



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
INSTITUTO DE CIENCIAS
CENTRO DE AGROECOLOGÍA
MAESTRÍA EN MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

Tesis presentada para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Manejo Sostenible de
Agroecosistemas

TÍTULO:

**“PROPUESTA INTEGRAL SUSTENTABLE PARA LA CONSERVACIÓN DEL
CHARAL NATIVO (*Poblana letholepis*) DEL LAGO CRÁTER LA PRECIOSA
PUEBLA, MÉXICO”**

PRESENTA

Hidrobióloga. Daniela Ramos Contreras

MATRICULA 222470311

COMITÉ TUTORAL

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Juan Ricardo Cruz Aviña

CODIRECTOR

Dr. Osvaldo Eric Ramírez Bravo

ASESORES

Dr. Héctor Bernal Mendoza

Dr. Daniel Jiménez García

Enero 2025

RESUMEN

En este estudio multidisciplinario se ofrece una propuesta integral sustentable para la conservación del charal nativo (*Poblana letholepis*) del lago cráter La Preciosa Puebla, México, que contempla aspectos de su historia de vida (etapas y tallas reproductivas, alimentación por períodos del desarrollo, bioculturalidad (pesca y aprovechamiento milenario), y contexto histórico-social, como la reapropiación social de su conocimiento por medio de la gamificación para la conservación de la diversidad nativa a través de la educación ambiental no formal, con el propósito de conservar (*in situ* y *ex situ*) a estos charales endémicos. Adicionalmente se elaboraron las bases pedagógicas para establecer los cimientos de un programa piloto de educación ambiental no formal para la conservación de la ictiofauna nativa, con niños de la comunidad aledaña al Lago, San Juan la Muralla, Municipio de Guadalupe Victoria, Puebla, México.

Palabras clave: Bioculturalidad, Conservación, Etnofauna, Ictiofauna nativa

ABSTRACT

In this multidisciplinary study, a comprehensive sustainable proposal was offered for the conservation of the native charal (*Poblana letholepis*) of the La Preciosa crater lake in Puebla, Mexico, considering aspects of its life history (reproductive stages and sizes, feeding by life stages), bioculturality (fishing and millennial use), and historical-social context, as well as the social reappropriation of its knowledge (gamification for the conservation of native diversity through non-formal environmental education), with the purpose of conserving (*in situ* and *ex situ*) these endemic charales. Additionally, the pedagogical bases were developed to establish the bases of a pilot program of non-formal environmental education for the conservation of this native ichthyofauna, with children from the community surrounding the lake, San Juan la Muralla, Municipality of Guadalupe Victoria, Puebla, Mexico.

Key words: Bioculturality, Conservation, Ethnofauna, Ichthyofauna native



La presente tesis, titulada: **"PROPUESTA INTEGRAL SUSTENTABLE PARA LA CONSERVACIÓN DEL CHARAL NATIVO (Poblana letholepis) DEL LAGO CRÁTER LA PRECIOSA PUEBLA, MÉXICO"**, realizada por la alumna **Hidrobióloga Daniela Ramos Contreras**, bajo la dirección del Comité Tutorial indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN
MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

COMITÉ TUTORIAL:

DIRECTOR: _____


Dr. Juan Ricardo Cruz Aviña

CO-DIRECTOR: _____


Dr. Osvaldo Eric Ramírez Bravo


ASESOR: _____


Dr. Daniel Jiménez García

ASESOR EXTERNO: _____


Dr. Héctor Bernal Mendoza

REVISOR EXTERNO: _____


Dr. Gerardo Figueroa Lucero

Puebla, Pue., enero de 2025.

DEDICATORIA

Gracias por los planes que han cambiado mi vida, gracias por las respuestas no esperadas, por los días de dolor, de frustración, gracias por las pruebas en el camino, por todo lo vivido, lo bueno y lo no tan bueno. Gracias porque cada experiencia me ha enseñado, me ha hecho más fuerte, me ha demostrado de lo que soy capaz y me permite vivir agradecida aquí y ahora disfrutando mi presente y esperando ansiosa el futuro.

Dedico esta tesis a mis padres y hermana por ser mi motivación y mi apoyo en la vida, los amo con todo mi ser.

