HISTORIA AMBIENTAL DE LOS AXALAPASCOS, PUEBLA, MÉXICO

Juan Ricardo Cruz-Aviña
María Guadalupe Tenorio Arvide

Resumen

La región de los Axalapascos, en la Cuenca Oriental de Puebla, constituye un sistema lacustre de origen volcánico con un elevado valor biocultural, geológico y ecológico debido a su biodiversidad endémica, su importancia hidrológica y su estrecha relación con las sociedades humanas desde la época prehispánica. El objetivo de este trabajo fue reconstruir la historia ambiental de la región mediante una metodología mixta que integró revisión documental, trabajo de campo, pensamiento crítico y enfoque de sistemas complejos. Se analizaron los principales procesos históricos que han modelado el territorio, destacando la evolución geológica de los lagos cráter, la ocupación humana, el aprovechamiento tradicional de los recursos naturales y las transformaciones derivadas del cambio de uso del suelo, la sobreexplotación de acuíferos, la expansión agroindustrial y los conflictos socioambientales. Los resultados evidencian una pérdida acelerada del patrimonio biocultural, reflejada en la disminución del nivel de los lagos, la reducción de la biodiversidad, la fragmentación de ecosistemas y el incremento de riesgos sanitarios asociados a enfermedades emergentes y zoonóticas. Se concluye que la conservación de los Axalapascos requiere un enfoque interdisciplinario basado en la restauración ecológica, la recuperación de la memoria biocultural, la gobernanza participativa, la educación

ambiental y la implementación del paradigma One Health como estrategia para fortalecer la resiliencia socioecológica del territorio.
Palabras clave: lagos maars; biodiversidad nativa; memoria biocultural; zona de sacrificio; One Health.

Abstract

The Axalapascos region, located in the Eastern Basin of Puebla, Mexico, constitutes a volcanic-origin lacustrine system of high biocultural, geological, and ecological value due to its endemic biodiversity, hydrological importance, and close relationship with human societies since pre-Hispanic times. The objective of this study was to reconstruct the environmental history of the region through a mixed-methods approach integrating documentary review, fieldwork, critical thinking, and a complex systems perspective. The main historical processes that have shaped the territory were analyzed, with particular emphasis on the geological evolution of maar lakes, human occupation, the traditional use of natural resources, and transformations resulting from land-use change, groundwater overexploitation, agro-industrial expansion, and socio-environmental conflicts. The results reveal an accelerated loss of biocultural heritage, reflected in declining lake water levels, biodiversity loss, ecosystem fragmentation, and increasing health risks associated with emerging and zoonotic diseases. It is concluded that the conservation of the Axalapascos region requires an interdisciplinary approach based on ecological restoration, recovery of biocultural memory, participatory governance, environmental education, and the implementation of the One Health paradigm as a strategy to strengthen the socio-ecological resilience of the territory.
Keywords: Maar lakes; native biodiversity; biocultural memory; sacrifice zone; One Health.

Introducción

Contemplar un códice antiguo, un mural o las obras de artistas paisajistas y fotógrafos de la región de los Axalapascos[1] en Puebla (Ordóñez, 1906) evoca una memoria colectiva de la cultura lacustre prehispánica del Centro Oriente de México. Estos paisajes míticos, llenos de tules, aves y ajolotes, que se reflejan en estos espejos de agua que varían en tonalidades desde el verde-turquesa hasta el azul marino intenso. Estas joyas naturales están resguardadas por majestuosos volcanes como el Pico de Orizaba o Citlaltépetl, el Cofre de Perote o Nahucampatépetl y la Malinche o Matlalcuéyetl y su gente. Cielos luminosos, noches estrelladas y una rica biodiversidad [que incluye estromatolitos, microalgas, charales, ranas, serpientes, diversas aves y mamíferos nativos como ratas canguro, zorrillos y mapaches] forman parte de este ecosistema único (Alcocer et al., 2021; Cruz-Aviña et al., 2017). La región conserva además vestigios arqueológicos significativos, como la ciudad-estado de Cantona (García-Cook, 2004), famosa por su complejo manejo agro-hidráulico, su producción artesanal de obsidiana y su observatorio astronómico (Cruz-Aviña, 2025; Alcocer et al., 2021). Sin embargo, este patrimonio enfrenta actualmente un grave desequilibrio ecológico: estrés hídrico, deforestación, cambios en el uso del suelo, extractivismo y conflictos socioambientales derivados de la degradación por empresas transnacionales, así como pobreza y enfermedades zoonóticas (Cruz-Aviña et al., 2017).

La desecación de los lagos locales (entre 6 y 10 m en los últimos 60 años), ejemplificada por el lago Tecuitlapa y en 2022, ilustra la urgencia de visibilizar su valor como patrimonio biocultural y comprender la compleja relación histórica entre sociedad y naturaleza en la región (Alcocer et al., 2004; Boege, 2008; Alcocer et al., 2019; Cruz-Aviña et al., 2020; Cruz-Aviña et al., 2024).

Por tanto, el objetivo de este trabajo es visibilizar de manera histórica la importancia biocultural de los Axalapascos y ofrecer una perspectiva crítica sobre su deterioro ambiental, como zona de sacrificio considerando el conflicto histórico entre sociedad y naturaleza desde la mirada del pensamiento crítico y los sistemas complejos.[2]

[1] Axalapasco. Nombre que en náhuatl significa "Vasija de arena con agua revuelta" (Gasca, 1981; Lara, 2021; Transnational Institute, 2021; Arredondo-Figueroa et al., 1983).
[2] Los sistemas complejos son conjuntos de numerosos elementos interactuantes —a menudo heterogéneos— cuyo comportamiento colectivo no puede deducirse simplemente sumando las propiedades de sus partes individuales (García, 2006).

Metodología

En esta investigación, se adopta una metodología mixta que combina una revisión documental a lo largo del tiempo con un enfoque prospectivo, utilizando el pensamiento crítico y complejo para el constructo histórico-ambiental y trabajo *in situ*. El trabajo de campo complementario fue realizado de 2011 a 2017, con salidas mensuales de 1 a 3 días, contemplando aspectos, biológicos, ecológicos y sociales. Este periodo corresponde específicamente a la etapa de obtención de información primaria destinada al desarrollo del estudio. Sin embargo, el trabajo de campo realizado en la región no se interrumpió en 2017.

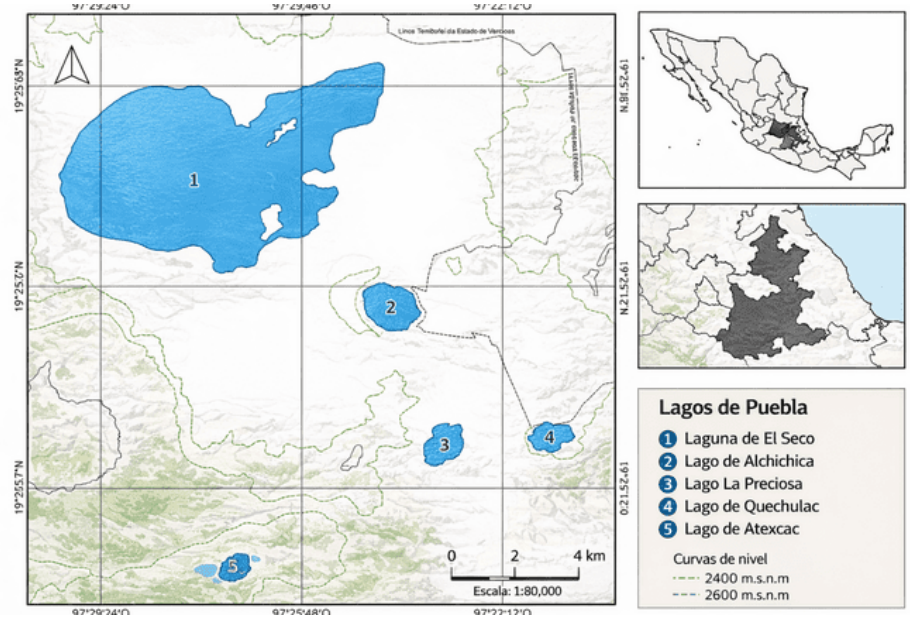
Durante los años posteriores se desarrollaron otros proyectos de investigación y seguimiento ambiental en la misma región y en sitios relacionados, incluyendo estudios sobre comunidades acuáticas, peces y respuestas de los ecosistemas ante procesos como el cambio climático. Estos proyectos generaron nuevos registros de campo y material fotográfico propio que permite dar continuidad al seguimiento de las condiciones ambientales y territoriales descritas en el capítulo.

