

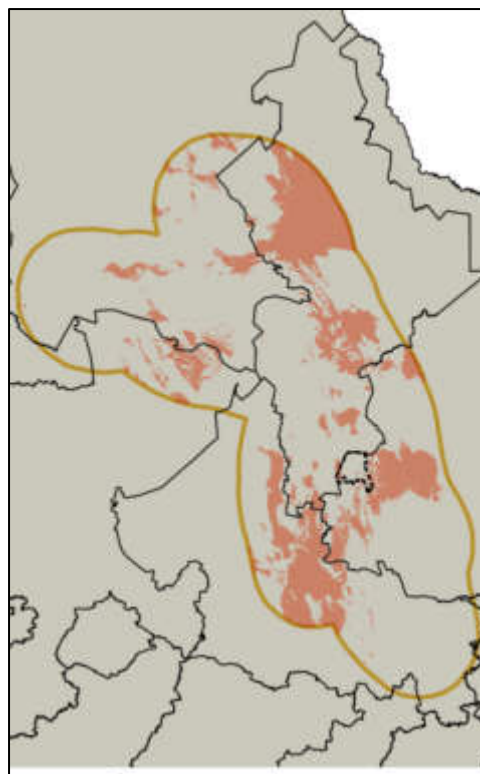


Figura 9. Mapa de modelado de distribución potencial de *Anaxyrus punctuatus*.

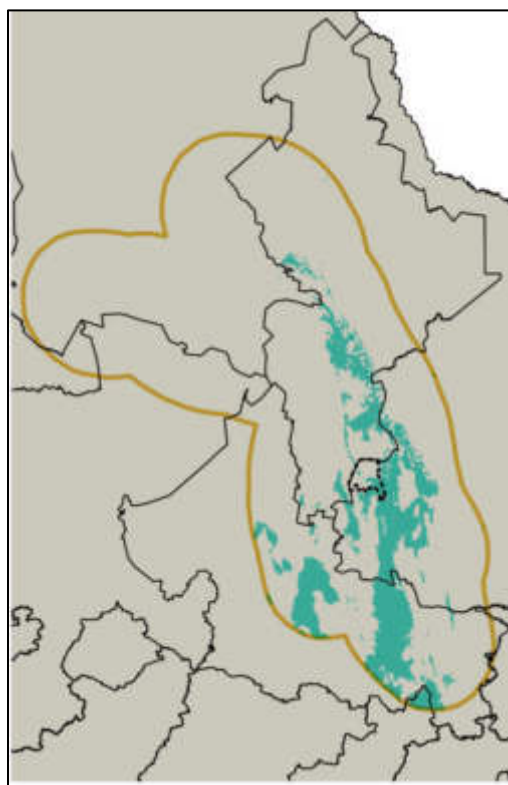


Figura 10. Mapa de modelado de distribución potencial de *Dryophytes eximius*.

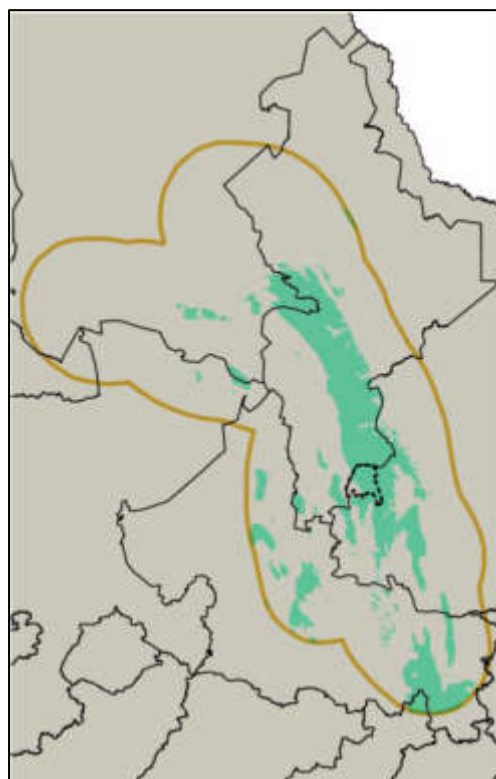


Figura 11. Mapa de modelado de distribución potencial de *Eleutherodactylus guttilatus*.

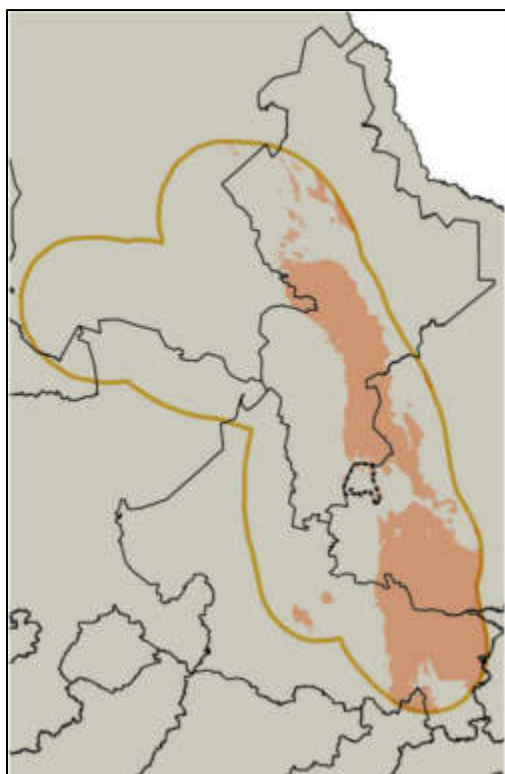


Figura 12. Mapa de modelado de distribución potencial de *Eleutherodactylus longipes*.

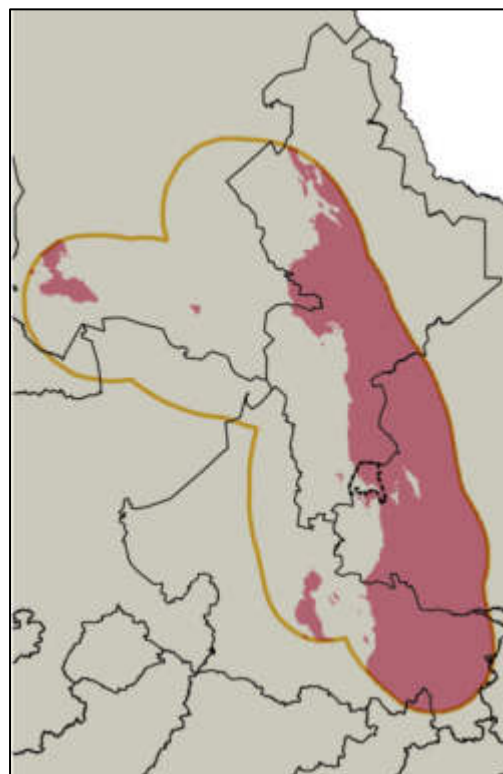


Figura 13. Mapa de modelado de distribución potencial de *Rhinophrynus dorsalis*.

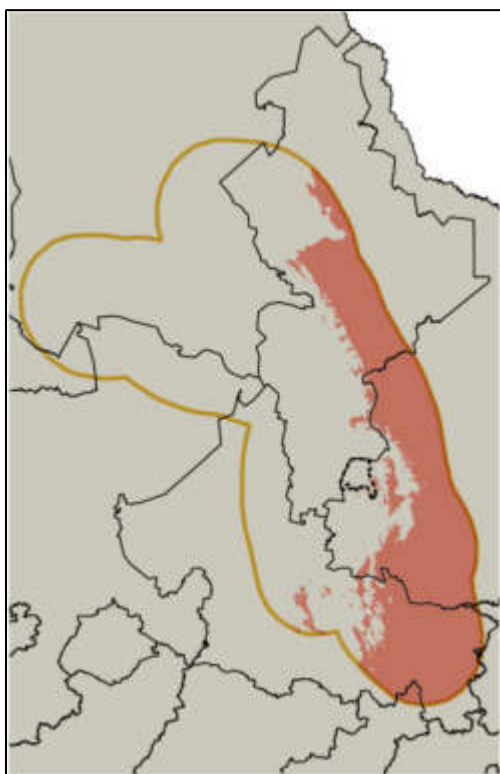


Figura 14. Mapa de modelado de distribución potencial de *Hypopachus variolosus*.

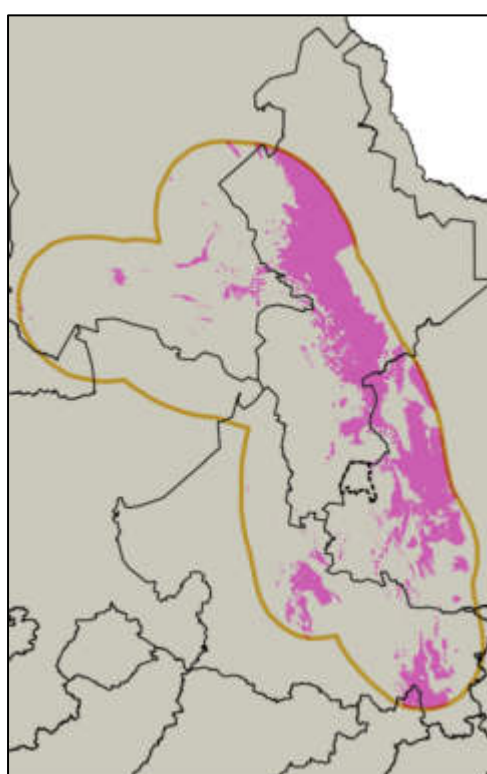


Figura 15. Mapa de modelado de distribución potencial de *Lithobates berlandieri*.

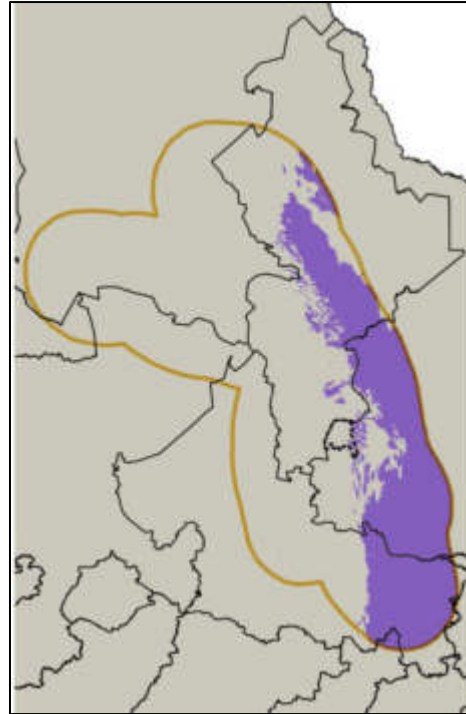


Figura 16. Mapa de modelado de distribución potencial de *Smilisca baudinii*.

En la Figura 17 se muestra el mapa de riqueza y distribución potencial de especies de anfibios para el área de estudio. Los tonos cálidos indican zonas de mayor riqueza mientras que las regiones de menor riqueza se muestran en tonos fríos.

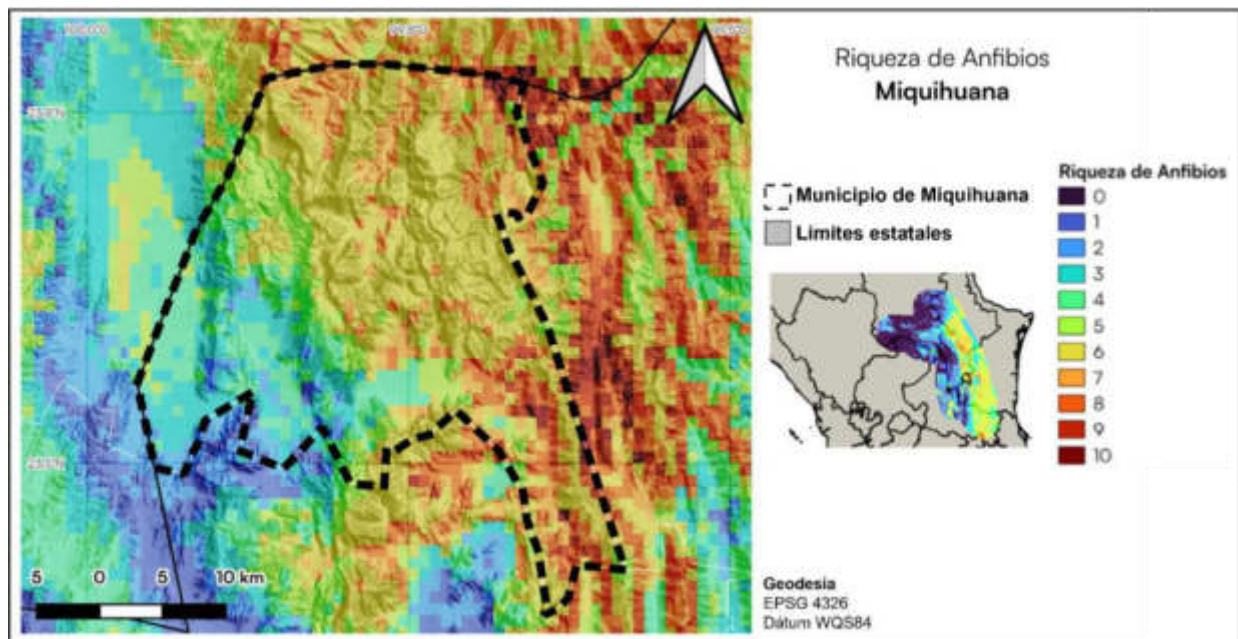


Figura 17. Mapa de riqueza de anfibios en el municipio de Miquihuana, Tamaulipas.

7.2. Monitoreo en campo

Durante los meses de julio del 2024 a noviembre de 2025 se muestrearon 15 sitios ubicados en distintos gradientes altitudinales (Tabla 4). Durante los muestreos se contabilizaron aproximadamente 228 individuos de 6 especies de anfibios, Orden Caudata: *Aquiloephyrea galeanae* (6), *Chiropterotriton miquihuanus* (20); Orden Anura: *Dryophytes eximius* (1), *Anaxyrus punctatus* (1), *Spea multiplicata* (+100) y *Lithobates berlandieri* (+100) siendo las últimas dos las más abundantes ya que muchos de sus individuos se encontraron en etapa larval (renacuajos) (Figura 18). Ver apartado ANEXOS para fotografías de los sitios de monitoreo y las especies identificadas.

