

Estrategias para el manejo sostenible de la trucha *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) en la microcuenca de Tlahuapan, Puebla

Estratégias para o manejo sustentável da truta *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) na microbacia de Tlahuapan, Puebla

DOI:10.34117/bjdv8n6-113

Recebimento dos originais: 21/04/2022

Aceitação para publicação: 31/05/2022

Gabriel Cruz Alcocer

Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas pela CENAGRO-ICUAP
Institución: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Dirección: Ecocampus Valsequillo, San Pedro Zacachimalpa, C.P. 72960, Puebla
México
E-mail: gabriel_cruz84@hotmail.com

Juan Ricardo Cruz-Aviña

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Laboratorio de Medicina de la
Conservación
Institución: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Dirección: Km. 7.5 Carretera Cañada Morelos, El Salado, Tecamachalco, C.P. 75492
Puebla, México
E-mail: juan.cruzavina@correo.buap.mx

María Guadalupe Tenorio-Arvide

Graduada por Texas A&M University y la Benemérita Autónoma de Puebla, Puebla,
México
Institución: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, DICA- ICUAP
Dirección: Av. 14 Sur 6301, Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, México
E-mail: tenorio.arvide@correo.buap.mx

Daniel Jiménez-García

Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas pelo CENAGRO-ICUAP
Institución: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Dirección: Ecocampus Valsequillo, San Pedro Zacachimalpa 72960, Puebla, México
E-mail: daniel.jimenez@correo.buap.mx

Héctor Bernal-Mendoza

Graduado por el Colegio de Posgraduados. Institución: Benemérita Universidad
Autónoma de Puebla. Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas
CENAGRO-ICUAP
Dirección: Ecocampus Valsequillo, San Pedro Zacachimalpa, C.P. 72960 Puebla
México
E-mail: hector.bernal@correo.buap.mx

Jhoana Díaz-Larrea

Graduada de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa
Institución: Universidad Autónoma Metropolitana División de Ciencias Biológicas y de la Salud

Dirección: Av. San Rafael Atlixco 186, Iztapalapa, 09340 Ciudad de México
E-mail: jhoanadiazl@gmail.com

Rubén Cabrera

Graduado de la Universidad de La Habana
Institución: Gabinete de Arqueología, Oficina del Historiador de la Ciudad, Habana Vieja

Dirección: Calle Tacón 12, entre Obispo y O'Reilly, # 86150, La Habana, Cuba.
E-mail: cabreraalgas@gmail.com

RESUMEN

La acuicultura es la actividad agropecuaria con mayor crecimiento en México. Sin embargo; las multinacionales, la privatización del agua, el cambio climático y el estrés hídrico amenazan este sector. Debe por tanto la truticultura moderna, utilizar los ecosistemas acuáticos epicontinentales de manera eficiente y sustentable. El objetivo de este trabajo fue determinar el impacto generado por el cultivo de *Oncorhynchus mykiss* (uso de suelo, calidad del agua, biodiversidad) en los últimos 40 años en la microcuenca de Tlahuapan (20 UPAS) en Puebla. Se utilizaron metodologías mixtas para este propósito, se determinó el cambio de suelo por medio de imágenes Landsat (1973-2019) tratadas con QGIS®, para la estimación de la pérdida de biodiversidad se emplearon protocolos estándar y listados especializados. De igual forma, se analizaron los datos de volumen histórico y de calidad del agua. Los resultados obtenidos demuestran una pérdida gradual de la vegetación: Bosque (66%); Pastizal (30%), en contraste; aumentó el cambio de uso de suelo por la agricultura de temporal (10%), agricultura de riego (40%) y crecimiento Semi-urbano (70%), así como para las empresas extractivas (40%), la biodiversidad disminuyó en (50%), encontrándose aun relictos de especies bandera *vgr. Ambystoma leorae* (Taylor, 1943) y *Romerolagus diazii* (Merriam, 1896), la calidad del agua se ha mantenido, sin embargo; el volumen decreció (50%) aumentando su temperatura ($\geq 1.5^{\circ}\text{C}$). Se concluye que la actividad trutícola *per se* no ha mermado significativamente los bienes naturales de la microcuenca considerándose por tanto una actividad sustentable (Crecimiento Azul). En contraparte, las actividades de extractivismo y sus malas prácticas, han deteriorado significativamente la zona. Poniendo en riesgo ambiental esta actividad productiva, afectando la calidad de vida de los truticultores.

Palabras clave: área natural protegida, desarrollo sustentable, trucha arcoíris.

RESUMO

A aquicultura é a atividade agrícola que mais cresce no México. Porém; multinacionais, privatização da água, mudanças climáticas e estresse hídrico ameaçam esse setor. Portanto, a piscicultura moderna deve utilizar os ecossistemas aquáticos epicontinentais de forma eficiente e sustentável. O objetivo deste trabalho foi determinar o impacto gerado pelo cultivo de *Oncorhynchus mykiss* (uso da terra, qualidade da água, biodiversidade) nos últimos 40 anos na microbacia de Tlahuapan (20 UPAS) em Puebla. Para isso, foram utilizadas metodologias mistas, a alteração do solo foi determinada através de imagens Landsat (1973-2019) tratadas com QGIS®, protocolos padrão e listas

especializadas foram usados para estimar a perda de biodiversidade. Da mesma forma, foram analisados dados de volume histórico e qualidade da água. Os resultados obtidos mostram uma perda gradual de vegetação: Floresta (66%); Pradaria (30%), em contraste; A mudança no uso da terra aumentou devido à agricultura de sequeiro (10%), agricultura irrigada (40%) e crescimento semi-urbano (70%), bem como para empresas extrativas (40%), a biodiversidade diminuiu em (50%), ainda encontrando relíquias de espécies bandeira *vgr. Ambystoma leorae* (Taylor, 1943) e *Romerolagus diazii* (Merriam, 1896), a qualidade da água foi mantida; o volume diminuiu (50%) aumentando sua temperatura ($\geq 1.5^{\circ}\text{C}$). Conclui-se que a atividade da truta *perse* não reduziu significativamente os ativos naturais da microbacia, considerando-a, portanto, uma atividade sustentável (Crescimento Azul). Por outro lado, as atividades de extrativismo e suas más práticas deterioraram significativamente a área. Colocando esta atividade produtiva em risco ambiental, afetando a qualidade de vida dos criadores de trutas.

Palavras-chave: área natural protegida, desenvolvimento sustentável, truta arco-íris.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 IMPORTANCIA DEL SECTOR ACUÍCOLA EN MÉXICO Y EL CONCEPTO DE ACUACULTURA RESPONSABLE

México ocupa el puesto 20° a nivel mundial en pesca y acuicultura, con crecimientos del orden del (4%) anual, de los que el (0.10 %) corresponde a la Acuicultura. La actividad se ha incrementado al pasar del (8.9 %) en 2008 al (32.7 %) en 2018 (INEGI, 2020). Por su parte, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha desarrollado una serie de lineamientos para un mejor manejo de la Acuicultura, entre los que destacan el Código de Conducta para la Pesca Responsable (CCPR) y el Enfoque Ecosistémico de la Acuicultura (EEA) o “*Crecimiento azul*,” que es un enfoque en línea con el ordenamiento sostenible, integral y sensible de los ecosistemas acuáticos. Recientemente en 2020 en la declaración de Shanghái, se sugiere que la acuicultura moderna, requiere un enfoque integral responsable que considere la buenas prácticas en salud y el bienestar, mediante la optimización productiva, bioseguridad y el mantenimiento de un entorno de cultivo saludable en todas las fases del ciclo de producción, alineado plenamente a “*Una Sola Salud*”, y la “*Transformación Azul*” para influir en el desarrollo de la acuicultura sostenible y su trayectoria futura (FAO, 2021).