En ese sentido, las fotografías correspondientes a años posteriores a 2017, incluyendo registros hasta 2023, son material generado durante actividades de campo y constituyen evidencia de continuidad del proceso de observación y seguimiento de la región.

El trabajo de gabinete fue realizado de 2021 a 2022. En este periodo se realizó una actualización documental efectuada durante la preparación y revisión final del capítulo. Su incorporación permite contextualizar los resultados y contrastarlos con información científica más reciente, sin implicar que dichas fuentes formaran parte de la etapa de trabajo de gabinete realizada en 2021–2022. El área de estudio se localiza en la región de los lagos cráter del Centro de México (ver Figura 1).

Figura 1

Área de estudio de la región de los lagos cráter Axalapascos



Nota. Alchichica (2; profundidad máxima de 62 m), Atexcac (5; 39 m), La Preciosa (3; 46 m), Quechulac (4; 40 m) y la laguna salina somera El Salado (1; 1.5 m), ubicados en los municipios de Tepeyahualco y Guadalupe Victoria, en el centro de México.

Historia ambiental, transformaciones territoriales y problemática socioambiental de los Axalapascos

Región de los Axalapascos: geología, hidrología y problemática ambiental

En el Centro de México se encuentra la Cuenca Oriental, una cuenca endorreica (sin salida al mar). El sistema hidrológico superficial es prácticamente inexistente debido a la presencia de material geológico cinerítico (arena volcánica), el cual tiene una alta permeabilidad que permite la infiltración inmediata del agua.

No existen escurrimientos superficiales ya que la cuenca se formó como resultado de intensa actividad tectónica, convirtiéndola en una cuenca endorreica durante el período Plio-Pleistoceno (Díaz y Plascencia, 1977). Al cerrarse la cuenca, el agua subterránea quedó confinada, mientras que los fenómenos volcánicos la rellenaban con material volcánico. El agua confinada, con características físico-químicas diferentes a las actuales, adquirió las

propiedades del material volcánico con el paso del tiempo (White y Ross, 2011; Alcocer et al., 2019; Cruz-Aviña et al., 2021).

Los materiales volcánicos en contacto con el agua subterránea son ricos en sodio, el catión predominante en estas aguas. El anión predominante es el bicarbonato, cuya presencia se ha mantenido desde la formación de la cuenca hasta la actualidad, con pequeñas variaciones en su concentración debido al intercambio iónico con los materiales volcánicos. Ortega-Mayagoitia et al. (2002), asocian el carácter sódico del agua a la disolución del mineral feldespático llamado albita.

Durante el Pleistoceno, la cuenca, caracterizada por una intensa actividad volcánica, y las últimas glaciaciones dieron origen a un gran lago (Álvarez, 1950). Actualmente, este lago ha quedado dividido en dos pequeños lagunas intermitentes: Totolcingo (El Carmen) y Tepeyahualco (El Salado). Estas lagunas se conservan en las partes más bajas, donde el material sedimentado ha dado lugar a una alta impermeabilidad.

Durante los períodos Terciario y Pleistoceno, el sistema hídrico se concentró en el enorme lago. Posteriormente, la cuenca fue redefinida por pequeños conos volcánicos derivados del Citlaltépetl, el Nahucampatépetl y la Matlalcuéyetl, que se entremezclaron en el horizonte formando pequeños conos cineríticos (chimeneas de antiguos volcanes). Estos son los llamados Xalapascos y Axalapascos, así como pequeñas fumarolas y efluvios de agua sulfurosa e hirviente (Alcocer et al., 2004; Alcocer, 2021).

A estos lagos cráter *Maars*[3] se les conoce localmente como Axalapascos (Alcocer et al., 2004; Alcocer, 2021), son lagos monomícticos de altura de más de 2000 m s.n.m., con un solo periodo de mixis o mezcla, al año, a diferencia de otros lagos, haciéndolos unos ecosistemas únicos en el mundo.

> Los pescadores locales refieren este fenómeno, como que los lagos se "*enferman*"…[tomando una coloración verde-esmeralda]…, como resultado de una reproducción explosiva, boom de algas verde-azules o cianofíceas, lo que abate el oxígeno del agua y hay muerte masiva de peces. Del mismo modo la erosión del suelo y el abuso en la extracción del agua subterránea provocan sus efectos deletéreos más notables (Alcocer et al., 2004; Can Chulim et al., 2011, Cruz-Aviña et al., 2024), pese a que desde 1954 se declaró la veda total para

[3] Del alemán, ***Maar*** es un cráter volcánico ancho y bajo, producido por una erupción freático-magmática, es decir, una explosión causada por agua subterránea que entra en contacto con lava o magma. Los *maares* suelen llenarse de agua, formando un lago de cráter o laguna cráterica de poca profundidad (Arredondo-Figueroa y Nava, 1992).

el alumbramiento hídrico del subsuelo, para los estados de Puebla y Tlaxcala (CONAGUA, 1954, Walter et al., 2023).

Cabe señalar que actualmente existen en la región alrededor de 350 pozos de extracción de agua profunda, la mayoría de ellos clandestinos (Can Chulim, 2010). Por su parte, la Región de los Axalapascos es un ejemplo de los procesos de respuesta, que tiene una zona endorreica[4], tropical-subtropical a presiones ambientales de sobrexplotación hídrica, contaminación microbiana, cambio de uso de suelo y conflictos socio-ambientales (Geréz, 1983; Alcocer et al., 2004; Cruz-Aviña et al., 2017; Alcocer 2019; EJAtlas, 2022).

En esta región existe una marcada escasez de agua superficial, debido, por un lado, a las condiciones climáticas semiáridas de la zona y, por otro, a que la mayor parte de la superficie se encuentra formada por material de tipo cinerítico, en el que el agua de lluvia se infiltra, debido a su carácter altamente permeable (Castañeda-Roldán et al., 2024).

La información histórico-ambiental disponible sobre la Cuenca Oriental es escasa, fragmentaria y de difícil acceso. Gran parte de las fuentes primarias y estudios tempranos corresponden a publicaciones antiguas, predominantemente en idioma alemán, lo que ha limitado su sistematización, análisis comparativo y apropiación en la literatura científica contemporánea.

Entre los trabajos recientes más destacados se encuentra el de Alcocer y colaboradores (2004), quienes abordan de manera integral la problemática del recurso hídrico en la región. Asimismo, los estudios de Can Chulim (2010, 2011) enfatizan la sobreextracción clandestina de agua subterránea en la Cuenca Oriental, así como la deficiente calidad de dicho recurso.

De igual manera, sobresale la investigación de García (2010), en la que se documentan los efectos del cambio climático sobre el *Axalapasco* de Alchichica. No obstante, de acuerdo con un análisis bibliométrico, la mayor parte de la producción científica relacionada con la Cuenca Oriental se ha concentrado en áreas distintas a la ambiental, principalmente en Limnología y Ecología Acuática 55 artículos, Hidrogeoquímica 1, Biología 10 y Salud 3, (Cruz-Aviña, 2025).

[4] Una cuenca endorreica es una área geográfica cerrada donde las aguas pluviales y fluviales no tienen salida natural hacia el océano, acumulándose en lagos interiores, lagunas o salares. El agua desaparece únicamente por infiltración o evaporación, lo que suele generar alta concentración de sales, siendo común en zonas áridas, desérticas o de montaña (Arredondo-Figueroa y Nava, 1992).

En contraste, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en un informe fechado el 19 de agosto de 1954, consideró que el acuífero Libres-Oriental (principal sistema tributario de la cuenca) conservaba condiciones hidrogeológicas muy similares a las originales.

En aquel momento, el balance hídrico se mantenía debido a que el agua infiltrada al subsuelo se liberaba de manera natural por evaporación y mediante flujos subterráneos hacia el sur de Soltepec y al noroeste, en dirección al estado de Veracruz.

Sin embargo, con el establecimiento posterior de un gran número de captaciones de agua subterránea, los niveles freáticos comenzaron a descender, lo que provocó la interceptación de las salidas naturales del acuífero (Tricart, 1985).