Me dedico esta tesis porque es el fruto de mi esfuerzo y dedicación, por la perseverancia y por todo lo que representa en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a todas las personas que hicieron posible la culminación de esta tesis de maestría. Su apoyo, guía y aliento fueron fundamentales para alcanzar esta meta. Deseo expresar mi sincero agradecimiento a mi director de tesis, Juan Ricardo Cruz Aviña, por su invaluable dirección, su guía experta, motivación constante, apoyo incondicional paciencia y conocimientos compartidos. Su apoyo fue esencial para el desarrollo de esta investigación.

Agradezco a los miembros de mi comité de tesis, Dr. Osvaldo Eric Ramírez Bravo por su invaluable apoyo, por su tiempo y dedicación, así como sus valiosos comentarios, al Dr. Héctor Bernal Mendoza y al Dr. Daniel Jiménez García por las aportaciones a este trabajo. A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), al programa de Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas (MASAGRO).

Agradezco al Dr. Carlos Alfonso Álvarez de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) y al Laboratorio de Fisiología en Recursos Acuáticos (LAFIRA) por la estancia para realizar el análisis enzimático y por su invaluable conocimiento.

Agradezco al Señor Pedro por facilitar las muestras del charal.

Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado por el apoyo otorgado para la conclusión de esta tesis dentro del Eje IV. Modelo de Investigación abierta y compartida. Objetivo 13. Formar recursos humanos que impacten positivamente el contexto social y científico como consecuencia de su accionar en una comunidad para lograr una educación desarrolladora de la transformación. Indicador establecido en el Plan de Desarrollo Institucional 2021-2025.

Expreso mi gratitud al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por el apoyo económico con número: 823198 brindado para la realización de esta tesis.

A mis compañeras de estudios, Mariana, Miriam, Janeth y Karina, por su amistad, apoyo y colaboración durante este proceso.

A mi familia, mi abuelita Gladys Ramos, su amor es un aliciente en mi vida, siempre creyó en mí y me apoyó en mi camino. A mis tías, primas y primos, por su amor incondicional y aliento constante, su apoyo emocional fue fundamental para alcanzar esta meta.

A mis queridos padres, Nelly Contreras y Antonio Ramos, cuyo amor y sacrificio me han dado la base para alcanzar mis sueños. Gracias por inculcarme la pasión por el conocimiento y la perseverancia para superar los obstáculos, ustedes vieron todo el desarrollo y sé que siempre podré contar con ustedes. Su amor incondicional ha sido mi mayor inspiración y mi motor de vida. Esta tesis es un reflejo de su apoyo constante y cariño inagotable. A mi hermana, Fernanda Ramos por sus palabras de aliento en momentos difíciles, por su alegría y amor incansable, por ser mi confidente y mi mejor amiga. Su presencia en mi vida ha sido un regalo invaluable.

A mi pareja, Martín Buenavad, por soportar mis largas noches de estudio, mis cambios de humor, el día a día durante el desarrollo y los productos de la tesis, por la realización de todos y cada uno de los bocetos para la elaboración de las tarjetas del juego, por su ayuda invaluable durante las cotizaciones, los cambios de formato, la estancia en otro estado, por tu compañía invaluable, por revisar mi gramática, darme ánimos y escucharme siempre. Reconozco y valoro profundamente tu amor y paciencia. Eres un pilar para la culminación de esta tesis y sus productos.

Agradezco a Dios por darme la vida, la sabiduría, la fortaleza y la perseverancia para completar esta tesis.

Finalmente, agradezco a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron a la realización de esta tesis.

ÍNDICE

TABLA DE CONTENIDO	PÁGINA
RESUMEN ESPAÑOL.....	I
RESUMEN INGLÉS.....	II
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
1. INTRODUCCIÓN	9
2. ANTECEDENTES	9
3. JUSTIFICACIÓN	12
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
5. OBJETIVOS	13
Objetivo General	13
Objetivos Específicos	13
6. HIPÓTESIS	14
6.1 Hipótesis cualitativa:	14
6.2 Hipótesis cuantitativa:	14
7. MARCO TEÓRICO	14
7.1 Agro-acuicultura	14
7.2 Biocultura	15
7.3 Educación ambiental	17
7.4 Educacion No formal	18
7.5 Educación ambiental no formal	19
7.6 Gamificación	20