1.2 DESARROLLO DEL CULTIVO DE LA TRUCHA (TRUTRICULTURA) EN MÉXICO

La acuicultura en la cultura indígena era considerada una actividad sacra. Algunas especies eran cultivadas en "cercos o tapos" (estanques). Por ejemplo, los mayas alimentaban pejelagartos *Atractosteus tropicus* Gill, 1863 en cenotes, para después consumirlos (LANZA-ESPINO & HERNÁNDEZ-PULIDO, 2011). Estas técnicas los conducía a construir obras hidráulicas: "pequeñas presas, bordos y jagüeyes", en las regiones del altiplano central. Durante la época colonial, la acuicultura fue prohibida, aunque se continuó cultivando "charales" de la familia Atherinopsidae (Urbina, 1978). Otros autores mencionan que, se perdieron tradiciones y prácticas de aprovechamiento por ejemplo (cultivo de papa de agua o "Acuitlacpalli" *Sagittaria* spp., alga *Spirulina* spp., "mosco" o Corixidos adultos "Axayacatl" o sus huevos "Ahuahutle" *Corisella* spp y *Graptocorixa* spp., peces pequeños *Algansea* spp., *Poecilidae* spp., *Evarra* spp., "Mextlapique" *Girardinichthys* spp., "Acociles" *Cambarellus* spp., renacuajos *Lithobates* spp., ajolotes *Ambystoma* spp., entre otros (CRUZ-AVIÑA *et al.*, 2017; AGUILERA & NORIEGA 1988, LECHUGA & GONZÁLEZ 1985). Con esto, se cambiaron los hábitos alimentarios de los indígenas. A pesar de esto, se tiene documentado que, en los mercados del siglo XVI, se comerciaban más de un millón de pescados de los lagos de Xochimilco y Texcoco (ANÓNIMO, 1991). Posteriormente durante la época de independencia (1810-1821) pasa desapercibida la acuicultura. En 1960 el presidente Miguel Miramón dicta una disposición para que se le conceda "El privilegio exclusivo a Carlos Jacobi para la introducción de peces de agua dulce que existan en la República por el término de doce años, pudiéndolos propagar y aclimatar en el Valle de México" (LECHUGA & GONZÁLEZ, 1985), para repoblar lagos del país. Con el triunfo del presidente Benito Juárez, en sus Leyes de Reforma, dio órdenes para que se incluyera a los viveros de animales, con estanques de peces. Asimismo, se canceló el privilegio anterior y se declara "libre en toda la República el ramo de la piscicultura" (LECHUGA & GONZÁLEZ, 1985). Desde estas fechas hasta 1870 sólo se promulga una disposición sobre el derecho de cultivo y pesca, quedando en manos de los propietarios de los cuerpos de agua. En 1882 se fortalece la ley promulgada en 1870 en la cual se decreta como de uso público los mares territoriales, esteros, lagunas y ríos, tratándose de diversas materias, entre ellas el buceo de pesca, la pesca y la piscicultura. Una vez puesto el escenario legal para la Acuicultura, lo que seguía era impulsarla. Verbigracia Esteban Cházari publica en 1883 "Ideas sobre la importancia de impulsar vigorosamente la Piscicultura y la Acuicultura

en el País” (LECHUGA & GONZÁLEZ, 1985). Así surge posteriormente el libro “Piscicultura en agua dulce, instrucciones escritas a cargo de la Secretaria de Fomento”, (CHAZARI, 1884), comenzando a producir trucha arco iris durante 1839, *Oncorhynchus mykiss* en el Vivero Nacional de Chimalcapán, estado de México. Para 1883, se comisionó a La Motte para la creación de un Vivero Nacional con 500,000 huevos de trucha de importación provenientes de Estados Unidos de América (LECHUGA & GONZÁLEZ, 1985).

1.3 LA TRUTRICULTURA EN EL ESTADO DE PUEBLA

En México se han cultivado la trucha arcoíris desde hace 100 años para el repoblamiento en lagos, arroyos y a pequeña escala, pero esta actividad es aún incipiente. Con el fin de satisfacer el mercado interno, el gobierno impulsó la creación de centros productores de crías (alevines). Así, en 1937 empezó a operar la Estación Piscícola de Almoloya del Río, Estado de México, con huevos importados desde Norteamérica; posteriormente en 1943 se inauguró el “Centro Piscícola El Zarco”, Ciudad de México- Estado de México. Para 1979 se funda el Centro Matzinga, Veracruz; así como en 1983 se inaugura el Centro Acuícola de Apulco, Puebla. De acuerdo con la Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAP), Puebla es actualmente (1^{er} lugar nacional en valores por comercialización) y el segundo con el (21%) de participación nacional, con 3,006 toneladas en peso vivo de trucha arcoiris. Se cultiva y comercializa en 458 granjas de los municipios de Calpan, Chignahuapan, Chilchotla, Huejotzingo, Huachinango, Zacatlán y Tlahuapan, (CONAP, 2017).

1.4 LA TRUTRICULTURA EN SANTA RITA TLAHUAPAN

Poco está documentado de cómo llegó la trutricultura a la microcuenca de Tlahuapan, se reconoce de manera empírica que la piscifactoría (granja de peces) más antigua fue establecida en Rio Frío (límites de Estado de México y Puebla). Posteriormente en la década de los 80’s con las actividades de fomento a nivel federal y la organización de ejidatarios locales se fundaron las piscifactorías: Arcoiris y San Juan Cuauhtémoc, en el municipio de Santa Rita Tlahuapan, desde entonces en la región han existido alrededor de 20 granjas trutrícolas (CONAP, 2017) **Cuadro 1.**

Cuadro 1.- Principales granjas dedicadas a la truticultura de la microcuenca en Tlahuapan, Puebla, México.

No.	Nombre de la granja	Localidad	Georeferencia	
1	El Salto	Coltzingo	19.377501	-98.540095
2	San José Ojo de Agua	La Preciosita	19.41784	-98.543425
3	San Juan Cuauhtémoc	San Juan Cuauhtémoc	19.395141	-98.601358
4	Bienes Comunales, Tenerife	San Juan Cuauhtémoc	19.40161	-98.628904
5	Piedra Colorada	Ignacio M. Alatamirano	19.358333	-98.573056
6	Truchero Lazcano	Ignacio M. Alatamirano	19.359722	-98.580278
7	Río Escondido	Ignacio M. Alatamirano	19.375278	-98.609444
8	Arcoíris Sport Fishing	Ignacio M. Alatamirano	19.355556	-98.610556

1.5 ESTIMACIÓN DE COBERTURA VEGETAL, CAMBIOS DE USO DE SUELO Y PÉRDIDA BIODIVERSIDAD

La pérdida de la cobertura vegetal del suelo en las cuencas hidrológicas, está íntimamente ligado a la pérdida de su fertilidad orgánica derivado de actividades agropecuarias (ALTIERI, 1999), o del desarrollo de asentamientos humanos (PÉREZ et al., 1998), esta tasa de desaparición o de cambio, está relacionada también con la disminución de especies y la capacidad para optimizar la infiltración y la retención del agua., ocasionando una disminución en el volumen de los cuerpos de agua (CHOCANO et al., 2007). Los cambios en uso del suelo ocurridos durante las cuatro últimas décadas en México han conllevado a cambios climáticos de carácter regional, derivando en la disminución de la biodiversidad y comprometiendo su capacidad productiva. Los impactos y efectos ecológicos sobre la biodiversidad se derivan de la alteración de las condiciones microclimáticas necesarias para su reproducción y desarrollo, de la reducción del tamaño de las poblaciones de animales locales (nativos) por muerte directa, de la modificación de sus estructuras poblacionales, su formas de reproducción, de la disminución de su diversidad genética, y de su alteración de las interacciones biológicas y ecológicas con otras especies derivado en la aparición de especies invasoras (DEL CAMPO-PARRA et al., 2010).

1.6 TRUTRICULTURA Y CAMBIO CLIMÁTICO

En 2007 se publicó el Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), informando sobre las amenazas del cambio climático para la sociedad humana y los ecosistemas naturales. Aunque la importancia de la acuicultura suele ser infravalorada, las consecuencias del cambio climático para este sector y para las comunidades rurales son importantes. Al mismo tiempo, las actividades

acuícolas contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero (FAO, 2012). Por otra parte, la triticultura puede proporcionar medios de adaptación a las comunidades rurales que deben hacer frente a los efectos del calentamiento global y del cambio climático (deforestación, estrés hídrico, cambio de uso de suelo).

El enfoque basado en las cuencas hidrográficas precisa de cambios normativos y acciones de integración. En este caso se ha comprobado que el enfoque puede aplicarse a otros sectores comparables de explotación en pequeña escala bajo el concepto de *Crecimiento Azul* (FAO, 2012).