Como consecuencia, la laguna de Totolcingo, la laguna El Carmen y la laguna Tequesquitla (El Salado o Tepeyahualco) prácticamente desaparecieron, al disminuir la profundidad y transformarse en cuerpos de agua intermitentes.

Más recientemente, también se ha registrado la desecación del lago de Tecuitlapa. Cabe señalar que, en décadas anteriores, incluso se contempló la derivación de agua desde esta región hacia la ciudad de Puebla y el entonces Distrito Federal, bajo el supuesto de una alta disponibilidad hídrica y aprovechando la diferencia altitudinal (Alcocer, 2004; Alcocer, 2019; Alcocer, 2021; Cruz-Aviña et al., 2023).

Por otra parte, la presencia de importantes fallas fisiográficas facilita la conducción del agua subterránea a través de las sierras, como ocurre en las sierras de Soltepec y Citlaltépetl, localizadas al sur y al poniente de la cuenca (CONAGUA, 2005).

En la actualidad, la Cuenca Oriental recibe menores aportaciones provenientes de la zona de Huamantla (La Malinche), mientras que sus descargas naturales se han reducido como resultado del incremento en el bombeo de agua subterránea asociado a diversos aprovechamientos productivos, particularmente aquellos vinculados con empresas transnacionales dedicadas a la producción de frutos rojos, aves y cerdos (Cruz-Aviña et al., 2017; EJAtlas, 2022; Cruz-Aviña et al., 2024; Cruz-Aviña, 2025).

Estas actividades han generado múltiples externalidades ambientales, entre las que destacan procesos de contaminación del suelo, el agua y el aire (Cruz-Aviña et al., 2023).

Clima en la actualidad en la región de los Axalapascos

La Cuenca Oriental presenta un clima árido, con una evaporación anual de aproximadamente 1,690 mm y precipitaciones inferiores a 500 mm, lo que indica un régimen hidrológico negativo (datos 1966-2002). La temperatura oscila entre -5.5 y 30 °C, con una media anual de 12.9 °C (Adame et al., 2008).

Alcocer et al. (2004) clasifican los climas de la región según su altitud, conforme la clasificación de (Köppen modificada por García, 2004): Clima semiárido (BS1): se encuentra en la parte central de la cuenca, a altitudes de 2,300–2,400 m s.n.m., correspondiendo a la zona más baja de la misma. Clima templado subhúmedo con lluvias en verano (C (W1)): rodea al BS1 de manera concéntrica. Este clima se localiza entre 2,400-3,000 m s.n.m al norte y 2,300-2,500 m s.n.m en las zonas este, oeste y sur de la Cuenca. En términos generales, la región puede considerarse como un semi-desierto frío, donde ambos climas interactúan para definir la dinámica hídrica y ecológica de los lagos y humedales.

Cambios ambientales pasados y recientes en los Axalapascos

Estudios paleoambientales en la Región de los Axalapascos, particularmente en los sedimentos del lago cráter Aljojuca, han permitido reconstruir la evolución climática de los últimos 4,200 años.

Los análisis de polen, geoquímica y partículas de carbón indican: Períodos más húmedos entre 3,000 y 2,000 años atrás (Bhattacharya et al., 2015). Un cambio climático significativo ocurrió alrededor del 600 d.C., reflejado en registros de titanio,[5] asociado a una sequía al final del período Clásico, coincidiendo con el colapso de la ciudad de Cantona (900–1050 d.C.).

En tiempos recientes (1987–1999), la región presentó condiciones relativamente secas, con menor precipitación, mayor temperatura y mayor evaporación.

Actualmente, se distinguen dos zonas climáticas principales: Este de la cuenca: incluye Alchichica, Atexcac, La Preciosa y Quechulac en los Llanos de San Juan. Climas

[5] El dióxido de titanio (TiO_2) es un compuesto utilizado en varios productos industriales y de uso común como en cosméticos, protectores solares, dentífricos, pinturas, entre otros impactos antropogénicos y cambio en el uso del agua (Ortega-Guerrero et al., 2018).

más secos por efecto de sombra orográfica generada por la Sierra Madre Oriental. Oeste de la cuenca: incluye Tecuitlapa (recientemente desecado) (Bhattacharya et al., 2015), Aljojuca y Llanos de San Andrés.

Climas templados subhúmedos, con mayor retención de humedad (Alcocer et al., 2019; Cruz-Aviña et al., 2024).

El clima influye directamente en el balance hídrico negativo de la región, donde se evapora más agua de la que aporta la lluvia, afectando el nivel de los lagos y la estructura térmica de sus aguas, con consecuencias sobre la ecología interna y la biota (Cruz-Aviña et al., 2017, Cruz-Aviña et al., 2024; Cruz-Aviña, 2025).

La sobreextracción de agua subterránea para riego y suministro a la industria agropecuaria ha intensificado los efectos del clima seco. Originalmente, la agricultura dependía únicamente de la precipitación, pero hoy la irrigación con aguas subterráneas ha reemplazado al cultivo de temporal (Alcocer et al., 2004).

El riego por aspersión, en un clima semiárido, provoca pérdida de agua antes de llegar al suelo y concentra sales disueltas, contribuyendo a la salinización del terreno. Knoblich (1978) estimó que la extracción de 2,000 l/s secaría la laguna de Totolcingo y reduciría al menos un metro los niveles de Tepeyahualco y los lagos cráter.

Hoy, sus predicciones se han cumplido: Totolcingo y Tepeyahualco están desecados, y los lagos cráter (Alchichica, Atexcac, La Preciosa) han disminuido más de seis metros, poniendo en riesgo la permanencia de estos ecosistemas (Alcocer, 2021; Cruz-Aviña et al., 2024; Cruz-Aviña, 2025).

Estas transformaciones han convertido áreas previamente consideradas Áreas Naturales Prioritarias en zonas de sacrificio, principalmente en beneficio de empresas transnacionales, consolidando un conflicto socioambiental que combina cambio climático, extracción excesiva de recursos y presión industrial, como pueda apreciarse en la Figura 2.

Figura 2

Muestra histórica del proceso de desecación del lago cráter Alchichica



Nota. El nivel del lago ha disminuido aproximadamente 6 m en los últimos ocho años (periodo 2016–2023), como resultado de diversas actividades antropogénicas y del cambio climático. Esta disminución ha provocado la pérdida de pozas de pesca tradicionales utilizadas por pescadoras artesanales.

Primeros asentamientos y cambios ecológicos en la región de los Axalapascos

En el México antiguo, la naturaleza era concebida como animada y divina (Toledo, 2013). El Sol, la luna, las estrellas, la tierra (suelo), el agua, así como animales y plantas eran objeto de veneración, y se representaban mediante imágenes, esculturas y objetos rituales. Esta simbología se refleja en los paisajes limnológicos de los Axalapascos, donde lo espiritual, mítico y ontológico se entrelaza con el sentido de lugar, la cultura material y las prácticas humanas.

Dentro de este marco cultural sobresale Cantona, una ciudad prehispánica clave en el desarrollo de la cultura mesoamericana, conectada económica y culturalmente con otras regiones. Conforme a García Cook (2004), las primeras poblaciones humanas se asentaron en la zona norte de los Axalapascos alrededor del 1000 a.C.; aunque su procedencia exacta se desconoce, algunos fueron los fundadores de Cantona, antecediendo a Cholula y Teotihuacán.

Hacia 600 a.C.**,** la ciudad contaba con aproximadamente 12,000 habitantes; unos 150 años después, la población se incrementó a 20,000, abarcando al menos 333 hectáreas. Su apogeo cultural ocurrió entre 300 a.C. y 600 d.C., llegando a ocupar unas 867 hectáreas con cerca de 52,000 habitantes y 27 canchas para el Juego de Pelota**.**

El declive de Cantona se dio entre 1000 y 1050 d.C. (García-Cook, 2004). La economía combinaba autoabasto**,** comercio mediante trueque y tributación en obsidiana. Las y los habitantes vivían en unidades habitacionales cuyos patios servían para preparar y consumir alimentos como quelites, frutos silvestres, maíz, frijol, chile y calabaza, así como carne de venados, conejos, aves, pumas, coyotes y lobos (Alcocer et al., 2004).