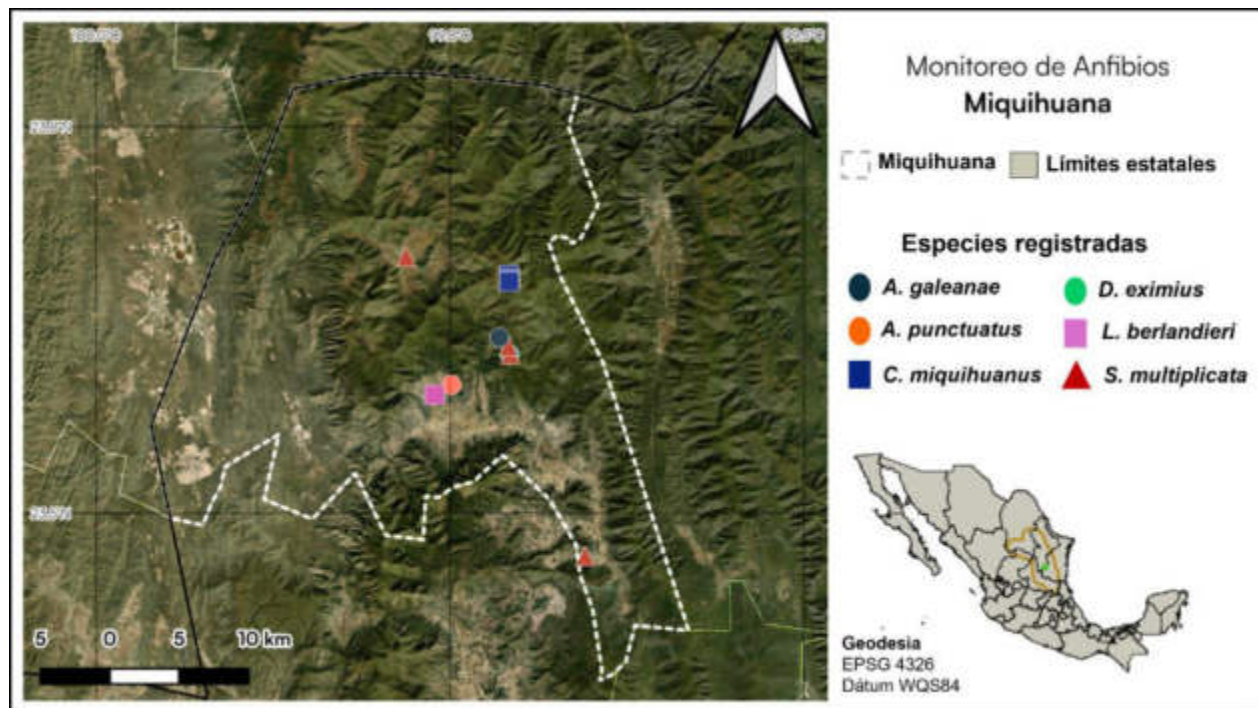


Figura 18. Presencia de especies de anfibios en el municipio de Miquihuana 2024-2025.

Tabla 4. Sitios de muestreo de anfibios en el municipio de Miquihuana 2024-2025.

Sitio	Localidad	Coordenadas	Elevación	Tipo de vegetación (representativa)	Anfibios identificados	Notas
1	Palmillas	23°21'03"N 99°31'23"O	1130 m.s.n.m	Vegetación riparia: <i>Albizia sp.</i> , <i>Prosopis glandulosa</i> , <i>Platanus occidentalis</i> , <i>Populus sp.</i> y <i>Washingtonia robusta</i>	<i>Lithobates berlandieri</i>	Balneario en río temporal bajo puente. Sin presencia de otros vertebrados acuáticos.
2	Altamira	23°26'57"N 99°37'38"O	1700 m.s.n.m	Matorral submontano: <i>Leucophyllum frutescens</i> , <i>Opuntia spp.</i> , <i>Prosopis laevigata</i> , <i>Yucca carnerosana</i> y <i>Yucca treculeana</i>		Abrevadero para ganado. Presencia de tortugas acuáticas del género <i>Kinosternon sp.</i>
3	Rancho Joya Quemada	23°28'43"N 99°38'51"O	1700 m.s.n.m	Matorral submontano: <i>Acacia farnesiana</i> , <i>Agave lechuguilla</i> , <i>Dasyllirion texanum</i> , <i>Echinocactus platyacanthus</i> , <i>Leucophyllum frutescens</i> , <i>Opuntia spp.</i> , <i>Prosopis laevigata</i> , <i>Yucca carnerosana</i> , y <i>Yucca filifera</i>	<i>Spea multiplicata</i>	Abrevadero para ganado y fauna silvestre. Área importante de reproducción y desarrollo de <i>Spea multiplicata</i> .

Tabla 4 (cont.). Sitios de muestreo de anfibios en el municipio de Miquihuana 2024-2025.

Sitio	Localidad	Coordenadas	Elevación	Tipo de vegetación (representativa)	Anfibios identificados	Notas
4	La Peña	23°33'32"N 99°41'15"O	1820 m.s.n.m	Matorral rosetófilo con elementos de bosque encino-pino: <i>Agave spp.</i> (Incluye <i>A. gentryi</i> , <i>A. montana</i> y <i>A. scabra</i>), <i>Dasyllirion spp.</i> (Incluye <i>D. quadrangulatum</i> , <i>D. miquihuanense</i> y <i>D. texanum</i>), y <i>Pinus cembroides</i>		Área con influencia antrópica.
5	Miquihuana	23°34'59.0"N 99°44'55.0"O	1940 m.s.n.m	Matorral rosetófilo: <i>Asclepias linaria</i> , <i>Leucophyllum frutescens</i> y <i>Pinus cembroides</i>	<i>Anaxyrus punctatus</i>	Abrevadero para ganado.
6	La Peña cañón	23°35'18"N 99°42'24"O	2330 m.s.n.m	Matorral rosetófilo con elementos de bosque de encino-pino: <i>Agave spp.</i> (Incluye <i>A. montana</i> , <i>A. gentryi</i> y <i>A. scabra</i>), <i>Bletia mexicana</i> , <i>Dasyllirion spp.</i> (Incluye: <i>D. texanum</i> , <i>D. miquihuanense</i> y <i>D. quadrangulatum</i>) y <i>Govenia sp.</i>		Cañón. Zona inundable en temporal.

Tabla 4 (cont.). Sitios de muestreo de anfibios en el municipio de Miquihuana 2024-2025.

Sitio	Localidad	Coordenadas	Elevación	Tipo de vegetación (representativa)	Anfibios identificados	Notas
7	Joya 1 bosque	23°36'07"N 99°42'26"O	2640 m.s.n.m	Bosque encino-pino: <i>Agave scabra</i> , <i>Arbutus xalapensis</i> , <i>Picea martinezii</i> , <i>Pinus spp.</i> (Incluye <i>P. cembroides</i> , <i>P. hartwegii</i> , <i>P. montezumae</i> y <i>P. nelsonii</i>) y <i>Quercus spp.</i> (Incluye <i>Q. greggii</i> y <i>Q. miquihuanensis</i>)	<i>Spea multiplicata</i>	Dosel arbóreo relativamente cerrado o semiabierto. Hojarasca abundante, lo que contribuye a la retención de humedad y a la formación de microhábitats.
8	Joya 1 valle	23°36'10"N 99°42'28"O	2640 m.s.n.m	Bosque encino-pino: <i>Eleocharis palustris</i> y <i>Pinus spp.</i> (Incluye <i>P. cembroides</i> , <i>P. hartwegii</i> , <i>P. montezumae</i> y <i>P. nelsonii</i>)	<i>Dryophytes eximius</i> , <i>Spea multiplicata</i>	Área deforestada para pastoreo de ganado. Es un lugar de zonas inundables por temporal.
9	Joya 2 bosque	23°36'11"N 99°42'31"O	2640 m.s.n.m	Bosque encino-pino: <i>Agave scabra</i> , <i>Arbutus xalapensis</i> , <i>Pinus spp.</i> (Incluye <i>P. cembroides</i> , <i>P. hartwegii</i> , <i>P. montezumae</i> y <i>P. nelsonii</i>), <i>Quercus spp.</i> (Incluye <i>Q. greggii</i> y <i>Q. miquihuanensis</i>)	<i>Spea multiplicata</i>	

Tabla 4 (cont.). Sitios de muestreo de anfibios en el municipio de Miquihuana 2024-2025.

Sitio	Localidad	Coordenadas	Elevación	Tipo de vegetación (representativa)	Anfibios identificados	Notas
10	Antena	23°36'39"N 99°42'43"O	2660 m.s.n.m	Bosque de pino: <i>Agave montana</i> , <i>Arbutus xalapensis</i> y <i>Pinus</i> spp. (Incluye <i>P. cembroides</i> , <i>P. hartwegii</i> , <i>P. montezumae</i> y <i>P. nelsonii</i>)	<i>Aquiloephycea galeanae</i>	Dosel arbóreo relativamente cerrado o semiabierto.
11	Camino con charcas	23°37'16"N 99°42'27"O	2840 m.s.n.m	Bosque de pino: <i>Pinus</i> spp. (Incluye <i>P. cembroides</i> , <i>P. hartwegii</i> , <i>P. montezumae</i> y <i>P. nelsonii</i>)	<i>Aquiloephycea galeanae</i>	Área de pastoreo de ganado, a un lado del camino.
12	Entrada a La Joyas	23°39'43.7"N 99°42'49.4"O	3000 m.s.n.m	Bosque encino-pino: <i>Pinus</i> spp. (Incluye <i>P. cembroides</i> , <i>P. hartwegii</i> , <i>P. montezumae</i> y <i>P. nelsonii</i>), <i>Quercus</i> spp. (Incluye <i>Q. greggii</i> y <i>Q. miquihuanaensis</i>) y <i>Nolina hibernica</i>	<i>Chiropterotriton miquihuanae</i>	Área con perturbación antropogénica por tránsito de vehículos todoterreno.
13	Las Joyas Cabañas	23°39'7"N 99°42'30"O	2980 m.s.n.m.	Bosque de pino: <i>Pinus</i> spp. (Incluye <i>P. cembroides</i> , <i>P. hartwegii</i> , <i>P. montezumae</i> y <i>P. nelsonii</i>)	<i>Chiropterotriton miquihuanae</i>	Área con disturbio antropogénico asociado a actividades turísticas y alta susceptibilidad a incendios.

Tabla 4 (cont.). Sitios de muestreo de anfibios en el municipio de Miquihuana 2024-2025.

Sitio	Localidad	Coordenadas	Elevación	Tipo de vegetación (representativa)	Anfibios identificados	Notas
14	El Aserradero	23°40'45"N 99°45'24"O	2500 m.s.n.m	Bosque de pino: <i>Pinus spp.</i> (Incluye <i>P. cembroides</i> , <i>P. hartwegii</i> , <i>P. montezumae</i> y <i>P. nelsonii</i>)		Abrevadero para ganado.
15	Vallehermoso	23°40'01"N 99°47'05"O	2410 m.s.n.m	Bosque de pino: <i>Pinus spp.</i> (Incluye <i>P. cembroides</i> , <i>P. hartwegii</i> , <i>P. montezumae</i> y <i>P. nelsonii</i>)	<i>Spea multiplicata</i>	Zona de agricultura, principalmente cultivos de: avena, cebada y trigo. Zona de inundación en temporada de lluvias.

7.3 Interpretación de espacios ambientales y similitud de nicho

7.3.1 Análisis de Componentes Principales

Los resultados del Análisis de Componentes Principales (PCA) muestran que los dos primeros componentes concentran cerca del 80% de la variación total (Dim1 = 63.5% y Dim2 = 17.1%), lo que indica que el biplot representa de manera adecuada tanto las relaciones entre las variables ambientales como la respuesta de los modelos para cada especie (Figura 19).

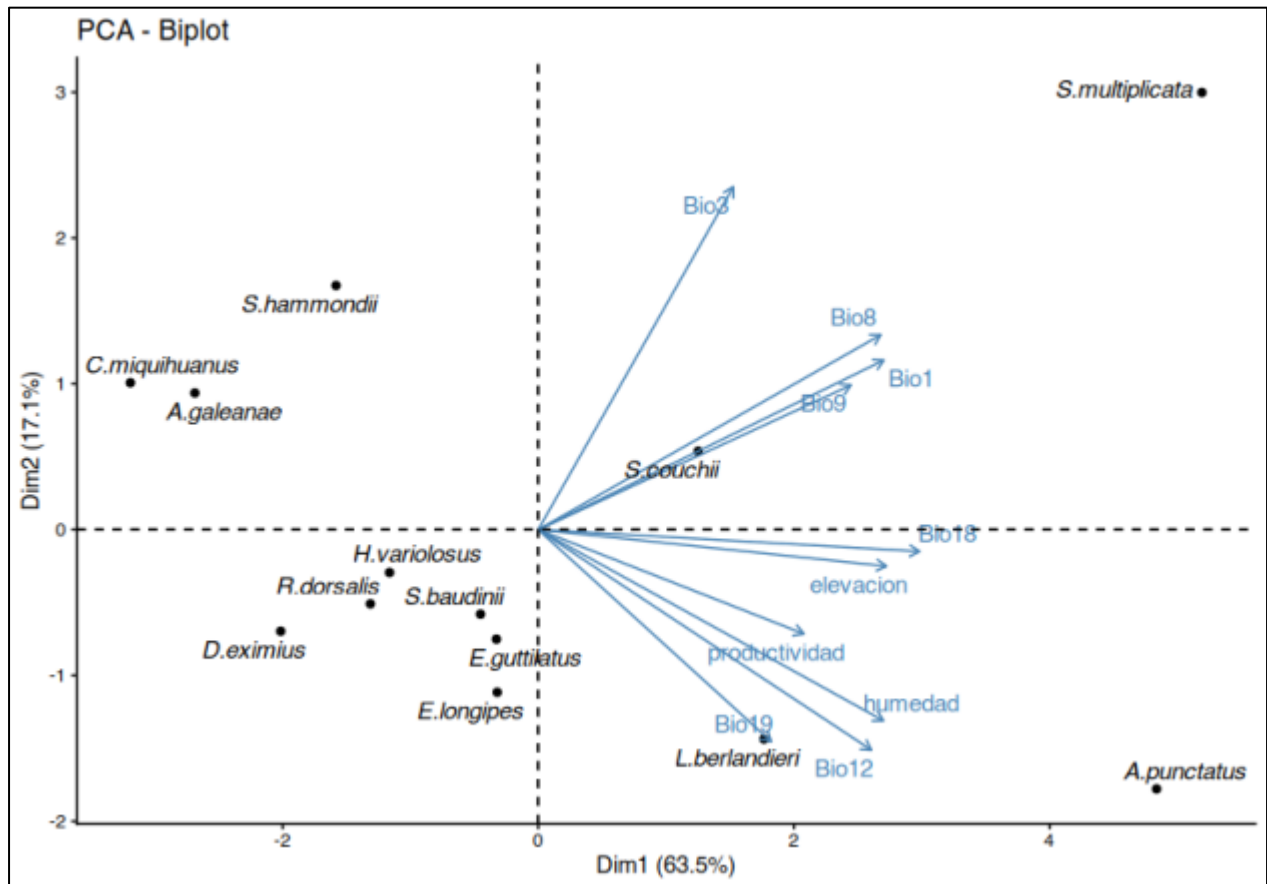


Figura 19. Biplot del Análisis de Componentes Principales (PCA).

La Dim1 (eje horizontal) agrupó las variables Bio12 (precipitación anual), Bio19 (precipitación del trimestre más frío), Productividad y Elevación. Estas variables apuntan hacia la derecha, lo que significa que especies ubicadas en ese lado están asociadas con mayor precipitación, mayor productividad y elevaciones más altas. La Dim2 (eje vertical) agrupó las variables Bio3 (isotermalidad), Bio1, Bio8 y Bio9 (temperaturas medias estacionales); las especies en posiciones más altas del eje muestran relación con variabilidad térmica. Ver Tabla 5.