1.7 OTRAS AMENAZAS, MULTINACIONALES Y LA PRIVATIZACIÓN DEL AGUA

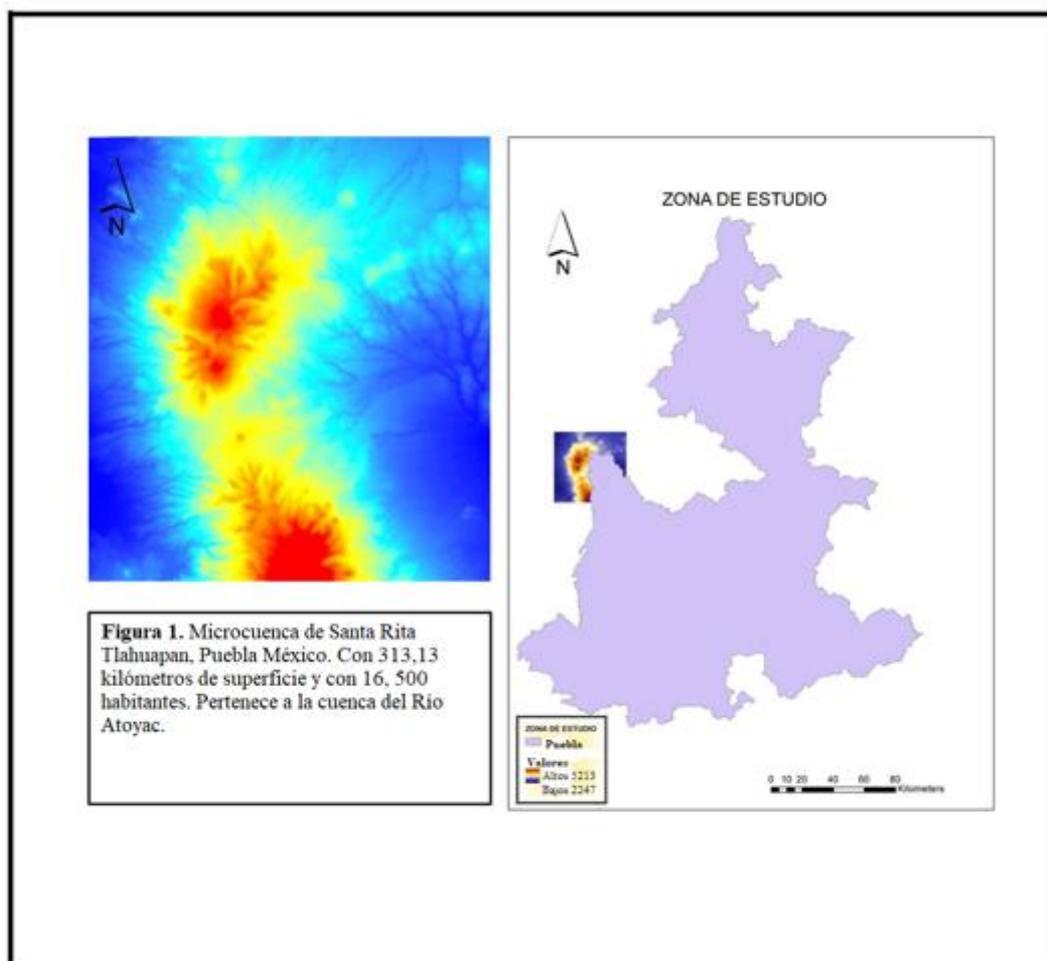
En la Región se presentan algunos conflictos socioambientales por el tema del agua, como es el caso de la problemática de la apropiación del agua del manantial Santa María, perteneciente a la junta auxiliar de Santa Cruz Otlatla, municipio de Tlahuapan, Puebla por la empresa trasnacional Nestlé desde 1991. Se trata de un impacto directo en el desarrollo del espacio local y que sin duda ha afectado, la disponibilidad de agua en la Región debido a que año con año la empresa aumenta sus volúmenes de embotellamiento de agua, (MEJIA-SANCHÉZ, 2016).

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio: la Microcuenca de Tlahuapan (N 19° 14'-19° 28' y W 98° 29'-98° 40' con 313.62 km² y 2,300 -3,500 m. snm [metros sobre el nivel del mar], pertenece a la Cuenca del río Atoyac en los límites del estado de México y Puebla, forma parte también del Parque Nacional Izta-Popo a partir de la cota de los 3,000 m snm. Tlahuapan está conformada por ocho juntas auxiliares (aprox. 16, 500 habitantes) Santiago Coltzingo, San Rafael Ixtapalucan, San Juan Cuauhtémoc, San Pedro Matamoros, Guadalupe Zaragoza, Santa María Texmelucan, Ignacio Manuel Altamirano, San Miguel Tianguistenco; además la conforman las comunidades: La Preciosita, Santa Cruz Otlatla, El gavillero. El clima varío de templado y semifrío (Sierra Nevada y Parque Nacional Izta-Popo), a semifrío sub-húmedo con lluvias en verano (La Preciosita, Guadalupe, las Dalias y San Francisco la Unión) hasta semicálido húmedo con lluvias en verano (zona hacia el Valle de Puebla). Predominan los suelos Cambisol; Andosol; Leptosol; Arenosol y Durisol y los tipos de vegetación: bosque de pino-encino: encino *Quercus* spp., ilite o abedul *Alnus jorullensis* (Kunth, Kuntze), sabino *Juniperus* sp., madroño *Arbutus* sp,

cedro blanco *Cupressus lindleyi* (Klotzsch), bosque de pino (*Pinus leiophylla* (Schl. & Cham), ocote *P. montezumae* (Lamb), pinete *P. pseudostrobus* (Lindl), *P. ayacahuite* (Roezl Shaw) y en menor cantidad *P. patula* (Schl. & Sam), pastizales y matorral secundario *Lupinus montanus*, *Agrostis*, *Festuca* y *Muhlenbergia* (LARA, 2010); la fauna silvestre original está casi extinta, debido a la depreciación y cacería indiscriminada, predominan liebres, conejos, ardillas, tlacuache, coyotes, mapaches, víbora de cascabel y el cencuate; salamandras en menor medida, pero aún pueden encontrarse teporingos, venados, gato montés, aguilillas (INEGI, 2020, CONEVAL, 2010, CONABIO, 2020)

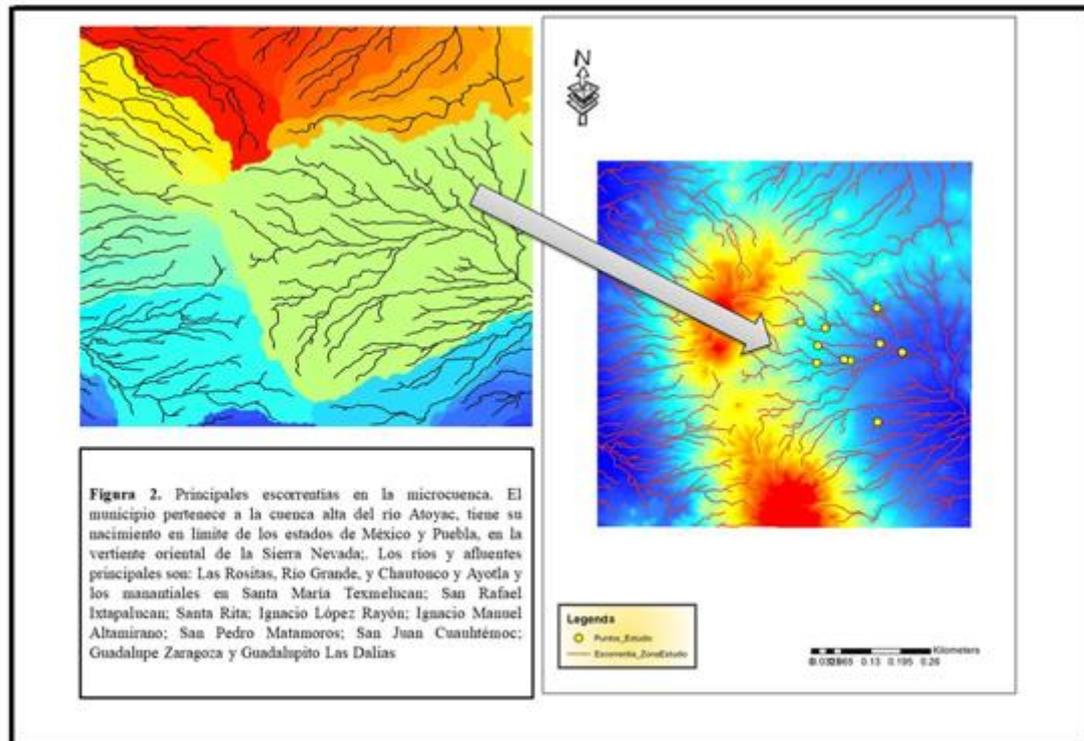
Figura 1.



Hidrología superficial: Pertenec a la Cuenca del río Atoyac, tiene su nacimiento en límite de los estados de México y Puebla, en la vertiente oriental de la Sierra Nevada. Los ríos y principales son: Las Rositas, Río Grande, y Chautonco y Ayotla y los manantiales en Santa María Texmelucan; San Rafael Ixtapalucan; Santa Rita; Ignacio López Rayón; Ignacio Manuel Altamirano; San Pedro Matamoros; San Juan

Cuauhtémoc; Guadalupe Zaragoza y Guadalupe Las Dalias, (INEGI, 2020, CONAGUA, 2020).

Figura 2.



Estimación de cambio de uso de suelo: se utilizaron 2 tipos de imágenes *Landsat* 5 y 8 (1973-2019) tratadas con QGIS®. La resolución del píxel Thematic Mapper TM y Enhanced Thematic Mapper ETM es de 28 m y la del Multispectral Scanner Sensor MSS es de 59 m. Todas las imágenes utilizadas corresponden al periodo de enero a octubre. Las imágenes se obtuvieron de la página libre *landGeoCover* Global Land Cover (GLCF) de la Universidad of Maryland at (<http://glcf.umd.edu>), con alta resolución espectral, y están corregidas geométricamente y con ello estandarizar los valores de los píxeles.