La presión poblacional sobre los recursos naturales fue significativa. En altitudes de 2,500 a 3,150 m s.n.m., persistían bosques de pino y pino-encino (*Pinus cembroides* y *Quercus greggii)* en buen estado de conservación, mientras que al norte, en la región de los Humeros, se encuentra un bosque clímax, con alta diversidad y biomasa, hogar de especies como *Pinus cembroides*, *Nolina parviflora*, *Cupressus benthamii* y *Yucca periculosa* (Díaz y Plascencia, 1977).

Pinus cembroides, pino piñonero, antes extendido por todos los cerros calizos y malpaís de la cuenca, fue explotado desde tiempos prehispánicos por sus semillas comestibles, limitando hoy su distribución a Frijol Colorado [2,500 m s.n.m. y Humeros 2,900 m s.n.m.] (Geréz, 1983). Por su parte, los Axalapascos y cuerpos de agua de la región como Alchichica fueron fuente crucial de recursos riparios, proporcionando la pesca del charal *Poblana alchichica* y del ajolote *Ambystoma taylori Brandon*, consumido por su carne blanca y delicado sabor (Alcocer, 2019; Cruz-Aviña et al., 2024; Cruz-Aviña, 2025; Maruska y Rumph, 1982).

La explotación humana generó un paisaje biocultural integrado, donde la actividad agrícola, la pesca, la caza y la recolección de plantas y minerales formaban un sistema sostenible con los ecosistemas lacustres.

No obstante, a partir de los siglos XIX y XX, la región ha experimentado transformaciones profundas: la agricultura, el pastoreo, principalmente ganado caprino, el cambio de uso de suelo y la sobreexplotación de agua por empresas transnacionales, han reducido drásticamente el número y volumen de los lagos (Albores Zárate, 1995; Cruz-Aviña et al., 2017; EJAtlas, 2022; Cruz-Aviña et al., 2024).

Históricamente, la cuenca hidrológica de los Axalapascos (Cuenca de Libres-Oriental), con una extensión aproximada de 11,000 km², albergaba 11 lagos y diversos humedales; en la actualidad, esta zona de influencia se ha reducido a cerca de 5,000 km² y únicamente conservan agua permanente cinco de estos lagos cráter (Cruz-Aviña et al., 2024).

La vida en la cuenca dependía de la caza, pesca y recolección, así como de la utilización de recursos naturales para elaborar herramientas, redes y petates, extraer minerales como Tequesquite, recolectar plantas acuáticas *Juncus*, *Typha*, *Lemna*, *Lilaeopsis*, alimentos como maíz y frijol criollo y plantas medicinales *Chenopodium graveolens* , *Ephedra* spp. (Alcocer, 2004; Cruz-Aviña et al., 2017; Cruz-Aviña et al., 2023).

La memoria biocultural y la noción de territorio son esenciales para comprender la riqueza histórica y ambiental de los Axalapascos, hoy amenazada por la degradación ecológica y la presión de actividades productivas modernas (Cruz-Aviña, 2025).

La región de los Axalapascos y la noción de territorio.

El concepto de territorio describe el desarrollo espacial de las relaciones sociales en los ámbitos cultural, social, político y económico, constituyéndose en un referente empírico (Cruz-Aviña et al., 2017).

En la Región de los Axalapascos, este concepto se manifiesta a través de prácticas etnobioculturales tradicionales, como la pesca artesanal de charales. Esta actividad se diferencia según el lago y el horario —diurna en Alchichica, nocturna en La Preciosa y Quechulac—, se transmite de manera transgeneracional y ha respetado históricamente la sustentabilidad de las poblaciones ícticas (Cruz-Aviña et al., 2024).

Actualmente, la pesca artesanal resiste y persiste solo gracias a unas 50 personas adultas, amenazada por la contaminación y la disminución del agua, por lo que se prevé su desaparición a corto plazo (Cruz-Aviña et al., 2024; Cruz-Aviña, 2025).

La región de los Axalapascos y su biodiversidad nativa

La vegetación y fauna originales de los Axalapascos han sido modificadas por la actividad humana, pero aún persiste una biodiversidad significativa, con numerosas especies endémicas y microendémicas.

La región alberga plantas como rosetófilas, cactáceas, suculentas, pinos y maíces criollos; así como animales acuáticos y terrestres, incluyendo estromatolitos, protozoarios, invertebrados, anfibios, peces, reptiles y mamíferos (De Buen, 1945; Brandon et al., 1981; Cuéllar et al., 1996; Arredondo-Figueroa, 1992; Escobar y Alcocer, 2002; Oliva et al., 2006; Lira-Guerrero et al., 2008; Alcocer et al., 2009; Jiménez y Vega, 2011; Hortelano Santa Rosa, 2012).

Entre las especies endémicas destacan: Algas y crustáceos acuáticos: *Cyclotella alchichicana*, *Caecidotea williamsi*, *Cletocamptus gomezi*, *Leptodiaptomus garciai*, *Limnocytherina axalapasco*. Insectos: *Krizousacorixa tolteca*. Peces: *Poblana alchichica*, *Poblana letholepis*, *Poblana squamata*. Anfibios: *Lithobates chichicuahutla*, *Ambystoma taylori*, *Ambystoma velasci*. *Pseudoeurycea melanomolga*, Reptiles: *Sceloporus megalepidurus*, *Sceloporus jalapae*. Mamíferos terrestres**;** Motocle o ardilla de tierra *Xerospermophilus perotensis*, tuza de Perote *Cratogeomys perotensis*, comadreja de cola larga *Mustela frenata perotae*, rata canguro *Dipodomys phillipsii perotensis*, ratón cosechero *Reithrodontomys chrysopis perotensis*, y ratón de los volcanes *Neotomodon alstoni perotensis*.

Otros mamíferos de importancia conservacionista: mapache *Procyon lotor*, coyote *Canis latrans*, (Cruz-Aviña et al., 2017; Cruz-Aviña, 2025). La Cuenca Oriental ha sido reconocida también como Región Hidrológica Prioritaria RHP 71 y Región Prioritaria Terrestre RPT 122 por CONABIO (2012), y parte de ella se encuentra bajo protección mediante el Parque Estatal Lagos de Tepeyahualco y Guadalupe Victoria (Cruz-Aviña et al., 2017; Alcocer, 2021).

Por otra parte, en la subcuenca Perote-Libres se han documentado 706 especies, de las cuales 489 son plantas terrestres y acuáticas vasculares y 217 vertebrados terrestres y acuáticos; 45 especies (6.4 %) están catalogadas como en riesgo o endémicas según la NOM-059-ECOL-2001. La sobreexplotación del agua subterránea para riego agrícola

y empresas transnacionales ha reducido el volumen de los lagos cráter, amenazando seriamente la supervivencia de estas especies (Walter et al., 2023; Cruz-Aviña, 2023).

La región enfrenta una problemática ambiental compleja, que combina contaminación de suelo, aire y agua, presión sobre los recursos hídricos y conflictos socioambientales históricos, especialmente relacionados con la ganadería porcina (Cruz-Aviña et al., 2023; Walter et al., 2023) (ver Figura 3).

Figura 3

Ejemplos de la riqueza alimentaria de la región de los Axalapascos



Nota. A) Charales *Poblana* spp. lagos Alchichica, La Preciosa y Quechulac; B) *Anenestli* o larvas de odonatos lagos Alchichica y Atexcac; C) *Tequesquite* lago Alchichica y laguna El Salado; D) ajolotes *Ambystoma velasci* lago La Preciosa.

Sus actividades se conservaron y fueron el medio de subsistencia para la población de la época, hasta los años setenta del siglo pasado, debido a la paulatina desecación de estos lagos, que se inició desde los años treinta (Alcocer et al., 2004; Alcocer y Filonov, 2007;

Alcocer y Bernal-Brooks, 2010), mismos años que coinciden con el cambio de estilo de vida, ganadero y agrícola de quienes habitan la región.

Del mismo modo en la Región se consume recurrentemente la flor de Yuca o Izote; en esta zona se consigue prácticamente en todo el año, aunque su abundancia es más notoria durante la semana santa y es precisamente cuando más la degustan, ya sea en tortitas capeadas con huevo y salsas o hervida con sal (ver Figura 4).

Figura 4

Detalle de la flora nativa utilizada en la región de los Axalapascos



Nota. Flora nativa utilizada en la región de los Axalapascos como alimento o con fines religiosos A) Flores de yuca o izote B) Cucharilla.