Tabla 5. Interpretación de los cuadrantes del PCA.

Especies a la derecha del PCA
(alta precipitación / mayor productividad / mayor elevación)

Anaxyrus punctatus (muy extremo): el modelo está fuertemente asociado a condiciones húmedas y elevadas, diferenciándose del resto.

Lithobates berlandieri y *Eleutherodactylus longipes*: vinculadas a altitudes elevadas y alta humedad.

Especies al centro
(valores intermedios)

La mayoría de los anuros comunes (Ej. *Smilisca baudinii*, *Hypopachus variolosus*, *Eleutherodactylus guttillatus*) se agrupan cerca del origen, indicando que no dependen fuertemente de un solo gradiente ambiental.

Especies a la izquierda
(condiciones más secas o menos extremas)

Dryophytes eximius, *Rhinophrynus dorsalis*

Asociadas a menores niveles de humedad y/o elevaciones más bajas.

Especies hacia arriba
(alta isothermalidad y variabilidad térmica)

Spea hammondii, *Aquiloerycea galeanae*

Estas especies parecen responder a variaciones de temperatura más que a gradientes de humedad.

Especies muy dispersas
(nichos ambientales particulares)

Spea multiplicata

Aparece aislada hacia la esquina superior derecha, indicando una fuerte preferencia por ambientes con alta humedad y gran variabilidad térmica, lo que concuerda con su actividad explosiva después de lluvias.

7.3.2 Asociaciones entre especies y variables bioclimáticas

La Figura 20, muestra el mapa de calor y los dendrogramas derivados que agrupan especies y variables bioclimáticas de acuerdo con su similitud ambiental. Al realizar un análisis detallado de estos dendrogramas se pueden encontrar los siguientes patrones (Tabla 6):

- A) Las especies forman tres grupos principales, determinados por la temperatura (Bio3, Bio9), la humedad y la elevación.
- B) Las variables ambientales también se agrupan, indicando que algunas influyen de forma similar sobre las especies, por ejemplo, Bio19 y Bio18 están muy correlacionadas.
- C) No todas las especies responden igual a los gradientes altitudinales, lo que confirma diferencias claras en sus nichos ecológicos.

Tabla 6. Asociaciones entre especies y variables bioclimáticas.

Especies asociadas a temperaturas altas o variabilidad térmica

Aquiloephycea galeanae, *Scaphiopus couchii*, *Spea multiplicata* y *Chiropterotriton miquihuanus*

Muestran colores cálidos en Bio3 (isotermalidad) y Bio9 (temperatura mínima del mes más seco), lo que indica que están adaptadas a ambientes con alta variación térmica, ya sea por altitud (en el caso de *C. miquihuanus*) o por estacionalidad extrema (como *S. couchii* y *S. multiplicata*).

Especie asociada a elevaciones altas

Chiropterotriton miquihuanus

Esta especie muestra valores positivos en elevación, lo que sugiere especialización en ambientes de montaña, fríos, húmedos y con baja variabilidad diaria.

Especies asociadas a alta humedad y precipitación

Lithobates berlandieri, *Smilisca baudinii*, *Rhinophrynus dorsalis*

Estas especies tienen valores cálidos en Bio12 (precipitación anual) y Bio19 (precipitación del trimestre más frío), lo cual refleja su afinidad por ambientes húmedos o con presencia de cuerpos de agua.

Especies asociadas a climas secos y cálidos

Anaxyrus punctatus, *Hypopachus variolosus*

Presentan valores fríos en variables de humedad y calidez en productividad o Bio3, lo que indica nichos secos, cálidos y estacionales, congruente con su ecología de zonas áridas.

Especies generalistas

Eleutherodactylus guttilatus, *Eleutherodactylus longipes*, *Dryophytes eximius*

Tienen un patrón más uniforme (colores neutros en casi todas las variables), lo que sugiere amplios rangos ambientales y menor especialización, permitiéndoles usar hábitats variados.

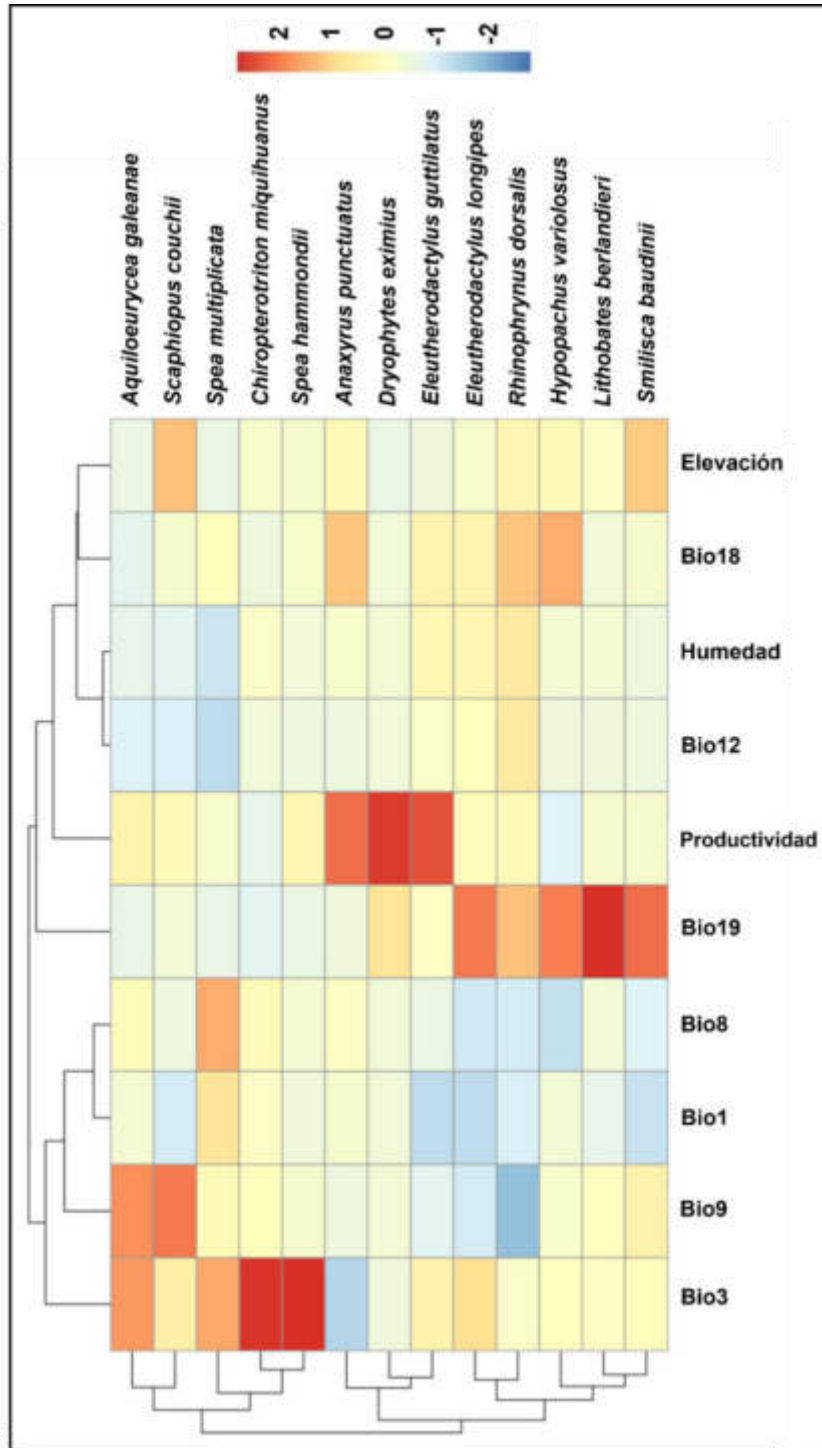


Figura 20. Agrupación de especies por variable bioclimática. Los colores cálidos (rojo) representan valores altos en esa variable para el nicho de esa especie, mientras que los colores fríos (azules) representan valores bajos.

7.3.3 Mapa de superposición de nicho de Schoener

El mapa de superposición de nicho de Schoener (Figura 21) muestra el grado de solapamiento de nicho ecológico entre las especies. Los tonos oscuros indican mayor similitud, mientras que los tonos claros reflejan nichos más diferentes. El índice de Schoener's D varía entre:

1.0 → superposición total (nichos casi idénticos)

0.0 → ningún solapamiento (nichos completamente distintos)

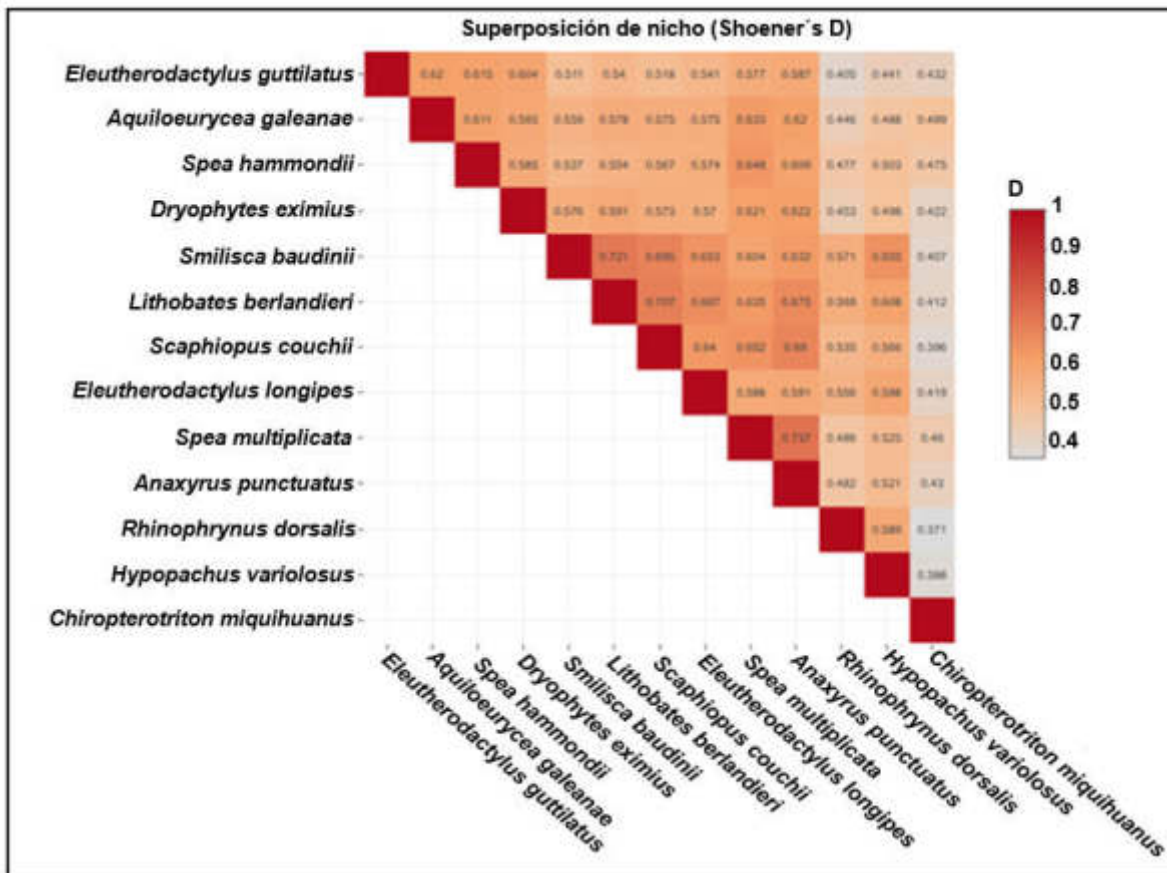


Figura 21. Mapa de superposición de nicho de Schoener.

Los patrones generales que se desprenden del análisis son:

- La diagonal está en rojo oscuro, lo cual confirma que cada especie coincide consigo misma (valor = 1).
- La mayoría de los valores entre especies están en tonos rojo claro a intermedio, indicando que no hay solapamientos extremadamente altos en la comunidad; es decir, cada especie ocupa un nicho relativamente particular.

Especies con mayor similitud de nicho (superposición moderada-alta)

Aunque no hay valores extremadamente altos, algunos pares de especies muestran tonos más oscuros, lo que indica cierto nivel de coincidencia ambiental:

- *Anaxyrus punctatus* y *Spea multiplicata*
- *Smilisca baudinii* y *Lithobates berlandieri*

Estos pares tienden a compartir condiciones ambientales similares, ya sea por usar rangos de elevación parecidos o por preferir climas templados y húmedos.

Especies con nichos muy distintos (superposición baja)

Los tonos más claros indican nichos divergentes, lo cual nos indica especies más aisladas ecológicamente:

- *Chiropterotriton miquihuanus* (presenta valores claros frente a casi todas las demás)

Estas especies muestran nichos únicos:

- *Chiropterotriton miquihuanus* = alta montaña, humedad constante
- *Anaxyrus punctatus* = zonas bajas, áridas y calientes
- *Spea multiplicata* = nicho explosivo ligado a lluvias intensas y suelos temporales

Su baja superposición sugiere alta especialización ambiental.

Interpretación ecológica general

El mapa de superposición de nicho de Schoener indica que:

- A) La comunidad de anfibios de Miquihuana no presenta solapamientos altos, lo que sugiere partición de nicho y reducción de competencia.
- B) Las especies de montaña, especies de zonas bajas y especies oportunistas forman tres bloques ecológicos diferenciados.
- C) Las especies estrictamente de zonas montañosas o áridas son las más ecológicamente aisladas.

7.3.4 Dendrograma de similitud de nicho

El dendrograma agrupó a las especies en cinco clados según la similitud de sus nichos ecológicos. Cuanto más cerca se encuentran dos especies en el árbol, más parecidas son sus condiciones ambientales preferidas; por el contrario, las ramas largas indican nichos muy distintos. Figura 22 y Tabla 7.

El análisis general revela:

- A) Especies afines ecológicamente tienden a agruparse, incluso si no están emparentadas taxonómicamente, lo que muestra que el análisis refleja condiciones ambientales y no parentesco biológico.
- B) Hay grupos claros, donde se encuentran especies de ambientes húmedos, especies de ambientes secos, especies de montaña y especies oportunistas dependientes de lluvias.
- C) *Chiropterotriton miquihuanus* es la especie más especializada del conjunto, con un nicho muy estrecho.
- D) *Spea multiplicata* y *Anaxyrus punctatus* comparten nichos extremos y variables.
- E) Los grupos centrales del dendrograma representan nichos amplios y generalistas.