Estimación de la pérdida de Biodiversidad: se emplearon protocolos estándar para colecta de herpetofauna, mastofauna, y avistamiento de avifauna asociándolos al tipo de vegetación actual, y contrastándolos con los listados especializados conforme la aplicación electrónica EncicloVida® que engloba las principales bases de datos de las científicas del mundo (CONABIO, 2022), para los nombres comunes se utilizó el catálogo de Nombres estándar de anfibios y reptiles de LINER & CASAS, (2008), para la identificación de aves se utilizó la guía ornitológica de PETERSON & CHALIF (1998).

Métodos de campo anfibios y reptiles: se realizó una búsqueda intensiva bajo el sistema hora-hombre conforme HEYER et al., (1994), en transectos de hasta 3 Km. (diciembre 2020-diciembre 2021). Los individuos se liberaron de forma inmediata, en el mismo lugar, después de tomarles fotografías, para su posterior identificación con las claves y descripciones conforme RAMÍREZ-BAUTISTA et al. (2009) FLORES-VILLELA & GARCÍA-VÁZQUEZ (2014) y LEMOS-ESPINAL & DIXON (2020).

Métodos de campo mastofauna: los mamíferos pequeños se capturaron en 5 estaciones cercanas a granjas de trucha, con trampas “*Sherman*” plegables y trampas para ratones de caja, colocadas a lo largo de transectos altitudinales en los tipos de vegetación que conforman la microcuenca, se cebaron con mezcla de crema de cacahuete, plátano, avena y vainilla (ROMERO-ALMARAZ et al. 2000). Para la colecta de los mamíferos medianos se utilizaron trampas “*Tomahawk*” y trampas “*Havahart*” cebadas con atún, huevo cocido o sardina y colocadas en sitios donde se registró actividad de mamífero. Los registros indirectos consistieron en la búsqueda de excretas, huellas, pelo y revisión de egagrópilas de lechuzas *Tyto alba* (SCOPOLI, 1769), las cuales se identificaron con las claves de HALL (1981).

Estaciones olfativas. Se colocaron estaciones olfativas para registro de huellas de mamíferos medianos en los diferentes tipos de vegetación, conforme al uso de suelo estudiado. Cada estación olfativa consistió en preparar un círculo de tierra tamizada de aproximadamente 1 m de diámetro, en cuyo centro se colocó un atrayente olfativo (sardina) en una mezcla hecha de yeso (50%) y yeso de dentista (50%), dejándola activa por una noche y revisándola al siguiente día, 11:00 horas aproximadamente (REID, 2001; PONCE GUEVARA et al. 2005).

Calidad y volumen de agua: Las determinaciones de los parámetros de agua se hicieron en base a los métodos estándar basados en APHA (2012), con ayuda de una sonda multiparamétrica digital Hanna® HI9829 de donde se basan las Normas Oficiales Mexicanas actuales y se contrarrestaron con la información de la base de datos de la Comisión Estatal de Sanidad Acuícola de la entidad (CESAPUE) del mismo modo de las UPAS en donde estaba su bitácora disponible se revisaron sus parámetros y volúmenes históricos, para evaluar el volumen de agua actual, se estima la cantidad del agua que fluye por el canal abierto mediante la fórmula:

$$Q = V \times A$$

Donde Q = caudal (L/seg.)

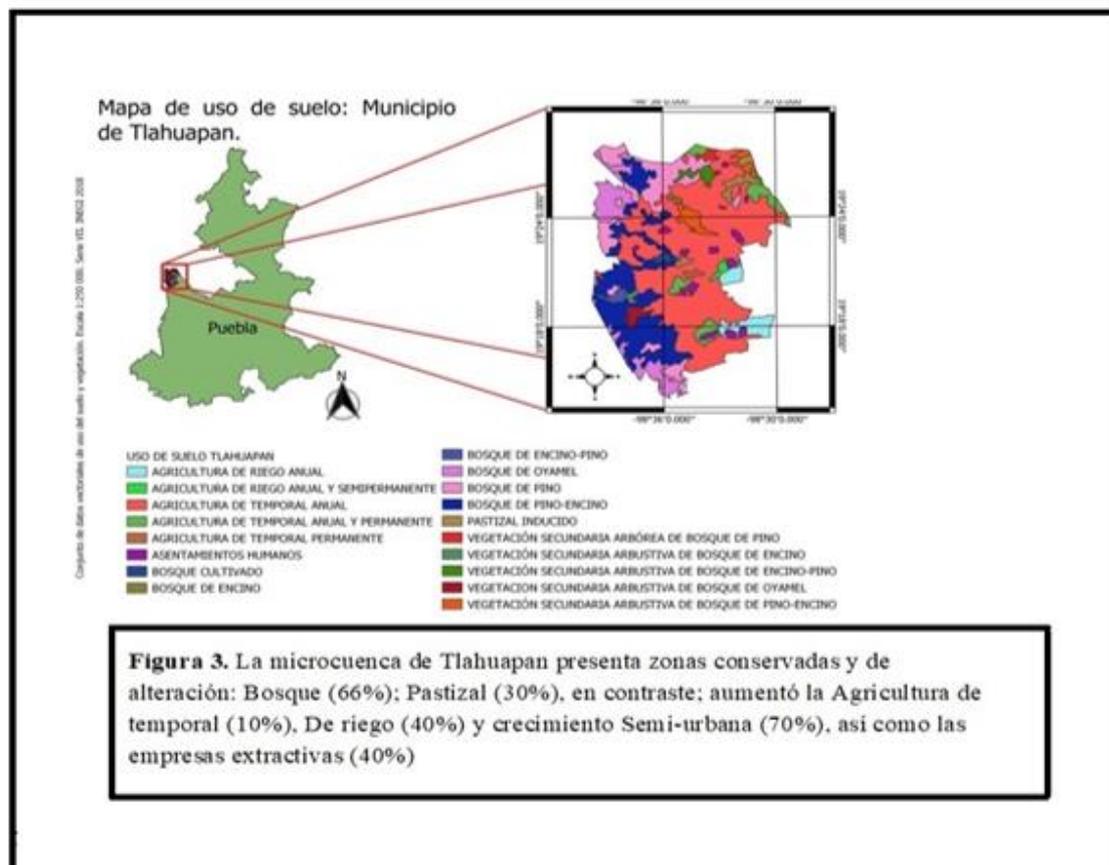
V = velocidad (m/s)

A = área (m²). Con este dato se calcula el número de recambios/hora o/día.

3 RESULTADOS

Estimación del cambio Uso de suelo (46 años): conforme el análisis efectuado, la microcuenca de Tlahuapan ha sido y continúa siendo predominantemente bosque templado; conservado algunas zonas, sin embargo; también se presentan otras áreas con una alteración importante, demostrando una pérdida gradual de la vegetación en el siguiente orden: Bosque (66%) y Pastizal (30%), en contraste; aumentó el uso de suelo para la agricultura de temporal (10%) y de riego (40%) de la misma forma se incrementó en el periodo, la mancha Semi-urbana (70%) en la parte baja de la cuenca, así como las empresas extractivas (40%) en las partes altas de la cuenca y que corresponden con la cota de altura del Parque Nacional Izta-Popo.

Figura 3.



Estimación de la pérdida de Biodiversidad: en la Región se encuentran representados los siguientes grupos taxonómicos de vertebrados terrestres (CONABIO, 2022) **Cuadro 2.**

Cuadro 2. Estimación de presencia y/o ausencia de los grupos taxonómicos y spp., representativas de la microcuenca de Tlahuapan, Puebla, México. (CONABIO, 2022).

GRUPO	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	Colectado (X), Visto (§) Nuevo Registro (*) para este estudio.
Mamífera (Mammalia)	1 Tlacuache sureño	<i>Didelphis marsupialis</i>	
	2 Tlacuache norteño	<i>Didelphis virginiana</i>	X
	3 Armadillo de nueve bandas	<i>Dasyurus novemcintus</i>	§ Muerto, en descomposición
	4 Conejo de monte	<i>Sylvilagus cunicularis</i>	X
	5 Conejo serrano	<i>Sylvilagus floridamus</i>	X
	6 Teporingo	<i>Romerolagus diazi</i>	§
	7 Ardilla de Peters	<i>Sciurus oculatus</i>	
	8 Ardilla vientre rojo	<i>Sciurus aureogaster</i>	§
	9 Motocle	<i>Ictidomys mexicanus</i>	
	10 Tuza de la cuenca de México	<i>Cratogeomys merriami</i>	X
	11 Metorito mexicano	<i>Microtus mexicanus</i>	X
	12 Ratón de los volcanes	<i>Neotonodon alstoni</i>	X
	13 Ratón orejas negras	<i>Peromyscus melanotis</i>	
	14 Ratón norteamericano	<i>Peromyscus maniculatus</i>	X
	15 Venado cola blanca	<i>Odocoileus virginianus</i>	§
	16 Mapache	<i>Procyon lotor</i>	§ excretas
	17 Cacomixtle norteño	<i>Bassariscus astutus</i>	X
	18 Comadreja cola larga	<i>Neogale frenata</i>	X
	19 Lince americano	<i>Lynx rufus</i>	§ excretas
	20 Coyote	<i>Canis latrans</i>	§cráneo, excretas
21 Musaraña de orejas pequeñas del centro de México	<i>Cryptotis alticola</i>		
22 Zorra gris	<i>Urocyon cinereoargenteus</i>	§ excretas	
Aves (Aves)	23 Búho cornudo	<i>Bubo virginianus</i>	
	24 Lechuza de campanario	<i>Tyto alba</i>	§
	25 Aura	<i>Cathartes aura</i>	§
	26 Codorniz coluda transvolcánica	<i>Dendrortyx macroura</i>	
	27 Codorniz de Moctezuma	<i>Cyrtonyx montezumae</i>	
	28 Cernícalo americano	<i>Falco sparverius</i>	§
	29 Caracara quebrantahuesos	<i>Caracara cheriway</i>	
	30 Colibrí garganta azul	<i>Lampornis clemenciae</i>	§
	31 Zafiro orejas blancas	<i>Hylocharis leucotis</i>	
	32 Colibrí pico ancho	<i>Cyananthus latirostris</i>	
	33 Zumbador Mexicano	<i>Selasphorus heloisa</i>	
	34 Aguillilla cola roja	<i>Buteo jamaicensis</i>	X