La memoria biocultural es el acervo histórico, ecológico y cultural acumulado por una sociedad a lo largo del tiempo, que integra conocimientos tradicionales, prácticas productivas, sistemas simbólicos, valores y experiencias territoriales vinculadas con la biodiversidad. Esta memoria no reside únicamente en individuos, sino que se expresa colectivamente en saberes locales, lenguajes, rituales, sistemas agroecológicos y formas de manejo del entorno, constituyendo un mecanismo de continuidad adaptativa entre cultura

y naturaleza (Toledo y Barrera-Bassols, 2008). Es colectiva y territorial**:** se construye en interacción con ecosistemas específicos (milpas, bosques, humedales, sistemas lacustres).

Es dinámica y adaptativa**:** no es un archivo estático, sino un sistema vivo que incorpora innovaciones y responde a perturbaciones ecológicas y sociales. Integra tres dimensiones interdependientes**:** Diversidad biológica**,** Diversidad cultural**,** Diversidad lingüística Funciona como base de resiliencia socioecológica, ya que permite a las comunidades enfrentar crisis ambientales mediante conocimientos históricos sobre clima, suelos, especies y ciclos ecológicos.

Opera como patrimonio inmaterial**,** transmitido intergeneracionalmente a través de la práctica, la oralidad y la experiencia productiva.

En este marco, la memoria biocultural no es simplemente "recordar", sino reproducir y resignificar la relación sociedad–naturaleza en el tiempo**,** sosteniendo identidades, sistemas productivos tradicionales y estrategias de conservación *in situ*.

De manera similar, las sociedades poseen una memoria colectiva, una memoria social, y existe también una memoria biocultural que nos conecta con nuestro contexto natural ancestral. Esta memoria incluye usos y costumbres transmitidos de generación en generación a lo largo del tiempo.

Aunque todas las especies animales tienen teóricamente una memoria genética que les permite adaptarse en la historia natural, la especie humana es única al poder conscientemente revelar los recuerdos que integran su propia historia con la naturaleza (Worster, 2004).

Desafortunadamente, se vive una crisis civilizatoria en la actualidad, resultado de diversas crisis complejas, incluida la biocultural, que nos ha desconectado de nuestro entorno, en especial de los animales (Leff, 2004).

Actividades con alto impacto ambiental en la región de los Axalapascos

La región de los Axalapascos presenta 144 especies forestales con 18 usos distintos (frutos, madera, ornamental y leña), pero ha sufrido una deforestación brutal de aproximadamente 25,000 ha entre 1991 y 2005 (EJAtlas, 2022, Cruz-Aviña, 2025).

La disponibilidad de gas doméstico alcanza solo al 20 % de las viviendas y únicamente el 5 % de la madera se destina al consumo local. La minería, tanto activa

como abandonada, ha explotado grava, oro, plata, zinc y mármol en la región, generando impactos ambientales y conflictos por el uso del suelo y agua (Cruz-Aviña et al., 2017).

Además, la sobreexplotación de acuíferos para la industria automotriz, agroindustrial y energética amenaza la sustentabilidad de los ecosistemas locales y la salud de las comunidades (CONEVAL, 2010). En la Cuenca Oriental, la presencia de megagranjas porcinas, invernaderos para exportación, parques solares y plantas automotrices ha provocado despojo de tierras, contaminación de suelos y aguas, y riesgos sanitarios, incluyendo la emergencia de la gripe A/H1N1 en 2009, cuyo desarrollo y dinámica de transmisión han sido analizados en la literatura epidemiológica en relación con los sistemas de producción pecuaria intensiva (Smith et al., 2009; Graham et al., 2008).

La alta demanda de agua para estas industrias es alarmante: producir una tonelada de carne de cerdo requiere más de 2 millones de litros, mientras que la producción de automóviles y berries exportables consume entre 400,000 y 840,000 (l/t) [litros por tonelada] (Berger et al., 2012; EJAtlas, 2022).

El impacto ambiental se agrava por residuos de agroquímicos y fertilizantes, que contaminan suelos y acuíferos con compuestos cancerígenos y afectan la salud de quienes trabajan y habitan la región. La presión de estas industrias ha generado conflictos sociales y desestructuración de la agricultura campesina, mientras se planean nuevas instalaciones industriales que podrían intensificar la degradación ambiental en la región (Cruz-Aviña et al., 2017; EJAtlas, 2022) (ver Figura 5).

Figura 5

Detalle del lago La Preciosa; al fondo, granjas porcinas



Nota. Granjas porcinas de alto impacto ambiental.

Especies exóticas, enfermedades emergentes y amenazas

En la Cuenca Oriental se han registrado 10 especies acuáticas exóticas (trucha, tilapia, lobina, carpas, golden fish, poecilidos, rana toro y tortuga de orejas rojas) y la extinción de tres especies nativas (Cruz-Aviña, 2025).

Aunque aún se desconocen los impactos completos sobre parásitos y enfermedades, se han identificado trematodos y nemátodos que afectan a los charales nativos (Lira-Guerrero et al., 2008).

Se han reportado amenazas sanitarias e infecciosas en humanos y fauna silvestre, que abarcan zoonosis (como Brucella spp., A/H1N1, leishmaniosis, enfermedad de Lyme y tuberculosis), enfermedades arbovirales y transmitidas por vectores (dengue, chikungunya y paludismo), así como infecciones transmisibles globales como la infección por el VIH (Cruz-Aviña et al., 2017; Castañeda-Roldán et al., 2024; Cruz-Aviña, 2025).

El aumento reciente de la producción agrícola intensiva; arándanos y ganadera: granjas porcinas y avícolas, incrementa la transmisión de zoonosis y amenaza la fauna nativa.

Proyectos industriales como el complejo la Célula y la planta Audi en San José Chiapa utilizan grandes volúmenes de agua de pozos profundos y liberan múltiples sustancias químicas al ambiente, muchas de ellas no reguladas adecuadamente (Cruz-Aviña et al., 2017). Además, la movilización social frente a conflictos ambientales ha sido criminalizada; varias personas defensoras del medio ambiente han sido amenazadas o asesinadas, reflejando un contexto de impunidad y riesgos para los derechos humanos en la región (EJAtlas, 2022; Cruz-Aviña, 2025).

Conclusiones

La *praxis* medioambiental ha sido relegada al ámbito de la ecología; sin embargo, ahora es necesaria una visión integral y multidisciplinaria, con acciones sistemáticas a largo plazo. En la Región de los Axalapascos, la pérdida de la memoria biocultural y la noción de territorio son los factores que más influyen en la dilución del intercambio de información transgeneracional y la asimilación de buenas prácticas relacionadas con la fauna silvestre como patrimonio cultural como partes *sine qua non* de su Historia Ambiental.

Dos condiciones ambientales hacen que la Cuenca Oriental sea extremadamente lábil y susceptible a la desertificación: la aridez provocada por la sombra de lluvia de la Sierra Madre Oriental y la filtración del agua en sus suelos altamente permeables. Existen evidencias recientes que la Región ha sido habitada desde hace mucho tiempo y que la modificación del clima ha tenido un fuerte impacto sobre las poblaciones ahí asentadas, es decir su historia ambiental.

El territorio ha sido transformado de un área natural a una zona de sacrificio. Sus malpaíses, bosques, matorrales y pastizales se han transformado en zonas de cultivo y de sobrepastoreo caprino con la consecuente erosión del suelo. Del mismo modo, hay que resaltar la necesidad e importancia del tema de la Educación Ambiental no formal para la conservación de la biodiversidad.

Estos programas deben planearse y realizarse en forma local, basados en diagnósticos que identifiquen los principales problemas, tanto los relacionados con la conservación, como los económicos y los sociales, de manera multidisciplinaria.

Muchos son los factores que tienen influencia en la aparición de las enfermedades infecciosas, en esta Región. Por ejemplo, la desforestación conlleva a la fragmentación de los hábitats aumentando el efecto de borde, lo cual favorece el contacto entre patógenos, vectores y hospederos, como se ve reflejado, en los poblados de San Luis Atexcac y San Juan de la Muralla, en Guadalupe Victoria.

Algunas otras enfermedades pueden emerger o reemerger como resultado de patógenos que invaden un nicho recién creado o recién desalojado, debido a cambios ambientales causados por la construcción de carreteras, la irrigación de los campos, la construcción de represas, los sistemas intensivos de agricultura y producción animal, la extensión descontrolada de áreas urbanas, la deficiente sanidad pública y la contaminación, como en el tristemente célebre del caso de la influenza tipo A/H1N1, también en la Región.