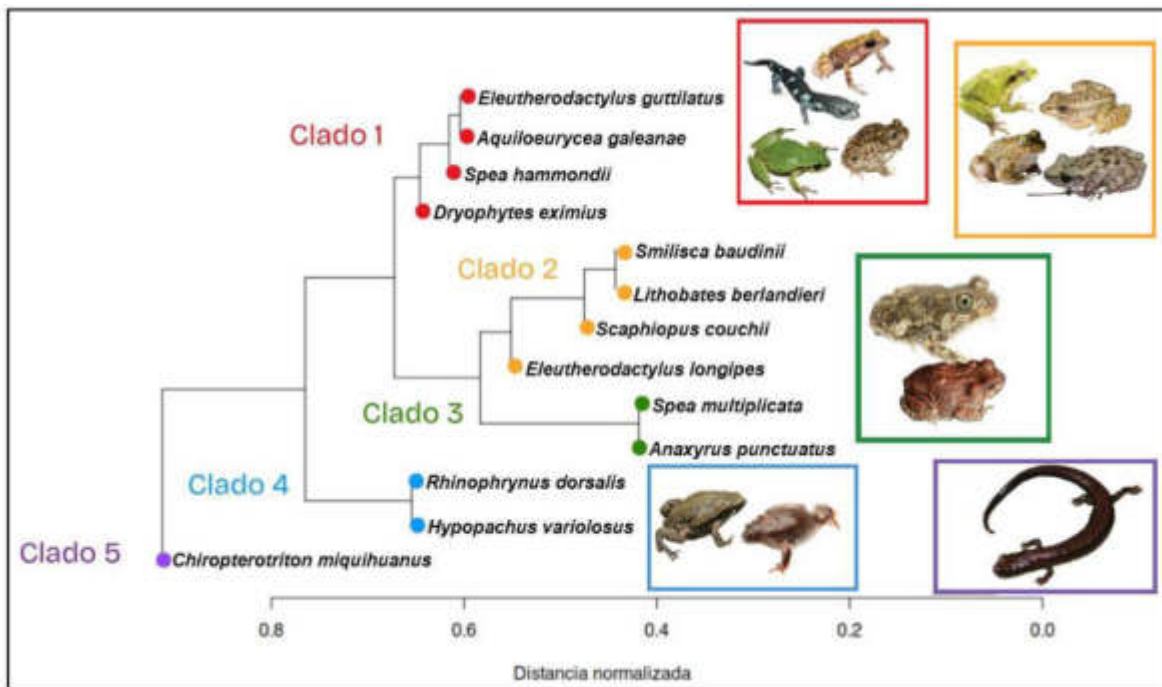


Figura 22. Dendrograma de similitud de nicho.

Tabla 7. Clados de similitud de nichos ecológicos de los anfibios de Miquihuana.

Clado 1: Nichos muy parecidos o grupos cercanos (ramas muy cortas)

Eleutherodactylus guttilatus, *Aquiloerycea galeanae*, *Spea hammondii* y *Dryophytes eximius*

Estas especies comparten condiciones ambientales similares, probablemente en zonas más templadas, con humedad intermedia y cierta estabilidad térmica.

Clado 2: Nichos cálidos-húmedos

Smilisca baudinii, *Lithobates berlandieri*, *Scaphiopus couchii* y *Eleutherodactylus longipes*

Este grupo se asocia a ambientes relativamente húmedos y de mayor disponibilidad de recursos, lo que concuerda con sus hábitos más generalistas.

Clado 3: Nichos secos o de altitud intermedia

Spea multiplicata y *Anaxyrus punctatus*

Este par aparece muy cercano porque ambos prosperan en ambientes muy variables y dependientes de lluvias intensas, lo que concuerda con su biología explosiva reproductiva.

Clado 4: Nichos áridos y estacionales

Rhinophrynus dorsalis y *Hypopachus variolosus*

Ambas especies están adaptadas a suelos sueltos y condiciones estacionales marcadas, lo cual se refleja en su proximidad en el dendrograma.

Clado 5: Especies más aisladas (nichos más únicos)

Chiropterotriton miquihuanus

La especie más distante, aparece como la rama más alejada del resto, indicando que su nicho ambiental es muy distinto al de las demás especies. Esto tiene sentido, ya que es una salamandra de montaña, es muy dependiente de humedad constante y con tolerancias térmicas muy estrictas. Su aislamiento en el dendrograma confirma su especialización.

7.3.5 Curva de respuesta para comparación de distribuciones altitudinales

Se realizó una curva de respuesta por cada especie para posteriormente poder traslaparlas y comparar como se distribuyen en el gradiente altitudinal. Las curvas de respuesta mostraron cómo varía la distribución altitudinal de cada especie a lo largo del gradiente altitudinal del municipio, desde 0 hasta más de 3,000 m s. n. m. Ver Figura 23.

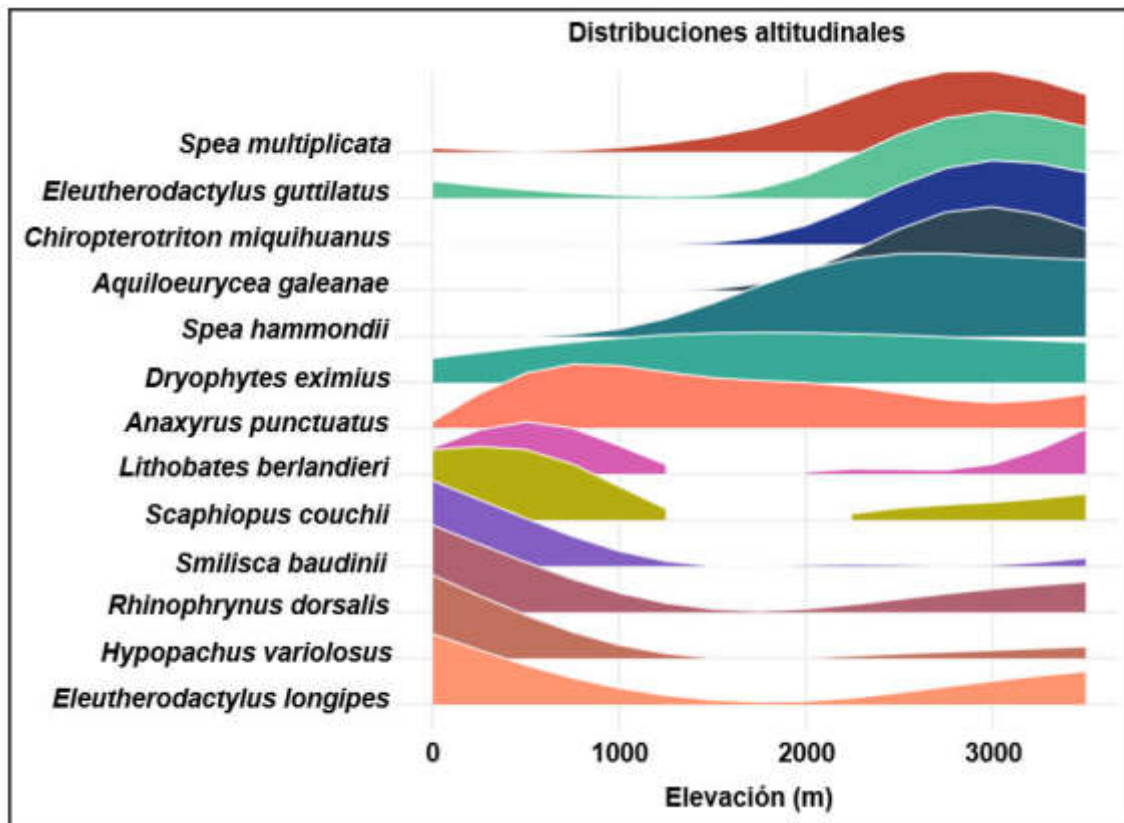


Figura 23. Curva de respuesta para comparar distribuciones altitudinales.

La mayor parte de las especies presenta valores óptimos en elevaciones medias, aproximadamente entre 1,000 y 2,500 m, lo cual coincide con las condiciones templadas y húmedas de la Sierra Madre Oriental. Algunas especies muestran nichos muy marcados, restringidos a bandas altitudinales estrechas, mientras que otras evidencian amplios rangos de tolerancia. Ver Tabla 8.

Tabla 8. Separación de especies de anfibios de Miquihuana de acuerdo con las elevaciones en las que se distribuyen.

Especies de alta montaña (2,400–3,200 m)

Chiropterotriton miquihuanus, *Spea multiplicata* y *Aquiloerycea galeanae*

Estas especies muestran sus máximos valores de idoneidad por encima de los 2,500 m. Esto indica una fuerte dependencia de ambientes fríos, húmedos y con cobertura boscosa, características de la zona más elevada del municipio.

Especies de elevación media (1,200–2,400 m)

Eleutherodactylus guttilatus, *Spea hammondi*, *Dryophytes eximius*

Estas se mantienen estables a lo largo del gradiente, con picos marcados en franjas intermedias. Son especies menos especializadas y capaces de ocupar distintos microhábitats.

Especies de baja a media elevación (hasta 1,800 m)

Lithobates berlandieri, *Eleutherodactylus longipes*, *Anaxyrus punctatus*, *Rhinophrynus dorsalis*,
Hypopachus variolosus, *Smilisca baudinii* y *Scaphiopus couchii*

Estos modelos reflejan preferencia por ambientes más cálidos y secos, propios de las zonas bajas del municipio.

Rhinophrynus dorsalis y *Hypopachus variolosus*, por ejemplo, muestran picos muy bajos, lo cual coincide con su hábito excavadizo y afinidad por suelos arenosos en zonas áridas.

Especies generalistas

Varias curvas aparecen anchas y extendidas, lo que indica tolerancia a múltiples elevaciones. Entre ellas: *Smilisca baudinii*, *E. guttilatus* y *D. eximius*

Son especies que aprovechan una variedad de condiciones ambientales y microhábitats.

7.4. Propuesta educativa

7.4.1. Encuesta

El cuestionario se dividió en cuatro secciones: Datos generales (2 preguntas), Conocimiento general sobre anfibios (5 preguntas), Percepción y conocimiento ecológico (4 preguntas) e Interés en educación ambiental (4 preguntas). El formato para imprimir se encuentra en la sección de ANEXOS. A continuación, se enlistan las preguntas incluidas en la encuesta:

Datos generales

1. **Edad:** _____ años
2. **Sexo:**
☐ Mujer / Niña ☐ Hombre / Niño

Conocimiento general sobre anfibios

3. **¿Has escuchado la palabra “anfibio”?**
☐ Sí ☐ No
4. **¿Sabes qué es un anfibio?**
☐ Sí ☐ No
5. **¿Cuál de estos animales crees que es un anfibio?** *(Puedes elegir varias)*
☐ Rana ☐ Sapo ☐ Salamandra ☐ Lagartija ☐ Tortuga ☐ No sé
6. **¿Has visto anfibios en tu comunidad?**
☐ Sí ☐ No
7. **Si respondiste “sí”, ¿dónde los has visto?** *(Puede elegir varias)*
☐ Río o arroyo ☐ Charcos o estanques ☐ En el monte o bosque ☐ Cerca de mi casa
☐ Otro: _____

Percepción y conocimiento ecológico

8. **¿Crees que los anfibios son importantes para la naturaleza?**
☐ Sí ☐ No ☐ No sé

9. **¿Para qué crees que sirven los anfibios?** *(Puede elegir varias)*

- ☐ Comer insectos (como mosquitos) ☐ Ser alimento para otros animales
- ☐ Indicar si el ambiente está sano ☐ No sirven para nada ☐ No sé

10. **¿Qué haces cuando ves una rana, sapo o salamandra?**
(Puedes elegir varias)

- ☐ La dejo en paz ☐ La observo ☐ Me da miedo ☐ La alejo o la mato
- ☐ Otro: _____

11. **¿Crees que los anfibios pueden ser peligrosos para las personas?**

- ☐ Sí ☐ No ☐ No sé

Interés en educación ambiental

12. **¿Te gustaría aprender más sobre los anfibios?**

- ☐ Sí ☐ No

13. **¿Qué actividades te gustaría hacer en un taller sobre anfibios?** *(Puede elegir varias)*

- ☐ Dibujos para colorear
- ☐ Juegos interactivos
- ☐ Escuchar sonidos de ranas
- ☐ Salidas al campo
- ☐ Pláticas o charlas
- ☐ Videos
- ☐ Manualidades
- ☐ Otro: _____

14. **¿Te gustaría participar con tu familia en actividades sobre la naturaleza?**

- ☐ Sí ☐ No

Pregunta final

15. **¿Qué te gustaría saber sobre los anfibios?**

7.4.2. Materiales para educación ambiental

Cuadernillo para colorear

El cuadernillo consta de 13 páginas (incluyendo portada y contraportada) y se titula: Colorea los anfibios de Miquihuana. En la Figura 24 a y b, se incluye a manera de ejemplo la portada y una de las páginas, el cuadernillo completo se encuentra en la sección de ANEXOS.



Figura 24. a) Portada del cuadernillo para colorear. b) Página no. 1 del cuadernillo para colorear.

Actividad interactiva de sonidos e imágenes

Se grabaron como prueba piloto los sonidos de 4 especies de anfibios presentes en Miquihuana: *Anaxyrus punctatus*, *Dryophytes eximius*, *Lithobates berlandieri* y *Spea multiplicata*. De forma complementaria a la actividad se imprimieron y enmicaron las 4 imágenes correspondientes a las especies (Figuras 25 y 26 a, b, c y d).



Figura 25. Botones entrenadores de mascotas empleados para la grabación de sonidos de anuros de Miquihuana.



Figura 26. a) Imagen de *Anaxyrus punctatus* empleada junto con el sonido grabado en botón.



Figura 26. b) Imagen de *Dryophytes eximius* empleada junto con el sonido grabado en botón.



Figura 26. c) Imagen de *Lithobates berlandieri* empleada junto con el sonido grabado en botón.



Figura 26. d) Imagen de *Spea multiplicata* empleada junto con el sonido grabado en botón.

Infografía

A continuación, se muestra una infografía diseñada como material para educación ambiental.



Figura 27. Infografía sobre la diversidad de anfibios en Miquihuana.

8. DISCUSIÓN

8.1 Nicho Ecológico y Distribución

El presente estudio demuestra que la diversidad de anfibios en el municipio de Miquihuana, Tamaulipas, está fuertemente estructurada a lo largo del gradiente altitudinal, respondiendo principalmente a la interacción entre variables climáticas (precipitación, temperatura y estacionalidad) y topográficas (elevación). El análisis de componentes principales (PCA) permitió identificar que los dos primeros ejes explican aproximadamente el 80% de la variación ambiental, lo que indica que las variables consideradas capturan de manera adecuada los principales gradientes ecológicos que determinan la distribución de las especies. A su vez, los modelos de distribución potencial mostraron un buen desempeño ($AUC > 0.7$), lo cual sugiere que las predicciones obtenidas son confiables para interpretar patrones espaciales de idoneidad ambiental.

En términos de patrón general, se observó que la mayor riqueza y coincidencia de nichos se concentra en elevaciones intermedias, mientras que las zonas de mayor altitud albergan un menor número de especies, pero con mayor grado de especialización. En contraste, las zonas bajas están dominadas por especies con mayor tolerancia a condiciones cálidas y secas. Este patrón evidencia que la diversidad no se distribuye de forma lineal a lo largo del gradiente altitudinal, sino que responde a un comportamiento unimodal o no monotónico.

Los resultados obtenidos permiten interpretar que el gradiente altitudinal en Miquihuana actúa como un filtro ecológico que determina la composición de la comunidad mediante la selección de especies con requerimientos fisiológicos específicos. Este patrón es particularmente evidente en anfibios, cuyo equilibrio hídrico y térmico depende estrechamente de las condiciones ambientales debido a su piel permeable y su limitada capacidad de termorregulación (Borzée et al., 2025).