	35 Tordo ojos rojos	<i>Molothrus aeneus</i>	
	36 Carbonero mexicano	<i>Poecile sclateri</i>	§
	37 Bajapalos pecho blanco	<i>Sitta carolinensis</i>	
	38 Bajapalos enano	<i>Sitta pygmaea</i>	
	39 Mirlo primavera	<i>Turdus migratorius</i>	
	40 Azulejo garganta azul	<i>Sialia mexicana</i>	X
	41 Azulejo garganta canela	<i>Sialia sialis</i>	
	42 Zacatonero serrano	<i>Oriturus superciliosus</i>	X
	43 Gorrion cejas blancas	<i>Spizella passerina</i>	§
	44 Rascador moteado	<i>Pipilo maculatus</i>	
	45 Picogordo tigrillo	<i>Pheucticus melanocephalus</i>	
	46 Chipe rojo	<i>Cardellina rubra</i>	§
	47 Chipe rabadilla amarilla	<i>Setophaga coronata</i>	
	48 Chipe de Townsend	<i>Setophaga townsendi</i>	
	49 Pavito alas negras	<i>Myioborus miniatus</i>	X
	50 Ocotero enmascarado	<i>Peucedramus taeniatus</i>	
	51 Picochueco vientre canela	<i>Diglossa baritula</i>	
	52 Trepadorcito americano	<i>Certhia americano</i>	
	53 Chara copetona	<i>Cyanocitta stelleri</i>	
	54 Picotuerto rojo	<i>Loxia curvirostra</i>	
	55 Jilguerito dominico	<i>Spinus psaltria</i>	§
	56 Pinzón mexicano	<i>Haemorhous mexicanus</i>	X
	57 Papamoscas cardenalito	<i>Pyrocephalus rubinus</i>	X
	58 Papamoscas pinero	<i>Empidonax affinis</i>	
	59 Papamoscas llanero	<i>Sayornis saya</i>	
Reptiles	60 Escorpión transvolcánico	<i>Barisia imbricata</i>	*
(Reptilia)	61 Dragoncito del eje neovolcánico	<i>Abronia deppii</i>	*
	62 Lagarto cornudo	<i>Phrynosoma orbiculare</i>	*
	63 Lagartija espinosa de collar	<i>Sceloporus torquatus</i>	X
	64 Lagartija espinosa del mezquite	<i>Sceloporus grammicus</i>	X
	65 Lagartija espinosa transvolcánica	<i>Sceloporus bicanthalis</i>	X
	66 Lagartija espinosa llanera	<i>Sceloporus aeneus</i>	X
	67 Lagartija espinosa de grieta	<i>Sceloporus mucronatus</i>	X
	68 Eslizón chato de las montañas	<i>Plestiodon copei</i>	X
	69 Culebra listonada de montaña cola larga	<i>Thamnophis scalaris</i>	
	70 Culebra listonada de montaña cola corta	<i>Thamnophis scaliger</i>	X
	71 Culebra parda mexicana	<i>Storeria storerioides</i>	
	72 Alicante	<i>Pituophis deppei</i>	X
	73 Cascabel transvolcánica	<i>Crotalus triseriatus</i>	X
	74 Cascabel de cola negra mexicana	<i>Crotalus molossus</i>	X
	75 Cascabel obscura de querétaro	<i>Crotalus aquilus</i>	
	76 Cascabel pigmea mexicana	<i>Crotalus ravus</i>	X
Anfibios	77 Tlaconete dorado	<i>Pseudoeurycea leprosa</i>	
(Amphibia)	78 Salamandra pie plano	<i>Chiropetrotriton chiropetroterus</i>	X

79 Rana arborícola de montaña	<i>Dryophytes eximius</i>	X
80 Ajolote de Río Frío o de arroyo	<i>Ambystoma leorae</i>	§
81 Tlaconete regordete	<i>AquiloEURYCEA cephalica</i>	
82 Salamandra lengua de hongo achoque de tierra	<i>Bolitoglossa platydactyla</i>	
83 Rana de árbol plegada	<i>Dryophytes plicatus</i>	X
84 Rana manchada o moteada	<i>Lithobates spectabilis</i>	* renacuajos
Total en listas	84	Total de observaciones [X (29) + § (17) + *(4) = 50]
Donde:		
(X)= colectado = 29 registros		
(§) = visto = 17 registros		
(*) = nuevos registros en la zona = 4		

Volumen y Calidad del agua en la microcuenca: en este trabajo se analizaron 17 unidades de producción trutricola (UPAS). Los parámetros estimados fueron: Temperatura (10-18 ° C), oxígeno disuelto (OD) = 6.8-9.0 mgL⁻¹, pH = (6.8-8.6), Nitrógeno amoniacal (NH₄)= 0.1-55.7 mgL⁻¹, Coliformes Totales (CT)=7.08±0.59 NMP/mL y Coliformes Totales (CT)= 2.69±0.15 NMP/mL, con respecto al volumen los datos históricos varían de 5 l/s a 2.5 l/s y en algunos casos ha disminuido hasta 0.25 l/s.

4 DISCUSIÓN

La trutricultura mexicana es una actividad que no ha llegado a desarrollar su máximo potencial. En contraste; el cultivo de trucha arcoíris ha demostrado su importancia en la seguridad alimentaria a nivel local. En las últimas 4 décadas, su producción ha permitido cubrir en gran medida la brecha existente entre la pobreza y la ingesta de alimentos ricos en proteína animal. El aumento de la producción, está alineado a mejoras biotecnológicas a lo largo de la cadena de valor y a otros factores socioeconómicos, del mismo modo ha contribuido a duplicar el consumo promedio *per capita* de pescado, conforme a los objetivos y metas sugeridos en el Plan Nacional de Desarrollo (2012-2018) pasando del consumo por habitante de 4 Kg de pescado en 1960 a 12 Kg para el año 2018. Por su parte la trutricultura en la microcuenca de Tlahuapan realiza una contribución significativa al estilo de vida, empleo, seguridad alimentaria y nutrición de las personas de las comunidades a través de esta actividad.

Cambio de uso de suelo: es la suma de transiciones físicas del suelo asociado a las acciones humanas, en forma pragmática, el concepto se refiere al resultado de las actividades socioeconómicas que se desarrollan sobre una cobertura del terreno. El cambio de uso del suelo y la pérdida de la cobertura vegetal es uno de los principales problemas que aquejan a la humanidad, ya que estos son la principal causa del cambio

climático global y se relaciona directamente con la seguridad en la producción de alimentos, la salud humana, la urbanización, la biodiversidad, la migración transfronteriza, los refugios ambientales, la calidad del agua y del suelo (LÓPEZ-GRANADOS, 2006). Conforme el análisis efectuado, la microcuenca de Tlahuapan ha sido y continúa siendo predominantemente bosque templado; conservando algunas zonas básicamente zonas altas y barrancas, sin embargo; también se presentan zonas de alteración, predominantemente en las áreas aledañas a empresas con actividad extractiva o de reapropiación de la naturaleza, demostrando una pérdida gradual de la vegetación en el siguiente orden: Bosque (66%); Pastizal (30%), en contraste; aumentó la agricultura de temporal en las partes bajas de la cuenca en las zonas planas (10%), de riego en zonas cercanas a las comunidades (40%) y crecimiento de la mancha semi-urbana (70%), así como las empresas extractivas (40%) en las partes altas de la cuenca y que corresponden al Parque Nacional Izta-Popo (PNIP), esto se contrapone a lo reportado en su estudio por RODRIGUEZ-BUSTOS, (2013) donde menciona que la dinámica de cambio de uso de suelo en 1980-2013 el bosque templado es la cobertura de mayor extensión (> 20,000 hectáreas), su tasa de deforestación es muy baja y positiva para la conservación, para la región central del Parque Nacional Izta-Popo. En contraste, el proceso de cambio de la cobertura agrícola de temporal y de riego es similar al descrito por GALICIA & GARCÍA-ROMERO (2007) para el PNIP, quienes diagnosticaron un crecimiento de la cobertura por uso agrícola entre los años (1970-1990). En resumen, la tendencia histórica del proceso de deforestación no representa una fuerza de cambio significativa sobre la transformación del paisaje en la microcuenca de Tlahuapan, por la actividad trutricola *per se*, lo que indica, estabilidad de la cobertura forestal. El análisis de la composición del paisaje indica que los programas de política ambiental (otorgando permisos de extracción a largo plazo) han influenciado de manera significativa la distribución de las coberturas/ usos de suelo dentro del área de estudio. Se ha procurado la conservación y restauración del bosque a través de programas de reforestación, regulación de la ganadería y la promoción de plantaciones forestales. Sin embargo, no está alineado con la supervisión y procuración de buenas prácticas de las actividades extractivas y de reapropiación de la naturaleza (agua, suelo, madera, etc), lo que pone en riesgo la actividad trutricola debido al decremento en volumen de los manantiales y el aumento de la temperatura superficial del agua hasta en 1.5 °C.