El uso indiscriminado de plaguicidas, así como el uso de compuestos antimicrobianos han propiciado el desarrollo de una amplia resistencia bacteriana entre los microorganismos locales, así como la reciente aparición de enfermedades emergentes que atacan básicamente a la fauna local: peces, anfibios, reptiles y mamíferos pequeños y ganado.

Recomendaciones

Conservación de la biodiversidad y los ecosistemas

Fomentar la protección y restauración de lagos cráter y cuerpos de agua, priorizando la supervivencia de charales, ajolotes y anfibios endémicos. Implementar programas de control de especies acuáticas exóticas para reducir su impacto sobre la ictiofauna nativa.

Regular la extracción de agua subterránea y superficial, promoviendo técnicas de riego sustentable y la recuperación de acuíferos. Incentivar la gestión forestal comunitaria y el aprovechamiento responsable de madera, frutos y leña, minimizando la desforestación.

Gestión y conservación del recurso hídrico

Supervisar y regular las descargas de químicos y residuos de la agroindustria y la industria automotriz, aplicando estándares ambientales más estrictos. Promover la certificación de buenas prácticas agrícolas y ganaderas para disminuir la contaminación de suelos y cuerpos de agua.

Protección del patrimonio biocultural

Implementar programas de vigilancia epidemiológica para especies silvestres, ganadería y comunidades humanas, enfocándose en enfermedades emergentes y zoonóticas.

Monitoreo, investigación y educación ambiental

Desarrollar programas educativos que promuevan la protección de especies endémicas y su entorno, integrando conocimientos tradicionales y científicos. Impulsar talleres, materiales didácticos y campañas de sensibilización para involucrar a niñas, niños, jóvenes y personas adultas en la conservación de la biodiversidad local.

Documentar y promover la memoria biocultural de las especies nativas, incorporando prácticas locales en estrategias de conservación. Integrar la cosmovisión tradicional en proyectos educativos y comunitarios para fortalecer la relación entre comunidad y entorno natural.

Participación y gobernanza comunitaria

Garantizar la participación de las comunidades locales en la toma de decisiones sobre megaproyectos, minería, parques industriales y energéticos.

Fortalecer mecanismos de protección a personas defensoras del medio ambiente y sancionar la impunidad frente a violaciones de derechos humanos ambientales.

Del mismo modo, la restauración ecológica en la Región de los Axalapascos debe concebirse desde un enfoque biocultural, entendiendo a los lagos cráter no sólo como

cuerpos de agua aislados, sino como verdaderos sistemas socioecológicos donde convergen procesos geológicos, dinámicas hidrológicas, biodiversidad endémica e historia humana.

En este sentido, resulta prioritario declarar zonas de restauración en lagos como Laguna de Atexcac y Laguna de Alchichica, estableciendo polígonos de exclusión temporal para actividades extractivas y presiones antrópicas críticas.

La restauración de la vegetación ribereña con especies nativas adaptadas a condiciones de aridez contribuiría a estabilizar suelos, reducir escorrentía y favorecer la infiltración, mientras que la creación de bancos comunitarios de germoplasma permitiría conservar la diversidad genética local y fortalecer procesos de restauración a largo plazo.

Paralelamente, el manejo integral del suelo debe orientarse a frenar la desertificación que caracteriza a la Cuenca Oriental. La implementación de técnicas de captación de agua —como zanjas de infiltración, bordos y presas filtrantes— favorecería la recarga hídrica y la retención de humedad en un contexto de alta permeabilidad edáfica.

La reconversión productiva del sobrepastoreo caprino hacia esquemas silvopastoriles reduciría la presión sobre matorrales y pastizales, al tiempo que diversificaría la producción.

Estos esfuerzos podrían fortalecerse mediante esquemas de Pagos por Servicios Ambientales enfocados en la retención de suelo, captura de carbono y mantenimiento de cobertura vegetal.

No obstante, la restauración ecológica sería incompleta sin la recuperación de la memoria biocultural y la territorialidad.

Un programa de cartografía biocultural participativa permitiría mapear sitios sagrados, zonas históricas de pesca, rutas de pastoreo y áreas de alta biodiversidad, integrando saberes locales con herramientas académicas de Sistemas de Información Geográfica.

De este proceso podrían derivarse atlas comunitarios de Historia Ambiental que documenten las transformaciones del territorio. Complementariamente, la creación de un Archivo Oral de la Cuenca Oriental posibilitaría registrar testimonios intergeneracionales sobre clima, fauna, enfermedades y prácticas agrícolas tradicionales, sistematizando conocimientos sobre manejo del agua y fauna silvestre e incorporándolos a los currículos escolares locales. Las llamadas “escuelas de territorio” funcionarían como espacios permanentes de educación ambiental no formal, donde personas científicas, productoras, pescadoras y de estudiantes intercambien saberes y fortalezcan la comprensión de la fauna nativa como patrimonio biocultural.

Por su parte, dada la relación entre fragmentación del hábitat y emergencia de zoonosis, se vuelve indispensable adoptar un enfoque de salud integral bajo el paradigma One Health (Una Sola Salud).

Esto implicaría establecer una red regional de monitoreo sanitario con muestreos periódicos en fauna silvestre —anfibios, peces, roedores—, vigilancia de resistencia antimicrobiana ambiental y monitoreo de plaguicidas en agua y sedimentos.

La regulación estricta del uso de antimicrobianos y agroquímicos, mediante registros obligatorios de venta y aplicación, incentivos para la transición agroecológica y protocolos de bioseguridad en unidades pecuarias, permitiría reducir riesgos sanitarios.

Un observatorio regional de enfermedades emergentes, articulando universidad, sector salud y comunidades, facilitaría sistemas de alerta temprana ante brotes.

La reconversión productiva debe avanzar hacia una economía territorial sustentada en la agroecología. La sustitución progresiva de agroquímicos por bioinsumos, la diversificación de la milpa con cultivos resistentes a sequía y la certificación de producción biocultural fortalecerían la resiliencia económica local.

Estos procesos podrían acompañarse de incentivos diferenciados, como estímulos fiscales para productores que mantengan cobertura vegetal, créditos verdes condicionados a prácticas regenerativas y el impulso de mercados locales con identidad territorial.

En términos de gobernanza, resulta indispensable consolidar un ordenamiento ecológico vinculante que incorpore criterios de desertificación y fragilidad ambiental, estableciendo zonas de exclusión para minería y megaproyectos en áreas críticas.

Las evaluaciones de impacto ambiental deberían integrar la Historia Ambiental y la memoria biocultural como criterios formales, considerando impactos acumulativos y no únicamente efectos inmediatos.

La creación de un Consejo Regional Biocultural con representación comunitaria obligatoria, participación académica y mecanismos de transparencia permitiría dar seguimiento efectivo a proyectos estratégicos.

La educación ambiental no formal debe constituirse como eje transversal de transformación territorial. Programas intergeneracionales centrados en fauna endémica —como charales y ajolotes—, materiales didácticos contextualizados, campañas sobre resistencia antimicrobiana y salud ecosistémica, rutas bioculturales interpretativas en los

Axalapascos y ferias comunitarias de saberes ambientales pueden fortalecer el vínculo entre comunidad y territorio.

Finalmente, una estrategia estructural de largo alcance sería impulsar la declaratoria de "Paisaje Biocultural de la Región de los Axalapascos". Esta figura permitiría integrar conservación, cultura y producción en un mismo marco de gestión, facilitar el acceso a financiamiento nacional e internacional y reconocer formalmente la memoria biocultural como patrimonio territorial vivo.

Declaraciones éticas

Declaración de uso de inteligencia artificial generativa. Las personas autoras declaran que no utilizaron herramientas de inteligencia artificial generativa para la redacción, el análisis de datos o la elaboración de resultados del presente capítulo. Se empleó únicamente LanguageTool, herramienta de corrección asistida no generativa, como apoyo en la revisión de estilo y sintaxis.

Declaración de financiamiento. La presente investigación no recibió financiamiento externo específico de agencias públicas, comerciales o sin fines de lucro. El trabajo se desarrolló con recursos propios de las personas autoras y con el apoyo institucional de la VIEP-BUAP.