Las especies de alta montaña, como *Chiropoterotriton miquihuanus* y *Aquiloephycea galeanae*, mostraron nichos ecológicos restringidos asociados a ambientes fríos, húmedos y relativamente estables. Este tipo de especialización sugiere una alta vulnerabilidad ante cambios ambientales, ya que pequeñas modificaciones en temperatura o humedad pueden afectar significativamente su supervivencia, debido a sus estrechos rangos de tolerancia fisiológica (Deutsch et al., 2008; Sunday et al., 2014). Por el contrario, especies de zonas bajas e intermedias,

como *Anaxyrus punctatus*, *Hypopachus variolosus* y *Rhinophrynus dorsalis*, presentaron mayor amplitud ecológica, lo que les permite ocupar ambientes más variables y perturbados.

La mayor riqueza en elevaciones intermedias puede explicarse por: 1) la hipótesis del dominio medio (Newman et al., 2024) que propone que si los límites geográficos de las especies se distribuyen al azar dentro de un dominio limitado (como un gradiente latitudinal o altitudinal), habrá una mayor superposición de áreas de distribución en el centro que en los bordes y 2) por el incremento en la heterogeneidad ambiental en estas zonas, donde convergen condiciones de ambientes más cálidos y más fríos, permitiendo la coexistencia de especies con distintos requerimientos ecológicos. Asimismo, estas zonas suelen presentar mayor disponibilidad de recursos y microhábitats, lo que favorece la diversidad local.

Los patrones observados en Miquihuana son consistentes con lo reportado en diversos estudios sobre gradientes altitudinales. Contreras-Lozano et al. (2011), en el Cerro El Potosí, Nuevo León, documentaron que la riqueza de la herpetofauna no aumenta de manera lineal con la altitud, sino que presenta máximos en ciertos intervalos y disminuye hacia los extremos del gradiente. Aunque el intervalo altitudinal de dicho estudio es distinto, ambos trabajos coinciden en que la diversidad responde a la interacción de factores ambientales más que a la altitud per se.

A nivel regional, Terán-Juárez et al. (2016) señalaron que la Sierra Madre Oriental, particularmente la subprovincia de la Gran Sierra Plegada, concentra la mayor riqueza de anfibios en Tamaulipas. Los resultados del presente estudio refuerzan esta afirmación al evidenciar no solo la presencia de múltiples especies, sino también la complejidad de su organización ecológica dentro de un mismo sistema montañoso.

Desde una perspectiva biogeográfica, los resultados concuerdan con lo planteado por Koleff et al. (2008), quienes destacan que los anfibios presentan altos niveles de diversidad beta y distribuciones geográficas restringidas. Esto implica que el recambio de especies a lo largo de gradientes ambientales es elevado, lo cual se refleja en la diferenciación de nichos observada en este estudio.

En cuanto a la influencia del uso de suelo, los resultados son congruentes con Oropeza-Sánchez et al. (2022), quienes encontraron que las actividades agrícolas tienen efectos negativos significativos sobre la distribución de anfibios. Esto es particularmente relevante en Miquihuana,

donde algunas localidades presentan perturbación antropogénica, lo que podría estar afectando la idoneidad del hábitat para especies sensibles.

Asimismo, estudios recientes han destacado que los anfibios son el grupo de vertebrados más amenazado a nivel global, con aproximadamente el 41% de las especies en riesgo (Borzée et al., 2025). Este contexto global refuerza la importancia de estudios locales como el presente, ya que permiten identificar áreas prioritarias y especies vulnerables en escalas regionales.

El análisis de solapamiento de nicho y los dendrogramas de similitud revelaron que la mayoría de las especies presenta nichos diferenciados, lo que sugiere que la coexistencia se basa en la partición del ambiente más que en la superposición completa de recursos. Este resultado es consistente con teorías ecológicas que plantean que la diferenciación de nicho reduce la competencia interespecífica y favorece la coexistencia (Chesson, 2000).

Un hallazgo relevante es el aislamiento ecológico de *Chiropterotriton miquihuanus*, lo que confirma su carácter de especialista. En contraste, especies como *Eleutherodactylus* spp. mostraron mayor amplitud ecológica, lo que podría conferirles mayor resiliencia ante cambios ambientales. Este contraste entre especialistas y generalistas es clave para entender la dinámica de la comunidad y su respuesta ante perturbaciones.

Los resultados del estudio tienen implicaciones importantes para la conservación. En primer lugar, evidencian que la protección de la diversidad de anfibios en Miquihuana requiere conservar todo el gradiente altitudinal, ya que cada segmento alberga especies con requerimientos ecológicos distintos. Este enfoque es consistente con lo propuesto por Koleff et al. (2008), quienes señalan que en sistemas con alta diversidad beta es necesario conservar múltiples ambientes para proteger la diversidad total.

En segundo lugar, la presencia de especies de distribución restringida y alta especialización, como *Chiropterotriton miquihuanus*, resalta la importancia de conservar hábitats de alta montaña, los cuales suelen ser más vulnerables a perturbaciones como incendios, cambio de uso de suelo y cambio climático.

Asimismo, el uso de modelos de distribución ecológica representa una herramienta valiosa para la identificación de áreas prioritarias y la toma de decisiones en conservación (Ramírez et al.,

2019). Estos modelos permiten anticipar cambios en la distribución de especies y orientar estrategias de monitoreo y manejo.

Por otro lado, la inclusión de un componente de educación ambiental en el estudio es particularmente relevante, ya que permite vincular el conocimiento científico con la participación social, lo cual es fundamental en contextos rurales donde las actividades humanas tienen un impacto directo sobre los ecosistemas.

A pesar de los aportes del estudio, existen algunas limitaciones que deben considerarse. En primer lugar, los modelos de distribución potencial no representan necesariamente la ocupación real de las especies, sino la idoneidad ambiental, por lo que es necesario complementar estos resultados con datos de campo. En segundo lugar, algunas variables relevantes no fueron incluidas en los modelos, como factores microclimáticos, disponibilidad de refugios o interacciones bióticas, lo que podría influir en la distribución de las especies.

8.2 Educación ambiental como herramienta para la conservación de anfibios

Los resultados obtenidos en este estudio no solo aportan evidencia sobre la estructura ecológica de la comunidad de anfibios a lo largo de un gradiente altitudinal, sino que también subrayan la necesidad de integrar enfoques sociales y educativos en las estrategias de conservación. En este sentido, la educación ambiental emerge como un componente clave para complementar los esfuerzos científicos, particularmente en regiones rurales como Miquihuana, donde las actividades humanas influyen directamente en la calidad del hábitat.

Los anfibios desempeñan funciones ecológicas fundamentales, como el control de insectos, la transferencia de energía entre sistemas acuáticos y terrestres, y su papel como bioindicadores de la calidad ambiental (Hocking & Babbitt, 2014). Sin embargo, a pesar de su importancia, suelen ser poco valorados o incluso percibidos negativamente por las comunidades locales, lo que puede derivar en prácticas que afectan su conservación. En este contexto, diversos estudios han demostrado que la educación ambiental puede modificar percepciones, actitudes y comportamientos hacia la fauna silvestre, incrementando la disposición de las personas a participar en acciones de conservación (Jacobson et al., 2015).

Particularmente en anfibios, la implementación de programas educativos ha mostrado efectos positivos en el conocimiento y la valoración de estos organismos. Por ejemplo, iniciativas basadas en talleres participativos, actividades lúdicas y materiales didácticos han logrado mejorar significativamente la percepción pública sobre su importancia ecológica y su estado de conservación (Ballouard et al., 2012). Este tipo de estrategias es especialmente relevante en comunidades rurales, donde el conocimiento tradicional puede combinarse con información científica para generar procesos de aprendizaje más efectivos y contextualizados.

En el caso específico de esta tesis, si bien no se contó con el tiempo necesario para la aplicación de encuestas ni la implementación de talleres de educación ambiental, la elaboración de recursos educativos constituye un avance significativo. El diseño de materiales adaptados al contexto local —como guías ilustradas, actividades didácticas y propuestas de talleres— representa una base sólida para futuras intervenciones. Estos insumos permiten traducir el conocimiento científico generado en herramientas accesibles para la población, facilitando su apropiación y uso en procesos educativos formales e informales.

Desde una perspectiva crítica, es importante reconocer que la ausencia de una fase de implementación limita la posibilidad de evaluar el impacto real de estos materiales en el conocimiento y las actitudes de la población. Sin embargo, su desarrollo no debe considerarse un resultado menor, sino un paso estratégico dentro de un proceso más amplio de vinculación social. De hecho, la literatura señala que el diseño de materiales contextualizados es una etapa fundamental en la planificación de programas de educación ambiental efectivos, ya que incrementa su pertinencia cultural y su potencial de impacto (Monroe et al., 2019).

Además, la integración de la educación ambiental en estudios ecológicos fortalece el enfoque interdisciplinario necesario para abordar la crisis global de los anfibios. Dado que las principales amenazas —como el cambio de uso de suelo, la contaminación y el cambio climático— están estrechamente vinculadas a actividades humanas, cualquier estrategia de conservación debe considerar la dimensión social del problema (Borzée et al., 2025). En este sentido, la generación de conocimiento científico, como el presentado en esta tesis, adquiere mayor relevancia cuando se acompaña de herramientas que permitan su difusión y aplicación en la sociedad.

En conclusión, aunque la implementación de encuestas y talleres no fue posible durante el desarrollo de este estudio, la creación de materiales educativos representa un avance importante

hacia la integración de la educación ambiental en la conservación de anfibios en Miquihuana. Futuras investigaciones y proyectos podrán retomar estos insumos para evaluar su efectividad y fortalecer la participación comunitaria en la protección de la biodiversidad local. De esta manera, se promueve una visión integral de la conservación que articula el conocimiento científico con la acción social.

9. CONCLUSIONES

El análisis de la diversidad de anfibios en Miquihuana permitió demostrar que la distribución de las especies está estrechamente determinada por los gradientes ambientales, particularmente por la elevación, la temperatura y la humedad. Los resultados de los análisis multivariados evidencian que estos factores configuran nichos ecológicos claramente diferenciados, lo cual explica la coexistencia de especies con requerimientos contrastantes dentro de un área geográfica relativamente reducida. En este sentido, las especies asociadas a zonas de alta montaña, características de la Sierra Madre Oriental, presentan afinidades hacia ambientes fríos y húmedos, mientras que aquellas distribuidas en altitudes menores se relacionan con condiciones más cálidas y estacionales.

La integración de herramientas analíticas, tales como el Análisis de Componentes Principales (PCA), la modelación de nicho ecológico, los análisis de similitud y los perfiles altitudinales, permitió caracterizar de manera robusta la estructura ambiental que sustenta a la herpetofauna local. En conjunto, estos enfoques evidencian que el gradiente altitudinal funciona como un filtro ecológico que estructura la composición de especies, favoreciendo la formación de grupos con afinidades ambientales específicas. Asimismo, se identificó que las zonas intermedias concentran una mayor diversidad de nichos, al actuar como áreas de transición donde convergen múltiples condiciones ambientales, lo que incrementa la heterogeneidad biológica del sistema.

En términos ecológicos, la elevación se confirma como uno de los factores determinantes en la distribución de los anfibios en Miquihuana. Se reconocen especies altamente especializadas en ambientes de alta montaña, como *Chiropterotriton miquihuanus* y *Aquiloephycea galeanae*, cuya presencia está restringida a condiciones ambientales particulares. En contraste, especies con mayor plasticidad ecológica o asociadas a ambientes más áridos, como *Hypopachus variolosus*, *Rhinophrynus dorsalis* y *Anaxyrus punctatus*, predominan en las zonas bajas. Este patrón refleja una clara segregación ecológica a lo largo del gradiente altitudinal.

Los resultados del PCA refuerzan esta interpretación al mostrar que la humedad y la elevación son las variables que mayor peso tienen en la diferenciación de las especies. Por su parte, la variabilidad térmica contribuye a separar taxones con afinidades hacia ambientes más fríos o con mayores fluctuaciones de temperatura, como *Spea hammondi* y *Aquiloephycea galeanae*. De manera complementaria, las especies generalistas tienden a agruparse en regiones centrales del espacio ambiental, lo que indica su capacidad para tolerar un rango más amplio de condiciones. En

contraste, especies con requerimientos más estrictos, como *Anaxyrus punctatus* y *Spea multiplicata*, se ubican en posiciones más extremas, evidenciando nichos ecológicos más restringidos. Este conjunto de patrones confirma que las especies responden de manera diferenciada a la interacción entre variables climáticas y altitudinales.

El análisis de similitud y la representación mediante mapas de calor permitieron identificar que la distribución de las especies no depende de un solo gradiente ambiental, sino de la combinación de múltiples factores. A partir de ello, se distinguen grupos ecológicos bien definidos: especies de alta montaña, especies asociadas a condiciones intermedias con mayor disponibilidad de humedad, y especies adaptadas a ambientes más secos en zonas bajas. Esta estructuración resalta la complejidad ecológica del municipio y su importancia como área de transición biogeográfica.

Por otra parte, los datos obtenidos en campo evidencian que *Chiropterotriton miquihuanus*, especie endémica catalogada como Amenazada (A) en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y en peligro crítico según la UICN, se distribuye en sitios que presentan un alto grado de vulnerabilidad. Estas áreas están sujetas a una intensa presión antropogénica derivada de actividades humanas, lo que incrementa el riesgo para la permanencia de sus poblaciones. La susceptibilidad de sus hábitats a procesos de perturbación resalta la urgencia de profundizar en el conocimiento de su ecología, así como de implementar estrategias de conservación y manejo que mitiguen los impactos negativos y aseguren la protección de esta especie y de los ecosistemas que ocupa.

Finalmente, la articulación de estos hallazgos con estrategias de educación ambiental constituye un componente fundamental para la conservación a nivel local. La difusión del conocimiento científico hacia docentes, estudiantes y comunidades puede fomentar una mayor valoración de los anfibios y de los servicios ecosistémicos que proveen, promoviendo acciones colectivas orientadas a su protección. En este contexto, el presente estudio no solo aporta evidencia científica sobre los patrones de diversidad y distribución de la herpetofauna en Miquihuana, sino que también subraya la necesidad de establecer programas de monitoreo a largo plazo e incorporar estos elementos en la planificación y gestión de la biodiversidad regional.

10. PERSPECTIVAS

Los resultados de este estudio abren diversas oportunidades para profundizar en el conocimiento y la conservación de los anfibios en Miquihuana y la Sierra Madre Oriental. En primer lugar, se plantea la necesidad de implementar monitoreos a largo plazo que permitan evaluar la respuesta de las especies ante la variabilidad climática y el cambio global, particularmente en aquellas con nichos restringidos en zonas de alta montaña.

Asimismo, se sugiere incorporar variables a escalas más finas, como condiciones microclimáticas e interacciones bióticas, con el fin de mejorar la precisión de los modelos de distribución. De igual manera, el desarrollo de estudios genéticos y filogeográficos representa una línea clave para identificar patrones de conectividad y unidades de conservación prioritarias.

En el ámbito aplicado, los resultados pueden contribuir a la delimitación de áreas prioritarias dentro del municipio, destacando la importancia de conservar el gradiente altitudinal completo. Por otro lado, el componente de educación ambiental constituye una base importante para futuras intervenciones, siendo necesario evaluar su impacto en el conocimiento y las actitudes de la población, así como fomentar la participación comunitaria mediante esquemas de monitoreo local.