Perdida de la biodiversidad en la Microcuenca de Tlahuapan: de acuerdo a los resultados obtenidos en campo (presencia-ausencia) en el periodo (diciembre 2020 a

diciembre 2021) demuestran un déficit ($\geq 50\%$) con respecto a total histórico registrado de 80 especies (sin considerar especies nocturnas) en las áreas estudiadas de la Microcuenca. Sin embargo; aún es posible encontrar relictos de especies carismáticas o bandera como el ajolote de arroyo de Rio Frio *Ambystoma leorae* (Taylor, 1943) y el teporingo o conejo zacatuche *Romerolagus diazii* (Ferrari-Pérez, 1893) esto está en línea con lo reportado con anterioridad por (MARTÍNEZ-GARCÍA, 2011; SUNNY et al., 2014; JIMENEZ et al., 2017; LEMOS-ESPINAL et al., 2017), del mismo modo de manera indirecta se documentó la presencia de organismos solitarios *v.gr.* venado cola blanca *Odocoileus virginianus* (Zimmermann, 1780), gato montés o Lince americano *Lynx rufus* (Schreber, 1777), mapaches *Procyon lotor* (Linnaeus, 1758), que son considerados especies sombrilla o paraguas, ya que su presencia es un bioindicador de la calidad ambiental y de status de la cadena trófica aún presente en la zona (ARANDA et al., 1980; ZUNINO & ZULLINI 2003). El porcentaje de pequeños roedores (33.3%) en la Microcuenca de Tlahuapan obedece a que la mayoría de las especies de este orden generalmente se distribuyen en las regiones áridas o templadas como el eje Neovolcánico Transversal (CEBALLOS et al. 2002). Otro factor importante reside en que es uno de los grupos más fecundos, ya que los roedores (*P. maniculatus* (Wagner, 1845), *N. alstoni* (Merriam, 1898), *M. mexicanus* (Saussure, 1861) del Parque Nacional Izta-Popo presentan tasas reproductivas altas durante todo el año, teniendo dos o más camadas al año y de tres a seis crías por parto (RAMÍREZ-PULIDO et al. 2005). Dicha capacidad ayuda a que las poblaciones se mantengan estables, y por otro lado, provean un recurso alimenticio importante para otros organismos como carnívoros, aves y reptiles. Dentro del Orden de los carnívoros se confirmó la presencia, mediante algunos registros indirectos, de especies como el lince *L. rufus* con 10 excretas, el mapache *P. lotor* con 8 excretas, el coyote *C. latrans* (Say, 1823) con seis excretas, un cráneo y huellas, y la zorra gris *U. cinereoargenteus* (Schreber, 1775) con dos excretas, pero es posible que sus poblaciones estén muy disminuidas, de hecho no se encontró registro histórico en las bases de datos para la zorra gris, aunque hay un productor trutricola con formación de biólogo que nos enseñó fotos (de hace 10 años) de esta especie en su predio. Con esto, se hace notar la necesidad de estudiar a fondo dicha especie para su evaluación. Todas las especies de mamíferos que habitan en la microcuenca de Tlahuapan se ven afectadas por la reducción del hábitat y sería importante analizar abundancias de las poblaciones para establecer programas de protección o conservación a futuro del mismo modo que en el Parque Nacional de la Malinche, como se sugiere en (CHÁVEZ et al., 1990) como un

corredor biológico o un *continuum* genético. Por su parte algunos de los principales factores que causan la disminución de las poblaciones en esta zona son la cacería y la reducción del hábitat. La cacería indiscriminada ha tenido un gran impacto sobre los mamíferos silvestres, causando el decremento de poblaciones de una gran variedad de especies (CEBALLOS & GALINDO, 1984). Sin embargo, el principal factor de riesgo para los mamíferos en esta zona parece ser la reducción del hábitat, debido a que se ha observado en el parque actividades extractivas (agua, suelo, madera) dentro del bosque. De continuar el deterioro ambiental en la zona de estudio y no tomarse medidas de manejo y conservación adecuadas en las próximas décadas, indudablemente estarán en serio peligro muchas de las especies de mamíferos que se distribuyen localmente en esta Microcuenca.

Perdida de poblaciones de Anfibios: la introducción de salmónidos no nativos en ecosistemas acuáticos a menudo puede tener efectos negativos en estos ecosistemas. Los anfibios parecen ser particularmente susceptibles a la introducción de truchas. ESTRELLA-ZAMORA en 2017 reporta efectos negativos en poblaciones de *Ambystoma altamirani* y *Dryophytes plicatus* (Brocchi 1877), en los arroyos de la Sierra de Las Cruces. Del mismo modo MIRÓ et al., (2019) refieren una rápida recuperación de las poblaciones de anfibios en ocho lagos de alta montaña vinculada a la erradicación de truchas exóticas. En este sentido vale la pena señalar que en las UPAS de trucha monitoreadas, no se registraron anfibios, salvo en los estanques de pesca deportiva donde se colectaron larvas o renacuajos de *Lithobates spectabilis* (Hillis & Frost , 1985), y aunque en algunos arroyos es común encontrar alevines de trucha, también encontramos poblaciones aceptables de juveniles de *Dryophytes eximius* (Baird, 1854) en diciembre del 2021, en contraste en algunas zonas de cultivo de papa y de haba (cuenca abajo) no se registró ningún tipo de herpetofauna, se deduce que fue por el uso indiscriminado de agroquímicos en los cultivos de temporal (tuvimos acceso visual a los fertilizantes y plaguicidas), en otras piscifactorías las medidas de bioseguridad son muy estrictas por lo que no se encuentran alevines de trucha cuenca abajo.

Reptiles: de manera general el grupo de los reptiles fue el más colectado en el trabajo del campo con 12 de 15 registros históricos, sin embargo; vale la pena señalar que en algunos casos se trató de organismos solitarios, por lo que se recomienda hacer estudios profundos de abundancia. Por su parte llama la atención el caso los registros nuevos para la zona *Abronia deppii* (Wiegman, 1828), *Barisia imbricata* (Gray, 1838), *Phynosoma orbiculare* (Linnaeus, 1789) de los cuales se hizo un registro visual en 2

ocasiones para cada especie, y que no se encuentran en los registros históricos, vale la pena destacar, que en todos los casos; se encontraron dentro de las unidades de producción de trucha, por lo que se deduce que al ser zonas cercadas y con vigilancia, estos animales han encontrado seguridad y prosperidad, por lo que se profundizará en el tema a futuro.

Volumen y Calidad del agua: el análisis de los parámetros fisicoquímicos y calidad microbiológica del agua (CMA) es de importancia total debido a que se usa para establecer las condiciones ideales del crecimiento de las truchas, debido a que las variaciones en algunos parámetros fisicoquímicos pueden alterar considerablemente el crecimiento de los peces e influir directamente en la producción de los mismos. Los parámetros que afectan considerablemente a la calidad del agua de los criaderos de truchas corresponden a *Oxígeno Disuelto* (OD mgL^{-1}), El oxígeno disuelto en el agua será utilizado por los peces, plantas y todos los organismos aerobios que se encuentren en el agua. Generalmente se expresa en miligramos por litro de agua. El rango óptimo es próximo a saturación (100%), pero los límites de cultivo para incubación de huevos y primeras fases embrionarias suelen rondar los 6 mgL^{-1} , en etapas posteriores el límite puede encontrarse en los 4-5 mgL^{-1} , aunque conviene mantenerlo en niveles superiores, ya que no sólo ha de permitir la supervivencia de los peces sino un buen índice de conversión del alimento. La demanda de oxígeno aumenta significativamente durante la alimentación y digestión. La cantidad máxima de oxígeno disuelto en el agua (saturación) depende principalmente de la temperatura. A mayor temperatura, menor cantidad de oxígeno disuelto, y viceversa. Existen otros factores a tener en cuenta: a mayor salinidad del agua o a menor presión atmosférica, menor solubilidad de oxígeno. Durante la noche la vegetación del río también va a consumir oxígeno. Conforme este estudio los valores de temperatura obtenidos variaron de 10 a 18 °C, OD se encuentran en el intervalo entre 6.8 y 9.0 (mgL^{-1}), lo que sugiere un incremento en la temperatura y una disminución en el caudal con respecto a la data histórica.