Declaración de conflicto de intereses. Las personas autoras declaran que no existe conflicto de intereses de carácter financiero, académico, institucional o personal que haya influido en el desarrollo, análisis, interpretación de resultados o elaboración del presente capítulo de investigación.

Declaración de originalidad y envío único. Las personas autoras declaran que el capítulo es original, no ha sido publicado previamente en ningún medio impreso o digital y no se encuentra en proceso de revisión en otra publicación. Todas las fuentes consultadas se citan adecuadamente conforme a las normas APA, séptima edición. No se incurre en autoplagio ni en reproducción no autorizada de material ajeno.

Declaración de ética de la investigación con personas. El trabajo de campo realizado entre 2011 y 2017 incluyó interacción con comunidades pesqueras artesanales en la región de Alchichica. La información de carácter socioambiental se obtuvo mediante observación directa, registro etnográfico y comunicación con actores locales, respetando

en todo momento los principios de confidencialidad, anonimato y consentimiento informado verbal.

Debido a la naturaleza no invasiva del estudio y a su enfoque predominantemente ecológico, no se contó con la evaluación de un comité formal de ética; sin embargo, las actividades se condujeron bajo principios éticos ampliamente aceptados en investigación socioambiental y etnobiológica.

Contribución de autoría (CRediT). Juan Ricardo Cruz-Aviña: conceptualización, metodología, investigación, análisis formal, redacción (borrador original) y redacción (revisión y edición).

María Guadalupe Tenorio Arvide: curación de datos, investigación (apoyo en trabajo de campo), validación y redacción (revisión y edición).

Declaración de permisos de terceros. Las figuras 1 a 5 son de autoría propia. Las fotografías que incluyen personas identificables se obtuvieron con su consentimiento informado para fines de divulgación académica. No se reproduce material sujeto a derechos de terceros.

Referencias

Adame, M. F., Alcocer, J. y Escobar, E. (2008). Size-fractionated phytoplankton biomass and its implications for the dynamics of an oligotrophic tropical lake. *Freshwater Biology*, *53*(1), 22–31. https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01870.x

Albores Zárate, B. (1995). *Tules y sirenas: El impacto ecológico y cultural de la industrialización en el Alto Lerma*. El Colegio Mexiquense / Secretaría de Ecología, Gobierno del Estado de México.

Álvarez, J. (1950). Contribución al conocimiento de los peces en la región de los Llanos, estado de Puebla (México). *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, *6*(1–4), 81–107.

Arredondo-Figueroa, J. L. y Flóres-Nava, A. (1992). Características limnológicas de pequeños embalses epicontinentales, su uso y manejo en la acuacultura. *Hidrobiológica, 3*(3-4), 1–10.

Alcocer, J. (Ed.). (2019). *Lago Alchichica: Una joya de biodiversidad*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala y

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. http://www.librosoa.unam.mx/handle/123456789/2986

Alcocer, J. (2021). *Lake Alchichica Limnology*. The Uniqueness of a Tropical Maar Lake; Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-79096-7

Alcocer, J. y Bernal-Brooks, F. W. (2010). Limnology in Mexico. *Hydrobiologia, 644*, 1–54.

Alcocer, J. y Filonov, A. (2007). A note on the effects of an individual large rainfall event on saline Lake Alchichica, Mexico. *Environmental Geology*, *53*(4), 777–783. https://doi.org/10.1007/s00254-007-0681-0.

Alcocer, J., Chiappa-Carrara, X., Arce, E. y Zambrano, L. (2009). Threatened fishes of the world: Poblana alchichica (de Buen, 1945)(Atheriniformes: Atherinopsidae). *Environmental biology of fishes, 85*(4), 317–318.

Alcocer, J., Escolero, O. y Marín, L. (2004). Problemática del agua de la Cuenca Oriental, estados de Puebla, Veracruz y Tlaxcala. En B. Jiménez y L. Marín (Eds.), *El agua en México vista desde la academia* (pp. 57–77). Academia Mexicana de Ciencias.

Alcocer, J., Merino-Ibarra, M., Ramírez-Zierold, J. A., Oseguera, L. A., Cortés-Guzmán, D., Castillo-Sandoval, F. S., ... y Pérez-Ramírez, M. G. (2021). Lake Alchichica limnology: The uniqueness of a tropical maar lake. En *Limnology and Aquatic Birds: Proceedings of the Fourth Conference Working Group on Aquatic Birds of the Societas Internationalis Limnologiae (SIL)* (pp. 491–511). Springer Nature.

Berger, M., Warsen, J., Krinke, S., Bach, V. y Finkbeiner, M. (2012). Water footprint of European cars: potential impacts of water consumption along automobile life cycles. *Environmental science & technology*, *46*(7), 4091–4099.

Bhattacharya, T., R. Byrne, H. Böhnel, K. Wogau, U. Kienel, L. Ingram y S. Zimmerman (2015). Cultural implications of late Holocene climate change in the Cuenca Oriental, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 8*(112), 1693–1698. https://doi.org/10.1073/pnas.1405653112

Boege, E. (2008). *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México: Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrodiversidad en los territorios indígenas* (1.ª reimp.). Instituto Nacional de Antropología e Historia y Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. https://

patrimoniobiocultural.com/archivos/publicaciones/libros/El_patrimonio_biocultural.pdf

Brandon, R. A., Maruska, E. J. y Rumph, W. T. (1981). A New Species of Neotenic Ambystoma (Amphibia, Caudata) En-demic to Laguna Alchichica, Puebla, Mexico. *Bulletin, Southern California Academy of Sciences, 80*(3), 112–125.

Can Chulim, Á. (2010). *Calidad de las aguas para riego en la Cuenca de Oriental y Sierra Norte, estados de Puebla, Tlaxcala y Veracruz* [Tesis de doctorado]. Colegio de Postgraduados.

Can Chulim, Á., Ortega Escobar, H. M., García Calderón, N. E., Reyes-Ortigoza, A. L., González Hernández, V. A. y Flores Román, D. (2011). Origen y calidad del agua subterránea en la Cuenca Oriental de México. *Terra Latinoamericana, 29*(2), 189–200.

Castañeda-Roldán, E. I., Cruz-Aviña, J. R., Tenorio-Arvide, M. G., Valera-Pérez, M. A., Villa-Mancera, A. E., Díaz-Larrea, J. y Cabrera, R. (2024). Aislamiento de Brucella melitensis en suelo agrícola, Puebla, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, *40*. https://doi.org/10.20937/RICA.55031.

Ceballos, G., Pardo, E. D., Estévez, L. M. y Pérez, H. E. (2018). *Los peces dulceacuícolas de México en peligro de extinción*. Fondo de Cultura Económica.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (1954). *Actualización de la disponibilidad de agua en el acuífero Libres-Oriental, estado de Puebla* [Documento técnico]. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Secretaría de Agua y Medio Ambiente.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2005). *Estadísticas del agua en México*. https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-del-agua-en-mexico

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2012). *Capital natural de México: Acciones estratégicas para su valoración, preservación y recuperación*.

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2010). *Metodología para la medición multidimensional de la pobreza en México*. CONEVAL

Cruz-Aviña, J. R. (2025). La problemática ambiental en la región de los Axalapascos, Puebla y algunas reflexiones ante el cambio climático. En A. M. Ramírez, E. Higueras Zamora y B. Ramírez Valverde (Coords.), *Problemas socioambientales:*

Reflexiones y retos ante la complejidad del Siglo XXI (pp. 239–261). El Colegio de Tlaxcala, A. C. https://www.researchgate.net/publication/394518175

Cruz-Aviña, J. R., Álvarez-González, C. A., Aranda-Morales, S. A., Figueroa-Lucero, G., Nieves-Rodríguez, K. N. y Peña-Marín, E. S. (2023). Functional differences of digestive proteases in three fish species of the genus Poblana (Atheriniformes: Atherinopsidae). *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, *59*(2), 382-394. https://doi.org/10.1134/S0022093023020072

Cruz-Aviña, J. R., Castañeda-Roldán, E. I. y Silva-Gómez, S. E. (2017). La problemática ambiental de la Región de los Axalapascos de Puebla: Erosión, pobreza, enfermedades, biodiversidad, etnocultura. En A. L. Rodríguez-Herrera, B. Olivier-Salome y R. López-Velasco (Eds.), *El desarrollo sostenible* (pp. 129–150). Plaza y Valdés.