7.7 Estudios sobre la ontogenia digestiva	20
8. METODOLOGÍA	21
8.1 Sitio de Estudio	21
8.2 Metodos	23
9. RESULTADOS	40
10. DISCUSIÓN	48
11. CONCLUSIONES	57
12. SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES	59
13. ANEXOS	60
14. BIBLIOGRAFÍA	76

INTRODUCCIÓN

La actual *crisis civilizatoria*, caracterizada por un modelo de desarrollo insostenible, amenaza al medio ambiente y la bioculturalidad, lo que ha generado la pérdida de saberes ancestrales que permitieron a las sociedades mantener una conexión profunda con la naturaleza (Leff, 2002). Para muchas culturas, la naturaleza posee significados diversos y está profundamente vinculada con ellas a través de una apropiación centrada en la conservación de la vida (Toledo et al., 2001).; no es solo una fuente de alimento, sino también el origen de la identidad regional y territorial (Toledo, 2003).

El concepto de biodiversidad abarca una amplia variedad de paisajes, ecosistemas, especies y genes, así como los diferentes procesos funcionales, incluidas las historias de vida de los organismos (Núñez et al., 2003). Por lo tanto, su estudio, mantenimiento, conservación y en algunos casos recuperación requieren esfuerzos coordinados en múltiples escalas: a nivel global, la diversidad cultural de la humanidad está íntimamente ligada a la biodiversidad nativa (Toledo et al., 2001), y ambas están actualmente en riesgo como consecuencia de la crisis civilizatoria. La degradación ambiental y la desconexión de la naturaleza representan una tendencia alarmante, con profundas implicaciones para la sociedad, los individuos y la educación (Díaz et al., 2012).

La crisis climática, como uno de los efectos más agudos de la crisis civilizatoria, ha exacerbado este problema, provocando sequías más severas y cambios meteorológicos de mayor intensidad, lo que empeora las condiciones de vida y transforma hábitats en lugares inhóspitos (WWF, 2022). Las especies acuáticas microendémicas, como el charal de La Preciosa (*Poblana letholepis*), son las más amenazadas debido a la limitación y singularidad de sus hábitats. Si estos se contaminan o desaparecen, las especies también lo harán.

ANTECEDENTES

La Cuenca Oriental (CO) en el Estado de Puebla, es un ejemplo notable de cómo una región tropical-subtropical responde a las presiones de sobreexplotación hídrica y cambio de uso de suelo; con características climáticas la hacen altamente susceptible a la desertificación, ya que la cuenca enfrenta una escasez crónica de agua superficial debido a su clima semiárido y a la naturaleza cinerítica del suelo, que facilita una alta infiltración de agua de lluvia debido

a su elevada permeabilidad (Alcocer et al., 2004; Gasca, 1981). La deforestación en la región agrava esta situación al disminuir la captación y captación de agua de lluvia al aumentar la velocidad de escurrimiento, lo que reduce la recarga de los acuíferos y provoca erosión (Cruz-Aviña et al., 2024). Estas prácticas de cambio de uso de suelo, como el sobrepastoreo y la sobreexplotación agrícola, han erosionado el suelo, limitando aún más su capacidad de captar agua pluvial y recargar los mantos acuíferos, poniendo en riesgo tanto la biota acuática como la sustentabilidad de las actividades agrícolas. La CO, posee una superficie total de 4,981,747 km² y se encuentra a una altitud que varía entre los 2,350 y 2,500 metros sobre el nivel del mar, incluye trece sistemas terrestres y es reconocida por su importancia como fuente potencial de suministro de agua para las ciudades de Puebla y México, dada su elevación similar que reduce significativamente los costos de bombeo (Alcocer, 2004). Dentro de esta cuenca endorreica, los escurrimientos de agua debido a la precipitación se acumulan en el manto freático o se evaporan, destacando los conos de explosión freática, conocidos localmente como Axalapascos, entre los que se encuentran los lagos-cráter (*Maars*) Alchichica, Quechulac, Atexcac, La Preciosa, Aljojuca y el extinto Tecuitlapa. Estos lagos presentan diversos grados de salinidad y composición química (Gasca, 1981). El equilibrio hídrico de la CO ha sido alterado por la disminución del acuífero subterráneo, que depende de la precipitación pluvial y de la afluencia de los cerros adyacentes, especialmente de la región de la Malinche (Cruickshank, 1992). Esta disminución ha reducido el nivel de los lagos-cráter, eliminando áreas litorales someras que servían como refugio para la biota, afectando significativamente la biodiversidad biológica y la economía regional. Además, la creciente actividad de la agroindustria transnacional en la región amenaza con contaminar los recursos hídricos con fertilizantes y plaguicidas, impactando las aguas subterráneas que son vitales para el riego y el suministro de agua potable a ciudades como Puebla y Ciudad de México. La introducción de especies exóticas, como la carpa japonesa (*Cyprinus carpio*) y la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), ha puesto en peligro a las especies nativas de charales (*Poblana alchichica*, *P. letholepis*, *P. squamata*), endémicas de estos lagos-cráter. Estas especies exóticas, particularmente la trucha al ser carnívora depreda juveniles y adultos de charales, exacerbando el riesgo de extinción de estas especies nativas. La necesidad de desarrollar e implementar programas de uso sustentable del agua a nivel de cuenca es clara. En la región de los *Axalapascos*, se han llevado a cabo acciones de conservación y educación