Volumen disponible o caudal: con respecto al volumen los datos históricos varían de 5 l/s a 2.5 l/s y en algunos casos hasta 0.25 l/s, lo que significa un decremento del orden del (50%) con respecto al volumen de hace 40 años.

pH: el carácter ácido o básico de un agua es determinante en la truticultura; los salmónidos son poco tolerantes con los cambios bruscos, fenómeno que puede ocurrir en zonas con suelos de pH ácido, con lluvias persistentes se deslavan zonas de coníferas. Por otra parte, la eliminación de anhídrido carbónico durante la fotosíntesis conlleva que aumente el pH de las manantiales. Cuando los niveles de eutrofización son elevados, los

cambios de pH de la noche al día pueden ser acusados por las truchas, en este sentido de las UPAS evaluadas el pH no fue un factor limitante.

Medición de Amonio, nitratos y nitritos (NH_3 , NH_4 , NO_3): el amoníaco y otros compuestos nitrogenados se eliminan con las heces de los peces. La fracción tóxica del nitrógeno amoniaco es la forma no ionizada NH_3 . Estas moléculas de amoníaco pueden ser letales para los peces a niveles de 0,02-0,07 mgL^{-1} , en este estudio los resultados promedio variaron entre 0.1 y 55.7 mgL^{-1} por lo que es un factor de alerta, en estas zonas cercanas a las actividades de extractivismo en la microcuenca. Cuando las truchas, durante espacios de tiempo prolongados, son sometidos a concentraciones subletales de nitritos y amoníaco, generan respuestas de estrés incrementando la susceptibilidad a determinadas infecciones bacterianas y/o parasitarias originadas por los géneros *Aeromonas*, *Flavobacterias*, *Costias*, (SODERBERG et al., 1983) y Coliforme totales (CT). En este trabajo se realizó el análisis de calidad microbiológica del agua a 20 UPAS y los resultados indican (7.08 ± 0.59 a 2.69 ± 0.15 NMP/mL), los cuales son pertinentes para el crecimiento de las truchas, vale la pena señalar que no se realizó en este primer acercamiento un análisis profundo para discernir el origen (animal o humano) de estas bacterias coliformes, ni se correlacionó con contaminación fecal antigua, pero se propone para análisis a *posteriori* más robustos.

5 CONCLUSIONES

A lo largo de los 40 años analizados que comprendió este estudio, el bosque continúa predominando en el paisaje de la Región, no obstante la actividad trutricola se ve comprometida por la disminución del volumen de agua, acorde con los resultados mostrados. Esta situación constituye un llamado de atención para que las autoridades competentes fomenten acciones para el manejo sustentable del agua que es el motor principal de la actividad trutricola de la microcuenca.

El pastizal fue el uso de suelo que no mostró un comportamiento lineal, dando como resultado una relación compleja de explicar entre los procesos de deforestación y reforestación. Las fluctuaciones que se dieron en este tipo de uso de suelo van ligadas a los programas gubernamentales. Uno de los cambios más significativos fue el incremento de la superficie semiurbana sobre los terrenos agrícolas, y sin dejar a un lado que en términos numéricos la cifra no parece ser abrupta, este cambio adquiere un significado en la funcionalidad del paisaje ya que al reducirse áreas que durante siglos han sido tradicionalmente agrícolas se infiere que la sociedad está sufriendo un proceso de

transformación. Se concluye que la actividad trutícola *per se* no ha mermado significativamente los bienes naturales de la microcuenca considerándose por tanto una actividad sustentable (*Crecimiento Azul*), sin embargo; las actividades de extractivismo y sus malas prácticas, han deteriorado significativamente la zona, poniendo en riesgo ambiental esta actividad productiva, y por consiguiente afectando la calidad de vida de los trutricultores.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor de este artículo quiere agradecer a los habitantes de las comunidades donde se realizó este estudio, asimismo a su madre Tita Alcocer Rodríguez por el apoyo brindado y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca con registro No 189383 para la realización de sus estudios de Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas, CENAGRO-ICUAP-BUAP.

REFERENCIAS

- AGUILERA, P., & NORIEGA, P. 1985. *La tilapia y su cultivo*. Fondepesca. México. 50 pp.
- AGUILERA, P., & NORIEGA, P. 1988. *¿Qué es la acuicultura?* Fondepesca. México. 75pp.
- ALTIERI, M. 1999. *Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable*. Ed. Nordan – Comunidad. Montevideo, pp. 388.
- AMPHIBIAWEB. 2021. AmphibiaWeb. University of California, Berkeley. <https://amphibiaweb.org> (12 mayo 2021).
- ANÓNIMO. 1991. *Evolución de la pesca en México*. Secretaría de Pesca. México. 43pp.
- APHA [Standard Methods for Examination of Water and Wastewater]. APHA (American Public Health Association), WWA (American Water Works Association), WEF (Water Environment Federation), Washington D.C., EUA. 2012. pp 1100.
- ARANDA, M., C. MARTÍNEZ DEL RÍO, R. COLMENERO., & S. MAGALLÓN. 1980. Los mamíferos de la Sierra del Ajusco. Comisión Coordinadora para el Desarrollo Agropecuario del Distrito Federal. 1ª Ed. México, Distrito Federal, 101 pp.
- ARREDONDO, J.L., & LOZANO, S. L. 2003. *La acuicultura en México*. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. . 37pp.
- CEBALLOS, G., ARROYO-CABRALES, J., & MEDELLÍN, R. A. 2002. Mamíferos de México. *Diversidad y conservación de los mamíferos neotropicales*, pag 377-413, En Ceballos, G. y J. A. Simonetti (eds.). 2002. *Diversidad y Conservación de los Mamíferos Neotropicales*. CONABIO-UNAM. México, D.F, 582 pp.
- CHÁZARI, E. 1883. Ideas sobre la importancia de impulsar vigorosamente la Piscicultura y la Acuicultura en el País. México. 181 pp.
- CHÁVEZ, C. J. M. RAMOS., & TRIGO, N. 1990. Plan de manejo integral para el Parque Nacional "La Malinche" y su área de amortiguamiento. Cuadernos del CIIH, UNAM: Serie Seminarios 1:217-237.
- CHÁZARI, E. 1884. Piscicultura en agua dulce. Secretaría de Fomento. México. 85 pp.
- CHOCANO, C., HERNÁNDEZ, M. T., DE AGUILAR, J. M., GONZÁLEZ, D., & GARCÍA, C. 2014. La actividad microbiana como indicador de calidad del suelo en cultivos de ciruelo ecológico. *Revista Agroecología*, España. 14: 1-8.
- CONABIO [Comisión Nacional para la Biodiversidad]. (2022). Enciclopedia, Fichas técnicas de especies, ENVIO, estrategia nacional para la vida 2010 - 2030. México, 1596 pp.
- CRUZ-AVIÑA, J. R., CASTAÑEDA-ROLDÁN, E., & SILVA-GÓMEZ, S. E. 2017. La problemática ambiental de la Región de los Axalapascos de Puebla: erosión, pobreza, enfermedades emergentes, biodiversidad y etnocultura 129-150. En: Rodríguez Herrera

et al., *El Desarrollo Sustentable desafíos y oportunidades*. Plaza y Valdés, México. 254 pp.

DEL CAMPO PARRA-LARA, Á., & BERNAL-TORO, F. H. 2010. Incendios de cobertura vegetal y biodiversidad: una mirada a los impactos y efectos ecológicos potenciales sobre la diversidad vegetal. *El hombre y la máquina*, 35: 67-81.

ESTRELLA ZAMORA, A B. 2017. Relaciones interespecíficas entre el ajolote de arroyo de montaña (*Ambystoma altamirani*), la ranita plegada (*Hyla plicata*) y la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en la Sierra de las Cruces, México. Tesis de licenciatura, Biología UNAM, 53 pp.

FAO [Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura]. 1999. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Roma. 398 pp.

FAO [Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura]. 2012. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Roma. 405 pp.

FAO [Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura]. 2021. Declaración de Shanghái. Roma. 51 pp.

FLORES-VILLELA, O., & GARCÍA-VÁZQUEZ, U. O. 2014. Biodiversity of reptiles in Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, S467-S475.

GALICIA, L., & GARCÍA-ROMERO, A. 2007. Land use and cover change in Highland temperate forests in the Izta-Popo National Park, Central México. *Mountain Research and Development*, 27: 48-57.

GUTIÉRREZ-YURRITA, P. 1990. Estudios sobre el crecimiento en crías de trucha arco iris (*Salmo Gairdner Richardson*) (Pisces: Salmonidae) en relación a diversas dietas. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. México. 101 pp.