Cruz-Aviña, J. R., Castañeda-Roldán, E. I., Álvarez-González, C. A., Nieves-Rodríguez, K. N. y Peña-Marín, E. S. (2020). Aislamiento de *Brucella melitensis* en el charal *Poblana letholepis* (Atheriniformes: Atherinopsidae) del Lago Cráter La Preciosa en el Centro de México. *Hidrobiológica, 30*(2), 163–171.

Cruz-Aviña, J. R., Frometa, A. E. N., Roldán, E. I. C., Díaz-Larrea, J., Núñez-García, L. G. y Cabrera, R. (2021). Detección y aislamiento de *Brucella* spp. en lagos Maars, Puebla, México. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, 4*(4), 5001–5016.

Cruz-Aviña, J. R., Ramos-Contreras, D., Ramírez-Bravo, O. E., Arias-Ortega, M. Á. y Ortiz-Espejel, B. (2024). Últimas pescadoras de charal en el Lago Alchichica, Puebla, México / Last charal fisherwomen in Alchichica Lake, Puebla, Mexico. *Ciencia Pesquera, 32*(Especial), 151–161. https://doi.org/10.64106/cienciapesquera.v32iEspecial.18

Cuéllar, O., Méndez, F. y Villagrán, M. (1996). Rana chichicuautla, a new species of leopard frog from the Mexican Plateau. *Revista de Zoología (UNAM), 8*, 1–8. https://www.researchgate.net/publication/367299124_Rana_chichicuahutla_a_new_species_of_leopard_frog_from_the_Mexican_plateau/citations

De Buen, F. (1945). Investigaciones sobre la ictiología mexicana I. Atherinidae de aguas continentales de México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, 16*, 475–532.

Diario Oficial de la Federación (DOF). (1997). *NOM-059-ECOL-1994. Norma Oficial Mexicana, que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial y establece especificaciones para su protección*. Diario Oficial de la Federación

Díaz, E. y Plascencia, R. (1977). *Estudio hidrogeológico de la Cuenca del Valle de México*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

EJAtlas (Atlas de Justicia Ambiental). (2022). *Granjas Carroll*. https://ejatlas.org/conflict/contaminacion-por-granjas-caroll-en-la-cuenca-libres-oriental-mexico

Escobar-Briones, E. y Alcocer, J. (2002). Caecidotea williamsi (Crustacea: Isopoda: Asellidae), a new species from a saline crater-lake in the eastern Mexican Plateau. *Hydrobiologia, 467*, 91–96 .

Frías-Álvarez, P., Vredenburg, V. T., Familiar-López, M., et al. (2008). Chytridiomycosis survey in wild and captive Mexican amphibians. *EcoHealth, 5*(1), 18–26. https://doi.org/10.1007/s10393-008-0155-3

García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (5ª ed.). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

García Cook, Á. (2004). Cantona: Ubicación temporal y generalidades. *Arqueología, 33*, 91–108.

Gasca, D. A. (1981). Génesis de los lagos-cráter de la cuenca de Oriental. *Colección Científica de Prehistoria*, 1–57.

Geréz, F. P. (1983). Crónica del uso de los recursos naturales en la cuenca Perote–Libres. En A. D. Golberg (Comp.), *El Cofre de Perote: Investigaciones ecológicas en un área conflictiva* (pp. 11–15). INIREB.

Graham, J. P., Leibler, J. H., Price, L. B., Otte, J. M., Pfeiffer, D. U., Tiensin, T. y Silbergeld, E. K. (2008). The animal-human interface and infectious disease in industrial food animal production: Rethinking biosecurity and resilience. *Public Health Reports, 123*(3), 282–299. https://doi.org/10.1177/003335490812300309

Hortelano Santa Rosa, R., Gil Muñoz, A., Santacruz Varela, A., López Sánchez, H., López, P. A. y Miranda Colín, S. (2012). Diversidad fenotípica de maíces nativos del altiplano centro-oriente del estado de Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana, 35*(2), 97–109.

Jiménez Ramírez, J. y Vega Flores, K. (2011). *Jatropha mirandana* (Euphorbiaceae), especie nueva de la Cuenca Oriental del río Balsas de los estados de Guerrero y Puebla, México. *Novon: A Journal for Botanical Nomenclature, 21*(2), 192–195.

Knoblich, K. (1978). La cuenca de El Seco–Oriental: Una reserva de agua subterránea natural para el futuro. *Comunicaciones Proyecto Puebla/Tlaxcala, 15*, 231–234.

Lara, F. (2021). *Región de emergencia socioambiental Cuenca Libres Oriental, Puebla. Ponencia en el Webinario "Las Regiones de Emergencia Ambiental en México. DelDiagnóstico al Modelo de Restauración: Cuenca del Alto Río Santiago (Jalisco) y Cuenca del Acuífero Libres Oriental (Puebla)"*. Conacyt. https://youtu.be/Dvp4dS9FwW4

Leff, E. (2004). *Racionalidad ambiental: La reapropiación social de la naturaleza*. Siglo XXI Editores.

Lira-Guerrero, G., García-Prieto, L. y Pérez-Ponce de León, G. (2008). Helminth parasites of atherinopsid freshwater fishes (Osteichthyes: Atheriniformes) from central Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, *79*(2), 325-331.

María, R. A., Higueras Zamora, E. y Ramírez Valverde, B. (Coords.). (2025). *Problemas socioambientales: Reflexiones y retos ante la complejidad del Siglo XXI*. El Colegio de Tlaxcala, A. C. https://doi.org/10.63042/Coltlax.129

Oliva, M. G., Lugo, A., Alcocer, J. y Cantoral-Uriza, E. A. (2006). Cyclotella alchichicana sp. nov. from a saline Mexican lake. *Diatom Research, 21*(1), 81–89.

Ordóñez, E. (1906). Los Xalapazcos del estado de Puebla. *Anales del Instituto Geológico de México, 1*(8), 348–405.

Ortega-Guerrero, B., Albarrán-Santos, M. A., Caballero, M., Reyes-Corona, I., Gutiérrez-Méndez, B. y Caballero-García, L. (2018). Reconstrucción paleoambiental de la subcuenca de Xochimilco, centro de México, entre 18000 y 5000 años antes del presente. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, *35*(3), 254–267.

Ortega-Mayagoita, E., Rojo, C. y Rodrigo, M. A. (2002). Factors masking the trophic cascade in shallow eutrophic wetlands: Evidence from a microcosm study. *Archiv für Hydrobiologie*, *155*(1), 43–63. https://doi.org/10.1127/archiv-hydrobiol/155/2002/43

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010, 30 de diciembre). *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-*

Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación.

Smith, G. J., Vijaykrishna, D., Bahl, J., Lycett, S. J., Worobey, M., Pybus, O. G., Ma, S. K., Cheung, C. L., Raghwani, J., Bhatt, S., Peiris, J. S. M., Guan, Y. y Rambaut, A. (2009). Origins and evolutionary genomics of the 2009 swine-origin H1N1 influenza A epidemic. *Nature, 459*(7250), 1122–1125. https://doi.org/10.1038/nature08182

Toledo, V. M. y Barrera Bassols, N. (2009). La memoria biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. *Ciencias, 96*, 76.

Toledo, V. M., Garrido, D. y Barrera-Bassols, N. (2013). Conflictos socioambientales, resistencias ciudadanas y violencia neoliberal en México. *Ecología Política, 46*, 115–124.

Transnational Institute. (2021). *Empresas transnacionales y libre comercio en México: Caravana sobre los impactos socioambientales (ToxiTour México)*. https://www.tni.org/es/publicación/empresas-transnacionales-y-libre-comercio-en-mexico

Tricart, J. (1985). *Pro-lagos: Los lagos del eje neovolcánico de México*. UNAM, Instituto de Geografía.

Walter, M., Weber, L. y Temper, L. (2023). The EJAtlas: An unexpected pedagogical tool to teach and learn about environmental social sciences. En S. Villamayor-Tomas y R. Muradian (Eds.), *The Barcelona School of Ecological Economics and Political Ecology: A companion in honour of Joan Martinez-Alier* (pp. 211–218). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22566-6_18

White, J. D. L. y Ross, P. S. (2011). Maar-diatreme volcanoes: A review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research, 201*(1–4), 1–29. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2011.01.010

Worster, D. (2004). *Dust Bowl: The Southern Plains in the 1930s* (25th anniversary ed.). Oxford University Press.