Finalmente, la integración de la información generada en plataformas de biodiversidad permitirá ampliar el alcance de los resultados y fortalecer la toma de decisiones en conservación. En conjunto, este estudio abre la posibilidad de avanzar hacia enfoques interdisciplinarios que integren investigación ecológica, educación ambiental y gestión del territorio.

11.BIBLIOGRAFÍA

- Alaminos-Fernández, Antonio F. (2023) Introducción a la investigación social mediante encuestas de opinión pública. Universidad de Alicante. Obets Ciencia Abierta. Instituto de Desarrollo Social y Paz. Alicante: Limencop.
- AmphibiaWeb. (2021). *Information on amphibian biology and conservation*. University of California, Berkeley. <https://amphibiaweb.org>
- Balderas-Valdivia, C. J., & González-Hernández, A. (2023). Inventario de la herpetofauna de México 2023. *Herpetología Mexicana*, 6, 13–82.
- Basham, E. W., Baecher, J. A., Klings, D. H., & Scheffers, B. R. (2022). Vertical stratification patterns of tropical forest vertebrates: A meta-analysis. *Biological Reviews*. <https://doi.org/10.1111/brv.12896>
- Ballouard, J. M., Ajtic, R., Balint, H., Brito, J. C., Crnobrnja-Isailovic, J., Desmonts, D., ElMouden, E.H.,Erdogan, M., Feriche, M., Pleguezuelos, J.M., Prokop, P., Sánchez, A., Santos, X., Slimani, T., Tomovic, L., Uşak, M., ZuffiM., Bonnet, X. (2012). Schoolchildren and one of the most unpopular animals: Are they ready to protect snakes? *Anthrozoös*, 25(1), 93–109. <https://doi.org/10.2752/175303712X13240472475264>
- Borzée, A., Prasad, V. K., Neam, K., Tarrant, J., Kosch, T. A., Barata, I. M., Rais, M., Bickford, D., Marin da Fonte, L. F., Wilcken, J., Ghosh, D., Mindje, M., Naik, H., Chanson, J., & Wren, S. (2025). Conservation priorities for global amphibian biodiversity. *Nature Reviews Biodiversity*. <https://doi.org/10.1038/s44358-025-00101-5>
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Buckley, L. B., & Jetz, W. (2007). *Environmental and historical constraints on global patterns of amphibian richness*. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 274(1614), 1167–1173. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.0436>
- Burges, C. J. C. (1998). A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 2(2), 121–167. <https://doi.org/10.1023/A:1009715923555>
- Campbell, H. W., & Christman, S. P. (1982). Field techniques for herpetofaunal community analysis. En N. J. Scott Jr. (Ed.), *Herpetological communities* (pp. 193–200). U.S. Fish and Wildlife Service.

- Casas-Andreu, G., & Reyna-Trujillo, T. (1990)., Provincias herpetofaunísticas. En Herpetofauna (Anfibios y reptiles). IV.8.6. Atlas Nacional de México. Vol II. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Castellanos, A. A., Huntley, J. W., Voelker, G., & Lawing, A. M. (2019). Environmental filtering improves ecological niche models across multiple scales. *Methods in Ecology and Evolution* 10: 481–492. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13142>
- Chape, S., Spalding, M., & Jenkins, M. (2008). The World's Protected Areas. University of California Press.
- Chesson, P. (2000). Mechanisms of maintenance of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31, 343–366. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.31.1.343>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2017). *Estrategia de educación ambiental para las Áreas Naturales Protegidas de la región Centro y Eje Neovolcánico de México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2025). *Áreas naturales protegidas*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conanp/documentos/areas-naturales-protegidas-278226>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2001). Uso de suelo y vegetación (modificado de INEGI, Serie II, escala 1:250,000) <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250ks2gw.html> .
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2024). *Enciclovida: Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad*. Recuperado el 21 de septiembre de 2024, de <https://enciclovida.mx/>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2020). *Uso de suelo y vegetación*. <https://www.conabio.gob.mx>
- Conant, R., & Collins, J. T. (1998). *A field guide to reptiles and amphibians of eastern and central North America* (3rd ed.). Houghton Mifflin.
- Contreras-Lozano, J. A., Lazcano, D., & Contreras-Balderas, A. J. (2011). Distribución ecológica de la herpetofauna en gradientes altitudinales superiores del Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León, México. *Acta Zoológica Mexicana (n. s.)*, 27(2), 231–243.
- Cross, C., & Petersen, C. (2001). Modeling snake microhabitat from radio telemetry studies using polytomous logistic regression. *Journal of Herpetology*, 35, 590–597.

- Crother, B. I., Boundy, J., Campbell, J. A., de Queiroz, K., Frost, D. R., Green, D. M., Highton, R., Iverson, J. B., McDiarmid, R. W., Meylan, P. A., Reeder, T. W., Seidel, M. E., Sites, J. W., Jr., Tilley, S. G., & Wake, D. B. (2003). Scientific and standard English names of amphibians and reptiles of North America north of Mexico: Update. *Herpetological Review*, 34, 193–206.
- Cruces, J. M. (1997). Etapas del discurso ambiental en el tema del desarrollo. *Espacios*, 18(1). <https://www.revistaespacios.com/a97v18n01/12971801.html>
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Huey, R. B., Sheldon, K. S., Ghalambor, C. K., Haak, D. C., & Martin, P. R. (2008). Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(18), 6668–6672. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709472105>
- Dudley, N. (Ed.). (2008). *Guidelines for applying protected area management categories*. IUCN.
- Duellman, W. E. (1978). *The biology of an equatorial herpetofauna in Amazonian Ecuador* (Miscellaneous Publications, Museum of Natural History, University of Kansas, No. 65). University of Kansas.
- Duellman, W. E. (1999). *Patterns of distribution of amphibians: A global perspective*. Johns Hopkins University Press.
- Duong, T., Wand, M., Chacón, J., & Gramacki, A. (2025). ks: Kernel Smoothing versión 1.15.1. *The Comprehensive R Archive Network* (CRAN). <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.ks>
- Elith, J., Kearney, M. y Phillips, S. (2010), El arte de modelar especies que cambian de área de distribución. *Métodos en ecología y evolución*, 1,330-342. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2010.00036.x>
- Flores-Villela, O., & Canseco-Márquez, L. (2004). Nuevas especies y cambios taxonómicos para la herpetofauna de México. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.), 20, 115–144.
- Frost, D. R. (2023). *Amphibian species of the world: An online reference*. <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/>
- Frost, D. R., Grant, T., Faivovich, J. N., Bain, R. H., Haas, A., Haddad, C. F. B., de Sá, R. O., Channing, A., Wilkinson, M., Donnellan, S. C., Raxworthy, C. J., Campbell, J. A., Blotto, B. L., Moler, P., Drewes, R. C., Nussbaum, R. A., Lynch, J. D., Green, D. M., & Wheeler,

- W. C. (2006). *The amphibian tree of life*. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 297, 1–370.
- Galili, T., Benjamini, Y., Simpson, G., Jefferis, G., Gallotta, M., Renaudie, J..., & Buetow, A. (2025). dendextend: Extending 'dendrogram' Functionality in R versión 1.19.1. *The Comprehensive R Archive Network (CRAN)*. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.dendextend>
- García, E. (1964). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. www.igg.unam.mx/geoigg/biblioteca/archivos/memoria/20190917100949.pdf.
- Ghalambor, C. K., Huey, R. B., Martin, P. R., Tewksbury, J. J., & Wang, G. (2005). Are mountain passes higher in the tropics? Janzen's hypothesis revisited. *Integrative and Comparative Biology*, 46(1), 5–17.
- Gobierno del Estado de Tamaulipas. (2022). *Decreto gubernamental por el que se declara como Área Natural Protegida con la categoría de Paisaje Natural, denominado “de la Mariposa Monarca”, localizado en diversos municipios del estado de Tamaulipas*. Periódico Oficial del Estado de Tamaulipas.
- Gobierno del Estado de Tamaulipas. (2022–2028). *Página oficial sobre el municipio de Miquihuana*. <https://www.tamaulipas.gob.mx/estado/municipios/miquihuana/>
- Guajardo-Welsh, R. (2024). Distribución de anfibios y su diversidad filogenética en la Sierra Madre Oriental (SMO), identificando áreas prioritarias para la conservación [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2017). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.
- Hocking, D. J., & Babbitt, K. J. (2014). Amphibian contributions to ecosystem services. *Herpetological Conservation and Biology*, 9(1), 1–17.
- Husson, F., Josse, J., Lê, S., & Mazet, J. (2025). FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining versión 2.12. *The Comprehensive R Archive Network (CRAN)*. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.FactoMineR>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Sitio web oficial del INEGI*. <https://www.inegi.org.mx/>
- Jacobson, S. K., McDuff, M. D., & Monroe, M. C. (2015). *Conservation education and outreach techniques*. Oxford University Press.

- Johnson, J. D., Wilson, L. D., Mata-Silva, V., García-Padilla, E., & DeSantis, D. L. (2017). The endemic herpetofauna of Mexico: Organisms of global significance in severe peril. *Mesoamerican Herpetology*, 4, 544–620.
- Kassambara, A., Mundt, F., & Erdey, L. (2025). factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses versión 1.0.7. *The Comprehensive R Archive Network (CRAN)*. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.factoextra>
- Koleff, P., Soberón, J., Arita, H.T., Dávila, P., Flores-Villela, O., Golubov, J., Halffter, G., Lira-Noriega, A., Moreno, C.E., Moreno, E., Munguía, M., Murguía, M., Navarro-Sigüenza, A.G., Téllez, O., Ochoa-Ochoa, L., Peterson, T., & Rodríguez, P. (2008). Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México, pp. 323-364.
- Kolde, R. (2025). pheatmap: Pretty Heatmaps versión 1.0.13. *The Comprehensive R Archive Network (CRAN)*. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.pheatmap>
- Kopp, K., & Eterovik, P. C. (2006). Factors influencing spatial and temporal structure of frog assemblages at ponds in southeastern Brazil. *Journal of Natural History*, 40, 1813–1830.
- Lazcano-Villarreal, D. (1999). *Anfibios y reptiles del estado de Tamaulipas, México* [Conjunto de datos]. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas; SNIB-CONABIO. <https://doi.org/10.15468/al2fti>
- Lê, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR: A package for multivariate analysis versión 2.12. *Journal of Statistical Software*, 25(1), 1–18. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Luedtke, J. A., Chanson, J., Neam, K., Hobin, L., Maciel, A. O., Catenazzi, A., Borzée, A., Hamidy, A., Aowphol, A., Jean, A., Sosa-Bartuano, Á., Diesmos, A. C., Diesmos, M. L. L., Hedges, S. B., Heyer, W. R., Hero, J.-M., Ibáñez, R., Iskandar, D. T., IUCN SSC Amphibian Specialist Group, ... Stuart, S. N. (2023). Ongoing declines for the world's amphibians in the face of emerging threats. *Nature*, 622, 308–314. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06578-4>
- Luna-Peña, S., Peña-Peniche, A., and Mendoza-Alfaro, R. (2024). Species Distribution Model Accuracy Is Strongly Influenced by the Choice of Calibration Area. *Biodiversity Informatics* 18. <https://doi.org/10.17161/bi.v18i.22655>.

- Lynch, J. D., & Duellman, W. E. (1980). *The Eleutherodactylus of the Amazonian slopes of the Ecuadorian Andes (Anura: Leptodactylidae) (Miscellaneous Publications, Museum of Natural History, University of Kansas, No. 69)*. University of Kansas.
- Lynch, J. D., & Duellman, W. E. (1997). *Frogs of the genus Eleutherodactylus in western Ecuador: Systematics, ecology and biogeography (Special Publication of the Natural History Museum, University of Kansas, No. 23)*. University of Kansas.
- Martínez-Dueñas, W.A. (2010). INRA-Índice integrado relativo de antropización: propuesta técnica-conceptual y aplicación. *Intertropica* 5:45-54.
- Martínez-Silvestre, A., Graciá, E., Giménez, A., Cadenas, V., García de la Fuente, M. I., Thumsová, B. & Bosch, J. (2023). Bioseguridad en trabajos de campo con reptiles y anfibios. *Bol Asoc Herpetol Esp*, 34
- Mera Martínez, K. J., Jiménez Ortégón, L. V., & Chagüendo Díaz, J. A. (2022). *Herramientas web 2.0 como estrategia didáctica para la enseñanza de los anfibios en estudiantes de básica primaria del municipio de La Cumbre, Valle del Cauca* [Tesis de licenciatura, Fundación Universitaria Los Libertadores].
- Monroe, M. C., Plate, R. R., Oxarart, A., Bowers, A., & Chaves, W. A. (2019). Identifying effective climate change education strategies: A systematic review of the research. *Environmental Education Research*, 25(6), 791–812. <https://doi.org/10.1080/13504622.2017.1360842>
- Naciones Unidas. (1972). *Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano (Declaración de Estocolmo)*. <https://www.un.org/es/conferences/environment/stockholm1972>
- Naimi, B., & Araújo, M. B. (2024). *sdm: Species Distribution Modelling* (Version 1.2-32). R package. <https://cran.r-project.org/package=sdm>
- Newman, E.A., Morits, M. A., & Davis, F.W. (2024). Mechanisms of Disturbance. *Encyclopedia of Biodiversity* (third edition). Volume 6 Pages 527-535. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822562-2.00382-0>
- Ochoa-Ochoa, L. M., & Flores-Villela, O. (2014). Distribución y conservación de los anfibios de México. En *La biodiversidad en México: Estudio de país 2014* (pp. 287–296). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Oropeza-Sánchez, M.T., Suazo-Ortuño, I., Benítez-Malvido, J., Monroy-Hernández, E., & Munguía-Steyer, R. (2022). Amphibian richness along modified riparian areas of central

Mexico: conservation priorities. *Ecological Processes* 11:63.
<https://doi.org/10.1186/s13717-022-00408-7>

- Parra-Olea, G., Flores-Villela, O., & Mendoza-Almeraya, C. (2014). Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 460–475.
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Araújo, M. B. (2011). *Ecological niches and geographic distributions*. Princeton University Press.
- Posit Team. (2025). *RStudio: Integrated Development Environment for R* (Version 2025.09.1+401). Posit Software, PBC. <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>
- Proaño-Morales, A. S., Proaño-Morales, J. J., & Guayasamin, J. M. (2022). *Diversidad y distribución altitudinal de anfibios en la cordillera de Toisán, Ecuador*. *Ecosistemas*, 31(2), 2137. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2137>
- Quintero-Vallejo, D. E., & Ochoa-Ochoa, L. M. (2022). Priorización y distribución de los anfibios en las áreas naturales protegidas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 93, e933664.
- Ramírez, R.S., Mora F., & Quintero, E. (2019). The use of geospatial data and Bayesian Networks to assess the risk status of Mexican amphibians. *Global Ecology and Conservation*, e00735. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00735>
- Requena-Lara, G. N., Morales-Pacheco, J. F., Ochoa-Sandoval, P. E., Garza-Torres, H. A., Zamora-Tovar, C., González-Romo, C. E., Guerra-Pérez, A., Manzano-Banda, J. I., & Treviño-Carreón, J. (2019). Distribución y condiciones ecogeográficas del bosque relicto de *Abies* en zonas montañosas de Tamaulipas. *Polibotánica*, (48), 1–18.
- Rojas, M. A. (2006). *Diversidad y segregación espacial en un ensamble de anuros en tres coberturas vegetales en la Reserva Natural Santa Helena, departamento de Nariño, Colombia* [Trabajo de grado]. Universidad de Nariño.
- Rojas-Soto, O., Forero-Rodríguez, J. S., Galindo-Cruz, A., Mota-Vargas, C., Parra-Henao, K. D., Peña-Peniche, A., Piña-Torres, J., Rojas-Herrera, K., Sánchez-Rodríguez, J. D., Toro-Cardona, F. A., and Trinidad-Domínguez, C. D. (2024). Calibration areas in ecological niche and species distribution modelling: Unravelling approaches and concepts. *Journal of Biogeography*, 51, 1416–1428. <https://doi.org/10.1111/jbi.14834>

- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* (1ª ed. digital). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Sanders, N. J. (2002). Elevational gradients in ant species richness: Area, geometry, and Rapoport's rule. *Ecography*, 25, 25–32.
- Santos Crespo, J. M. de los. (2014). *Modelo de nicho ecológico para predecir las especies de anfibios y reptiles que habitan en el municipio de Zongolica, Veracruz, México* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Schoener, T. W. (1970). Nonsynchronous spatial overlap of lizards in patchy habitats. *Ecology*, 51: 408-418. <https://doi.org/10.2307/1935376>
- Scott, N. J. (1976). The abundance and diversity of the herpetofaunas of tropical forest litter frogs. *Biotropica*, 8(1), 41–58.
- Slowikowski, K., van der Brand, T., Schep, A., Hughes, S., Kien Dang, T., Lukauskas, S., & Barton, F. (2024). ggrepel: Automatically Position Non-Overlapping Text Labels with 'ggplot2' versión 0.9.7. *The Comprehensive R Archive Network (CRAN)*. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.ggrepel>
- Smith, H. M., & Taylor, E. H. (1966). Preface to the reprint of Herpetology of Mexico (Vols. 1–3). Eric Lundberg.
- Soberón, Jorge, Osorio-Olvera, Luis, & Peterson, Townsend. (2017). Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88(2), 437-441. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.011>
- Sunday, J. M., Bates, A. E., & Dulvy, N. K. (2014). Global analysis of thermal tolerance and latitude in ectotherms. *Proceedings of the Royal Society B*, 281(1794), 20132631. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2631>
- Suntasig Negrete, E. R., Fajardo Sarmiento, N. F., Sarmiento Castro, D. M., & Caicedo Ballesteros, J. C. (2024). *Modelamiento ambiental de la distribución actual y potencial de Atelopus bomolochus, Peters, 1973, bajo escenarios de cambio climático en Ecuador*. Recursos Naturales Producción y Sostenibilidad, 3(2), 1–14. <https://doi.org/10.61236/renpys.v3i2.773>
- Terán-Juárez, S. A., García-Padilla, E., Mata-Silva, V., Johnson, J. D., & Wilson, L. D. (2016). The herpetofauna of Tamaulipas, Mexico: Composition, distribution, and conservation. *Mesoamerican Herpetology*, 3, 43–113.

- Thomas, E. (1998). Are microhabitat preferences of coexisting species under selection and adaptive? *Ecology*, 79, 656–670.
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (2020). *Fonoteca de anfibios: Biblioteca digital de sonidos de anfibios de México*. Facultad de Ciencias, Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera”. <https://cantosanuros.fciencias.unam.mx/index.html>
- Vapnik, V. N. (1999). *The nature of statistical learning theory* (2nd ed.). Springer.
- Wickham, H., Chang, W., Henry, L. Lin Pedersen, T., Takahashi, K., Wilke, C., & Posit Software, PBC. (2025). *ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics* versión 3.5.2. *The Comprehensive R Archive Network (CRAN)*. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.ggplot2>
- Wickham, H., François, R., Henry, L., Müller, K., Vaughan, D., & Posit Software, PBC (2023). *dplyr: A Grammar of Data Manipulation* versión 1.1.14 *The Comprehensive R Archive Network (CRAN)*. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.dplyr>
- Wickham, H., Vaughan, D., Girlich, M., Ushey, K., & Posit Software, PBC (2024). *tidyr: Tidy Messy Data* versión 1.3.1. *The Comprehensive R Archive Network (CRAN)*. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.tidyr>
- Wilke, C. (2025). *ggridges: Ridgeline Plots in 'ggplot2'* versión 0.5.7. *The Comprehensive R Archive Network (CRAN)*. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.ggridges>
- Wilson, L. D., Johnson, J. D., and Mata-Silva, V. (2013). A conservation reassessment of the amphibians of Mexico based on the EVS measure. *Amphibian and Reptile Conservation*, 7, 97–127.

12. RESUMEN BIOGRÁFICO

Beatriz Alexandra Moreno Vásquez

Candidata para el grado de Maestra en Conservación, Fauna Silvestre y Sustentabilidad

Tesis:	Diversidad de anfibios a lo largo de un gradiente altitudinal y su relación con variables ambientales: bases para la conservación y la educación ambiental en Miquihuana, Tamaulipas, México.
Campo de Estudio:	Ecología y conservación de especies vulnerables.
Datos Personales:	Nacida en el municipio Cd. Anáhuac, N.L., México en 08 de mayo de 1997.
Educación Profesional:	Egresada del Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria del Tecnológico Nacional de México. Grado obtenido Licenciatura en Biología con especialidad en Manejo y Conservación de Recursos Naturales.

13.ANEXOS

13. 1 Anexo Fotográfico

13.1.1. Figura 28. Anfibios de Miquihuana



Figura 28. a) Tlaconete de Galeana. *Aquiloerycea galeanae*



Figura 28. b) Tlaconete de Miquihuana. *Chiropterotriton miquihuanus*



Figura 28. c) Sapo de puntos rojos. *Anaxyrus punctatus*

13.1.1. Figura 28 (cont.). Anfibios de Miquihuana



Figura 28. d) Rana arborícola de montaña. *Dryophytes eximius*.



Figura 28. e) Rana arborícola mexicana. *Smilisca baudinii*.



Figura 28. f) Rana chirriadora punteada. *Eleutherodactylus guttilatus*.



Figura 28. g) Rana chirriadora de la Huasteca. *Eleutherodactylus longipes*.



Figura 28. h) Rana termitera. *Hypopachus variolosus*.



Figura 28. i) Rana leopardo. *Lithobates berlandieri*.

13.1.1. Figura 28 (cont.). Anfibios de Miquihuana



Figura 28. j) Sapo excavador mexicano. *Rhinophrynus dorsalis*.



Figura 28. k) Sapo de espuelas de Couch. *Scaphiopus couchii*.



Figura 28. l) Sapo de espuelas occidental. *Spea hamondii*



Figura 28. m) Sapo de espuelas mexicano. *Spea multiplicata*.

13.1.2 Sitios de monitoreo

Figura 29. Sitios de monitoreo



Figura 29. a) Sitio 1. Palmillas



Figura 29. b) Sitio 2. Altamira



Figura 29. c) Sitio 3. Rancho Joya Quemada



Figura 29. d) Sitio 4. La Peña

Figura 29 (cont.). Sitios de monitoreo



Figura 29. e) Sitio 5. Miquihuana



Figura 29. f) Sitio 6. La Peña cañón



Figura 29. g) Sitio 7. Joya 1 Bosque



Figura 29. h) Sitio 8. Joya 1 Valle



Figura 29. i) Sitio 9. Joya 2 Bosque



Figura 29. j) Sitio 10. Antena

Figura 29 (cont.). Sitios de monitoreo

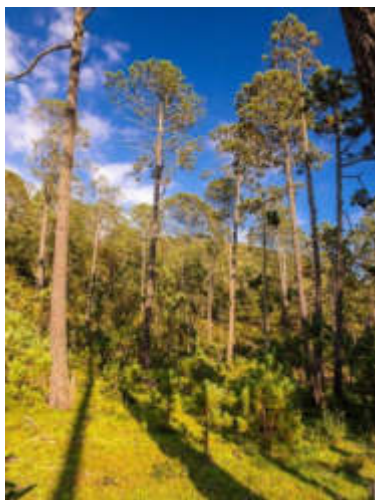


Figura 29. k) Sitio 11. Camino con charcas



Figura 29. l) Sitio 12. Entrada Las Joyas



Figura 29. m) Sitio 13. Las Joyas Cabañas



Figura 29. n) Sitio 14. El Aserradero



Figura 29. o) Sitio 15. Vallehermoso



Figura 29. p) Sitio 15. Vallehermoso

13.1.3 Especies identificadas en campo

Figura 30. Tlaconete de Galeana. *Aquiloemycea galeana*.



Figura 30. a) Tlaconete de Galeana. *Aquiloemycea galeanae*



Figura 30. b) Imagen de escala



Figura 30. c) Imagen de *A. galeanae*. La morfología cefálica incluye surcos nasolabiales bien definidos, rasgo distintivo de esta especie, además de presentar en el cuerpo manchas irregulares semejantes a líquenes.



Figura 30. d) Imagen del estrato donde habita la especie; debajo de troncos y corteza de pinos en descomposición.

Figura 31. Tlaconete de Miquihuana. *Chiropterotriton miquihuanus*.



Figura 31. a) Tlaconete de Miquihuana.
Chiropterotriton miquihuanus.



Figura 31. b) Imagen de escala



Figura 31. c) Imagen de *C. miquihuanus*. La morfología cefálica incluye nostrilos bien definidos, rasgo distintivo de esta especie.



Figura 31. d) Imagen del estrato donde habita la especie, debajo de troncos, entre la corteza de pinos en descomposición.



Figura 32. Sapo de puntos rojos. *Anaxyrus punctatus*



Figura 33. Rana arborícola de montaña. *Dryophytes eximius*.



Figura 34. Rana leopardo. *Lithobates berlandieri*.



Figura 35. Sapo de espuelas mexicano. *Spea multiplicata*.

Las imágenes de este apartado (13.1.3 Especies identificadas en campo) fueron fotografiadas in situ durante los monitoreos para la investigación de esta tesis.

Fotografías: Arnulfo Moreno Valdez.

13.2 Anexo Propuesta Educativa (13.2.1 Encuesta)



Encuesta: Conocimiento sobre los anfibios de tu localidad

Instrucciones:

Lee cada pregunta y marca la respuesta que mejor refleje lo que piensas o sabes. No hay respuestas buenas o malas.

Datos generales

1. Edad: _____ años
2. Sexo:
☐ Mujer / Niña ☐ Hombre / Niño

Conocimiento general sobre anfibios

3. ¿Has escuchado la palabra "anfibio"?
☐ Sí ☐ No
4. ¿Sabes qué es un anfibio?
☐ Sí ☐ No
5. ¿Cuál de estos animales crees que es un anfibio? *(Puedes elegir varias)*
☐ Rana ☐ Sapo ☐ Salamandra ☐ Lagartija ☐ Tortuga ☐ No sé
6. ¿Has visto anfibios en tu comunidad?
☐ Sí ☐ No
7. Si respondiste "sí", ¿dónde los has visto? *(Puede elegir varias)*
☐ Río o arroyo ☐ Charcos o estanques ☐ En el monte o bosque ☐ Cerca de mi casa
☐ Otro: _____

Percepción y conocimiento ecológico

8. ¿Crees que los anfibios son importantes para la naturaleza?
☐ Sí ☐ No ☐ No sé
9. ¿Para qué crees que sirven los anfibios? *(Puede elegir varias)*
☐ Comer insectos (como mosquitos) ☐ Ser alimento para otros animales
☐ Indicar si el ambiente está sano ☐ No sirven para nada ☐ No sé
10. ¿Qué haces cuando ves una rana, sapo o salamandra? *(Puedes elegir varias)*
☐ La dejo en paz ☐ La observo ☐ Me da miedo ☐ La alejo o la mato
☐ Otro: _____

11. ¿Crees que los anfibios pueden ser peligrosos para las personas?

☐ Sí ☐ No ☐ No sé

Interés en educación ambiental

12. ¿Te gustaría aprender más sobre los anfibios?

☐ Sí ☐ No

13. ¿Qué actividades te gustaría hacer en un taller sobre anfibios? *(Puede elegir varias)*

☐ Dibujos para colorear

☐ Juegos interactivos

☐ Escuchar sonidos de ranas

☐ Salidas al campo

☐ Pláticas o charlas

☐ Videos

☐ Manualidades

☐ Otro: _____

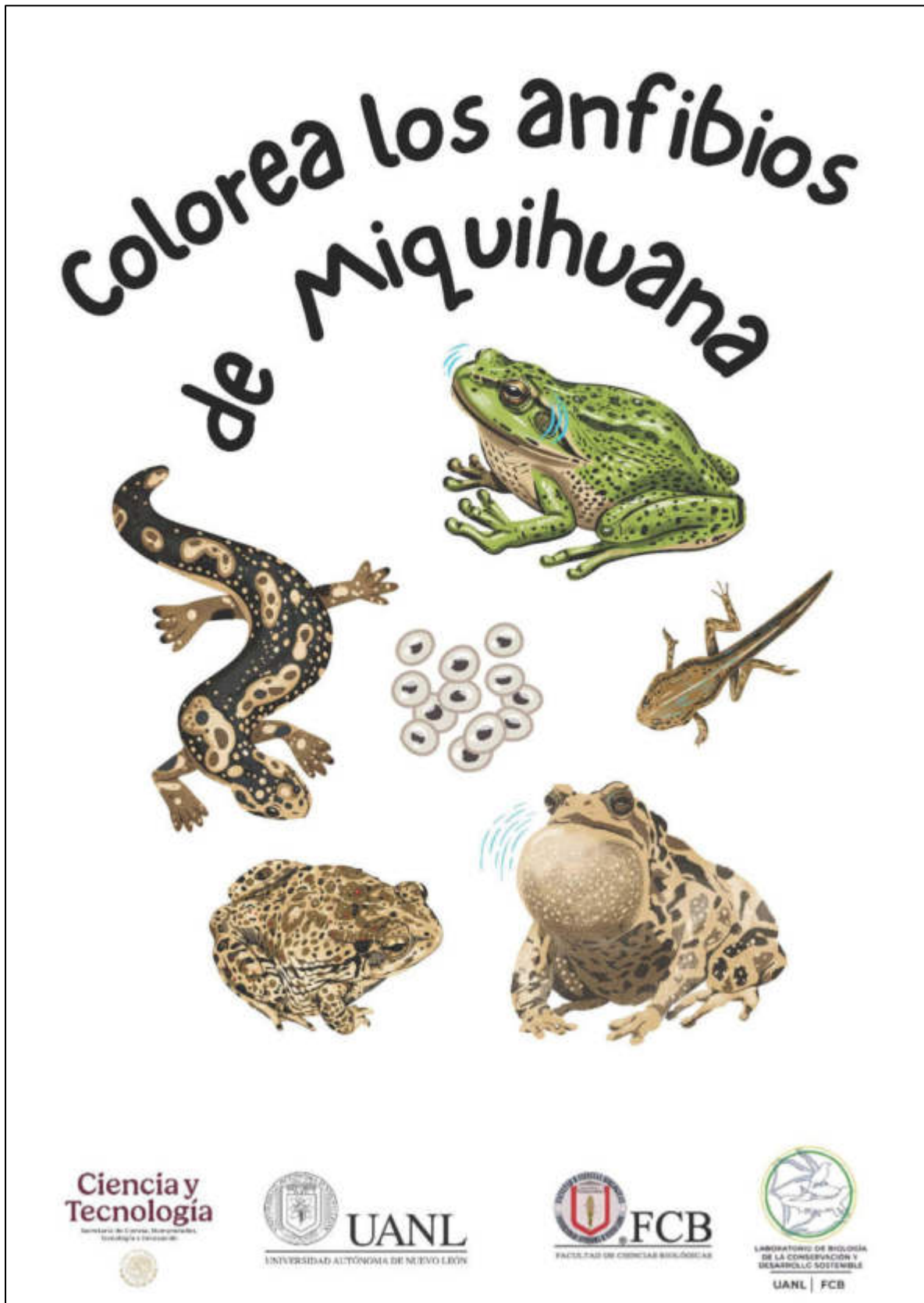
14. ¿Te gustaría participar con tu familia en actividades sobre la naturaleza?