GUTIÉRREZ-YURRITA, P. 1999. La acuicultura en México: I. Época prehispánica y colonial. *Biología Informa*, 29: 3-7.

GUTIÉRREZ-YURRITA, P. 2000. La acuicultura en México: II. Época actual y perspectivas. *Biología Informa*, 31: 1-9.

HALL, E. R. 1981. The mammals of North America. 2a Ed. John Wiley & Sons. New York. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN). 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2009.2. www.iucnredlist.org

HEYER, W.R., DONNELLY, M.A., MCDIARMID, R.W., HAYEK, L.-A.C., & FOSTER, M.S. (Eds.). 1994. Measuring and monitoring biological diversity. Standard Methods for Amphibians. Washington & London, Smithsonian Institution Press, 364 pp.

INEGI [INSTITUTO NACIONAL DE GEOGRAFIA Y ESTADISTICA] (2020). Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo. Cuarto trimestre de 2019. Principales indicadores laborales de las ciudades, México, consultado el 7 de mayo, 2020

JIMÉNEZ, J. O., CRUZ-AVIÑA. J.R., ARZATE-RAMÍREZ, E., FIGEROA-LUCERO, G., & CASAS-ANDREU, G. 2017. Conservación *ex situ* de poblaciones en riesgo de ajolotes (*Ambystoma* spp.) del estado de Puebla, México. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 8: 1-10.

LANZA ESPINO, G. DE LA, & HERNÁNDEZ PULIDO, S. 2011. Ambiente, biología, sociedad, manejo y Legislación de sistemas costeros mexicanos.” 1ª. Edición. Universidad Michoacana. WWF. Plaza y Valdés. 491 pp.

LARA, C. 2010. Transformación y valoración del paisaje en la Pecosita, Santa Rita Tlahuapan, Puebla y el Programa de Ordenamiento Ecológico Regional del volcán Popocatepetl. Tesis Doctoral. Colegio de Posgraduados. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Campus Puebla. 65 pp.

LECHUGA, R. & R. GONZÁLEZ (Eds.). 1985. La Acuicultura en México II. *Acuavisión*, 2:4-9.

LEMONS-ESPINAL, J. A., & SMITH, G. R. 2020. A conservation checklist of the amphibians and reptiles of the State of Mexico, Mexico with comparisons with adjoining states. *ZooKeys*, 953: 137-151.

LEMONS-ESPINAL, J. A., SMITH, G. R., ZAMORA, A. B. E., WOOLRICHPIÑA, G., & AYALA, R. M. 2017. Natural history of the critically endangered salamander *Ambystoma leorae* (Caudata: Ambystomatidae) from the Río Tonatzin, Mexico. *Phyllomedusa: Journal of Herpetology*, 16: 3-11.

LINER, E. A., & CASAS-ANDREU, G. 2008. Nombres estándar en español, en inglés y nombres científicos de los anfibios y reptiles de México. Standard spanish, english and scientific names of the amphibians and reptiles of Mexico: Segunda Edición, Herpetological circular, 38: 1-163 pp.

LÓPEZ-GRANADOS, E.M. 2006. Patrones de cambio de uso del terreno en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Tesis para obtener el grado de doctorado en ciencias, México: UNAM, México, 151 pp.

UNIVERSITY OF MARYLAND'S Global Land Cover Facility (GLCF) (<http://glcf.umiacs.umd.edu/>).

MARTÍNEZ GARCÍA, J. A. 2011. Densidad, uso y evaluación del hábitat y de la dieta del *Romerolagus diazi* en el Parque Nacional Izta-Popo, Zoquiapan y anexas.

MEJÍA SÁNCHEZ, E. 2016. Privatización del agua y su impacto en el desarrollo local. Caso: Nestlé Water Sapi en Tlahuapan, Puebla. 1997-2016, 152 pp

MIRÓ, A., O'BRIEN, D., TOMÀS, J., BUCHACA, T., SABAS, I., OSORIO, V. & VENTURA, M. 2019. Rápida recuperación de las poblaciones de anfibios en ocho lagos de alta montaña vinculada a la erradicación de peces exóticos. 4:14-31

PÉREZ REYNA, K., HERNÁNDEZ FRANCO, Y., & TOLEDO MANZUR, C. 1998. Análisis espacial de los aspectos demográficos, agrarios y ambientales de tres municipios de la montaña de guerrero. *investigaciones geográficas*, 37: 37-58.

- PETERSON, R. T. & CHALIF, E. L. 1998. Aves de México. Ed. Diana. México, 437 pp.
- PONCE-GUEVARA, E., PELZ-SERRANO, K., & LÓPEZ-GONZÁLEZ, C.A. 2005. Coyote abundance in relation to the habitat characteristics in Sierra San Luis, Sonora, México. Pp. 337–340. En: G.J. Gottfried, B.S. Gebow, L.G. Eskew & C. Edminster (Eds.). Connecting mountain islands and desert seas: biodiversity and management of the Madrean Archipelago II. 2004 May 11–15; Tucson, Arizona. Proceedings RMRS–P–36. U. S. Forest Service. Fort Collins, Colorado: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- PILLAY, T.V.R. 1997. Aquaculture. Principles and practices. Fishing news book, Blackwell Scientific Publications. Oxford. 531 pp.
- RAMÍREZ-BAUTISTA, A., HERNÁNDEZ-SALINAS, U., GARCÍA-VÁZQUEZ, U. O., LEYTE-MANRIQUE, A., & CANSECO-MÁRQUEZ, L. 2009. Herpetofauna del Valle de México. Diversidad y conservación. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 213 pp.
- RAMÍREZ-PULIDO, J., GONZÁLEZ-RUIZ, N., & GENOWAYS, H. H. 2005. Carnivores from the Mexican state of Puebla: distribution, taxonomy, and conservation. *Mastozoología neotropical*, 12: 37-52.
- REID, F. 2001. A field guide to the mammals of Central America & southeast Mexico. Oxford University Press, New York. Royle, A. & J. Nichols. 2003. Estimating abundance from repeated presence–absence data or point counts. *Ecology*, 84:777–790.
- RODRÍGUEZ BUSTOS, L. A. 2013. Transformación del paisaje en la zona centro de la región Izta-Popo [1980-2013]. Tesis de Doctorado. UNAM. 50 pp.
- ROMERO-ALAMARAZ, M. L., C. SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, C. GARCÍA-ESTRADA., & OWEN, R. D. 2000. Mamíferos pequeños. Manual de técnicas de captura, preparación, preservación y estudio. Facultad de Ciencias, UNAM, Instituto de Biología, UNAM, Centro de Investigaciones Biológicas, UAEM. Primera edición. 244 pp.
- SEMARNAP [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales]. 1995. Programa de Pesca y Acuicultura 1995-2000. Plan Nacional de desarrollo 1995- 2000. México. 254 pp.
- SEMARNAP [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales]. 2019. Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM059-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, publicada el 30 de diciembre de 2010. Diario Oficial de la Federación, 14 de noviembre de 2019. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019 (13 abril 2020)
- SEPESCA [Secretaria de Pesca]. 1987. Ley Federal de Pesca. México. 385 pp.
- SEPESCA [Secretaria de Pesca]. 1992. Ley Federal de Pesca. México. 333 pp.

SODERBERG, R.W., FLYNN, J.B., & SCHMITTOU, H.R. 1983. Effects of ammonia on growth and survival of rainbow trout in intensive static-water culture. *Transactions of the American Fisheries Society*. 112: 448-45.

SUNNY, A., MONROY-VILCHIS, O., REYNA-VALENCIA, C., & ZARCO-GONZÁLEZ, M. M. 2014. Microhabitat types promote the genetic structure of a micro-endemic and critically endangered mole salamander *Ambystoma leorae* of Central Mexico. *PLoS One*, 9 (7), e103595.

IUCN [Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza]. 2009. Directrices de Uso de las Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN. Versión 13. Subcomité de Estándares y Peticiones de la UICN. <https://www.iucnredlist.org/documents/RedListGuidelines.pdf> (11 marzo 2020).

IUCN [Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza]. 2020. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-2. <https://www.iucnredlist.org> (22 julio 2020).

URBINA, R. 1978. La acuicultura en México. Memorias del II Congreso Latinoamericano de Acuicultura. Asociación Latinoamericana de Acuicultura. México. 87 pp.

URIBE-PEÑA, Z., RAMÍREZ-BAUTISTA, A., & CASAS-ANDREU, G. 1999. Anfibios y reptiles de las serranías del Distrito Federal, México. Cuadernos del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, 32: 1-119.

ZAMORA, A. B. E., SMITH, G. R., LEMOS-ESPINAL, J. A., WOOLRICH-PIÑA, G. A., & AYALA, R. M. 2018. Effects of nonnative Rainbow Trout on two species of endemic Mexican amphibians. *Freshwater Science*, 37: 389-396.

ZUNINO, M., & ZULLINI, A. 2003. *Biogeografía: la dimensión espacial de la evolución* (Vol. 259). México, DF: Fondo de Cultura Económica. 181pp.