☐ Sí ☐ No

Pregunta final

15. ¿Qué te gustaría saber sobre los anfibios?

13.2 Anexo Propuesta Educativa (13.2.2 Cuadernillo para colorear)



¿Qué son los anfibios?

Los anfibios son animales que pueden vivir en el agua y en la tierra.

Tienen la piel húmeda y son muy sensibles a su ambiente.

Su presencia nos indica que el ecosistema está sano.



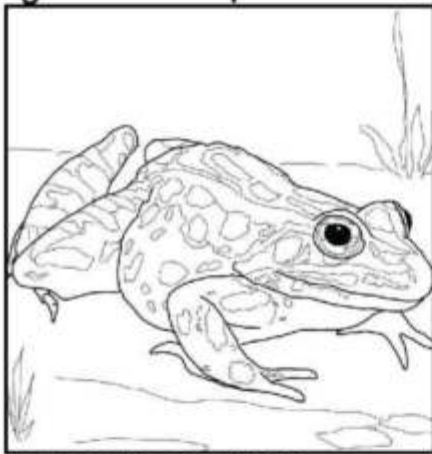
Colorea la rana y dibuja un paisaje de fondo.

tipos de anfibios en el mundo

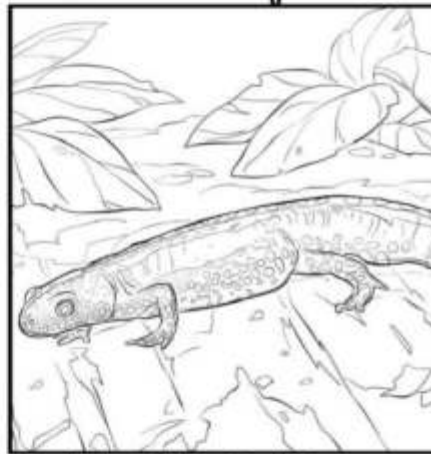
Anuros: Sapos y Ranas. No tienen cola en etapa adulta y son buenos saltadores.

Caudados: Salamandras. Tienen cola y cuerpo alargado durante todo su ciclo de vida.

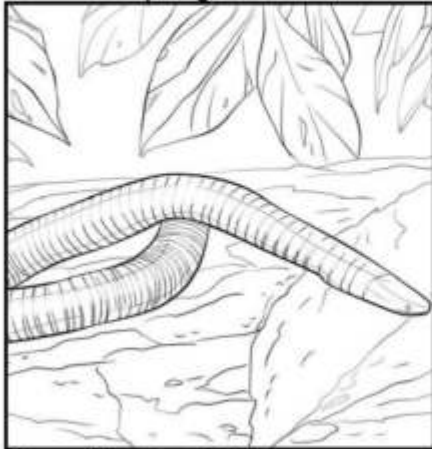
Gimnofiones: Cecilias. Anfibios sin patas, con forma de gusano o serpiente, habitan mayormente bajo tierra.



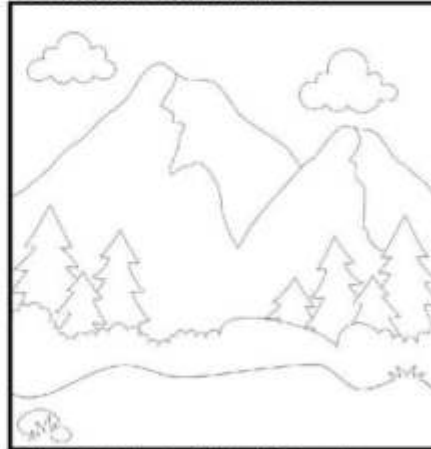
Anuros: Sapos y Ranas



Caudados: Salamandras



Gimnofiones: Cecilias

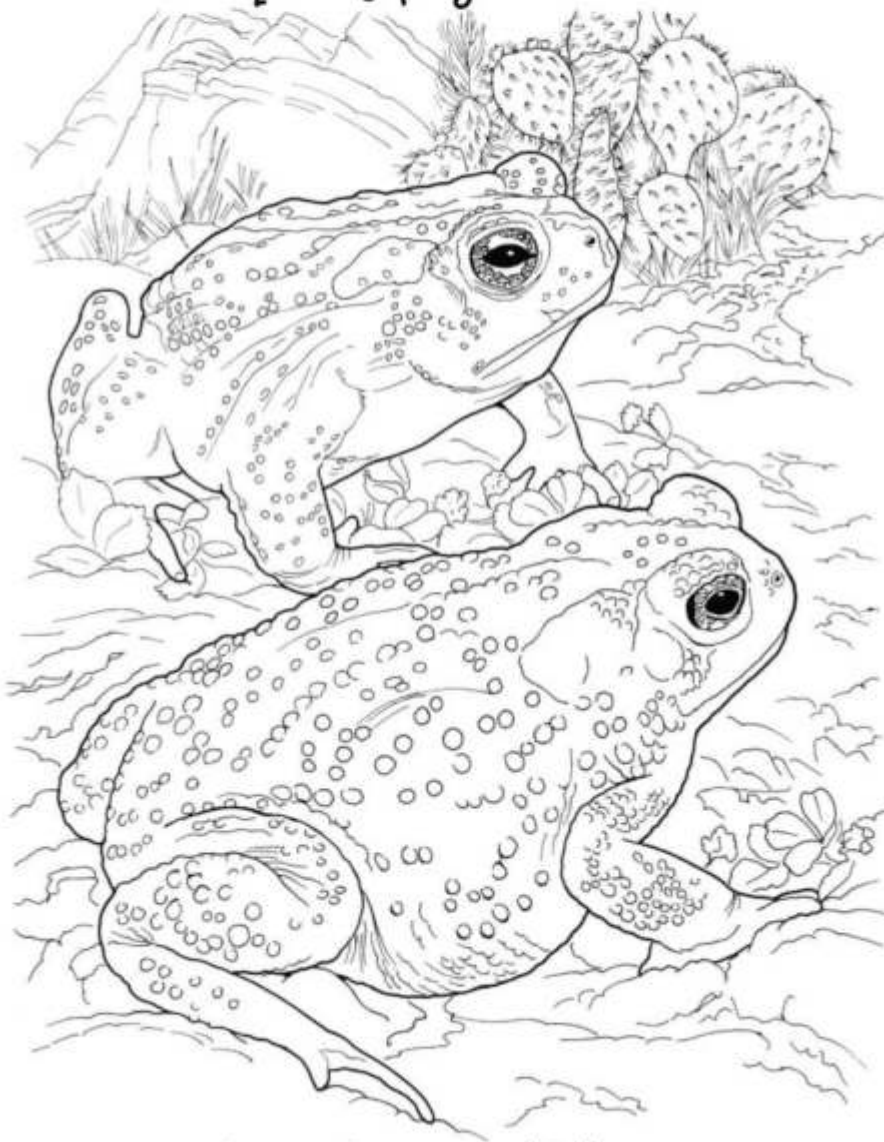


Dibuja a tu anfibio favorito

Anfibios del desierto

En zonas secas de Miquihuana viven algunas ranas y sapos que pueden sobrevivir con poca agua.

En Miquihuana ayudan a controlar insectos, como mosquitos y plagas en cultivos.



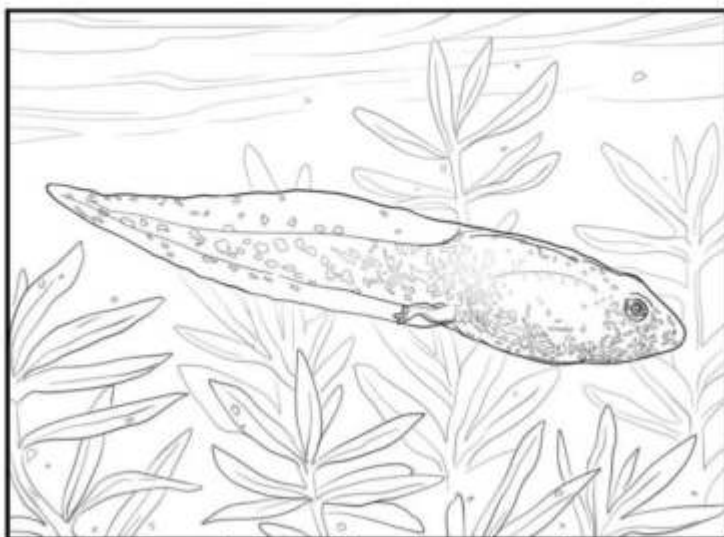
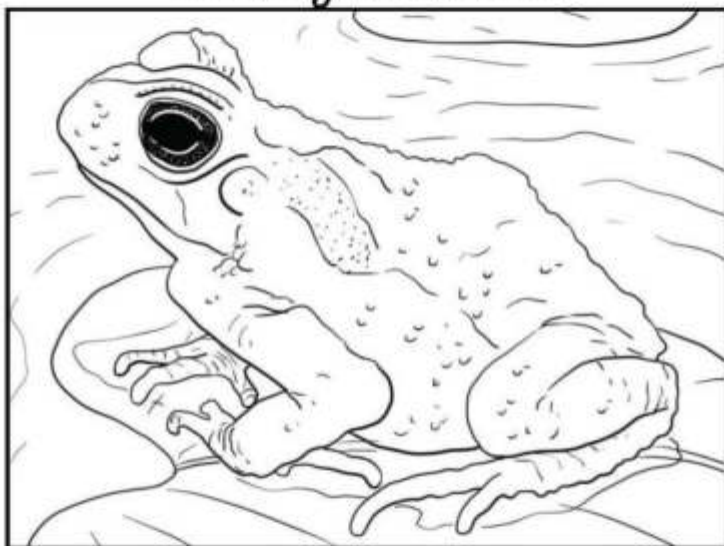
Colorea a los sapos del desierto.

Anfibios en charcas

Las charcas temporales son muy importantes para los anfibios.

Aquí ponen sus huevos cuando llueve.

En Miquihuana, estas charcas permiten que nazcan nuevas generaciones.



Colorea a los anfibios en las charcas.

Beneficios para Miquihuana

¡Busca en la Sopa de Letras!

N	D	I	U	U	W	G	W	R	M	K	K	W	H	M
R	T	S	S	L	A	L	S	O	V	X	R	A	X	N
K	K	U	O	P	A	S	A	D	R	I	E	J	L	T
A	X	Z	T	F	O	H	L	A	H	P	N	F	E	Q
W	M	L	C	G	V	U	A	C	U	K	A	E	S	X
L	J	X	E	F	X	X	M	I	M	H	C	R	T	I
U	I	H	S	J	Q	Z	A	D	E	L	U	P	K	B
U	C	Q	N	P	C	C	N	N	D	X	A	J	J	R
W	A	K	I	R	U	M	D	I	A	Z	J	E	V	M
K	A	E	A	Y	Y	Z	R	O	L	A	O	E	N	U
D	R	A	N	A	X	E	A	I	K	D	U	U	C	G
M	J	V	L	Q	C	A	G	B	Y	F	A	M	Y	Z
B	C	V	R	B	Q	B	G	Y	E	L	W	U	B	P
C	O	N	S	E	R	V	A	C	I	O	N	C	G	K
E	N	D	É	M	I	C	O	Q	P	L	H	S	E	A

Palabras a encontrar:

Agua
Bioindicador
Sapo

Endémico
Humedal
Insectos
Rana

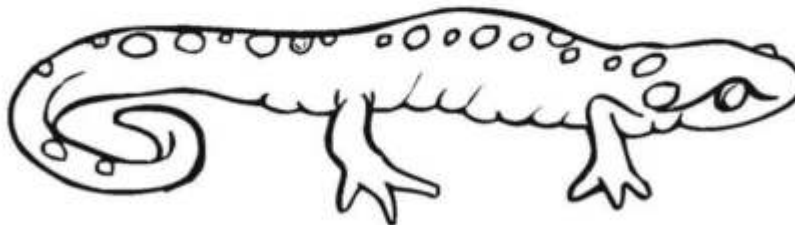
Renacuajo
Salamandra
Conservación

Anfibios de alta montaña

En las montañas de Miquihuana viven especies muy especiales que necesitan clima fresco y húmedo. Como las Salamandras... ¿Las conoces?



Esta salamandra vive en zonas húmedas de montaña. Tiene el cuerpo alargado y piel suave.



Colorea la salamandra y el bosque.

una salamandra endémica

Chiropterotriton miquihuanus

En Miquihuana, ayuda a mantener el equilibrio del ecosistema al alimentarse de pequeños invertebrados.

¡Esta salamandra solo vive en Miquihuana!
Es especial porque:

No tiene pulmones, respira por su piel
Vive en lugares muy específicos
Es única en el mundo



Colorea a la salamandra endémica de Miquihuana.

¿Qué anfibio es?

Conecta los puntos para descubrir al anfibio, colorea y subraya tu respuesta.



Sapo

Cecilia

Salamandra

Rana

observa, aprende y RESPECTA

Los anfibios son animales muy especiales y sensibles.
Puedes mirarlos de cerca, pero sin tocarlos ni
molestarlos.



Recuerda:

No los agarres

No destruyas su hogar

Mantente en silencio para no asustarlos

Si los cuidamos, ellos seguirán viviendo en Miquihuana
y ayudando a la naturaleza.

¡Protégelos!



Colorea a la guardiana del bosque.

¡Protégelos!



Colorea al guardián del bosque.

¡Protégelos!

Puedes ayudar:

- 💧 No contaminando el agua
- 💧 Cuidando la naturaleza
- 💧 Respetando a los animales



"Yo _____
me comprometo a cuidar de los anfibios de
Miquihuana y del mundo, porque reconozco su
valor"

**Ciencia y
Tecnología**
Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación



 **UANL**
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

 **FCB**
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS


**LABORATORIO DE BIOLOGÍA
DE LA CONSERVACIÓN Y
DESARROLLO SOSTENIBLE**
UANL | FCB