ambiental, enfocadas en la evaluación pesquera participativa para conservar el lago de Alchichica y los saberes tradicionales de las pescadoras artesanales conocidas como “charaleras”. Estas mujeres han mantenido una pesca sustentable durante siglos, integrando en su labor una visión etno-ictiológica que combina conocimientos biológicos, hidrobiológicos, sociales y acuícolas, abordando las complejas interrelaciones entre la ictiofauna nativa y las comunidades humanas (Cruz Aviña et al., 2024).

***Poblana letholepis* (Álvarez, 1950), charal del lago La Preciosa.**

En 1950, Álvarez describió una nueva especie de charal, a la que nombró *Poblana letholepis*, residente y endémica del lago cráter La Preciosa. Durante los siguientes 40 años, no se realizaron aportes científicos significativos ni se obtuvo información adicional sobre esta especie en particular. No fue sino hasta 1992, cuando Edmundo Díaz-Pardo, en su tesis doctoral, comentó y relacionó algunos aspectos ecológicos de *P. letholepis* junto con sus congéneres, vinculándolos con los aspectos limnológicos de los Axalapascos. Posteriormente, en 1998, Enrique Flores-Negrete, en su tesis de maestría, llevó a cabo un estudio poblacional sobre las tres especies de **Poblana**. En su investigación, analizó aspectos como el factor de condición, tamaños, índices de mortalidad y supervivencia, además de documentar diferencias en la alimentación entre sexos y tamaños, así como el forrajeo en relación con la profundidad en la columna de agua. También proporcionó información sobre las historias de vida básicas de estas especies. En 2016, Hernández-Rubio, M. C., Frausto-Illescas, T. C., y Figueroa-Lucero publicaron un estudio sobre la ontogenia temprana de *P. letholepis*, en el que describieron por primera vez el desarrollo temprano de la especie, desde la eclosión hasta la fase juvenil, bajo la teoría de la ontogenia por saltos. Este estudio también identificó los puntos críticos de supervivencia de la especie. Ese mismo año, Valero-Pacheco, E., Abarca-Arenas, L. G., Condado-Salazar, B., y Franco-López realizaron un estudio sobre la relación longitud-peso y la dieta de *P. letholepis*. Concluyeron que no existen diferencias estadísticas en la relación peso/longitud entre sexos y juveniles. Además, observaron que los hábitos alimenticios entre sexos y juveniles son similares a los de otras especies de la misma familia. Sin embargo; recientemente, en 2020, Cruz-Aviña, J. R., Castañeda-Roldán, E. I., Álvarez-González, C. A., Nieves-Rodríguez, K. N., y Peña-Marín, E. S. lograron aislar *Brucella melitensis* en *P. letholepis*, concluyendo que en la región existe una elevada zoonosis que afecta a estos peces, lo que aumenta aún más su riesgo y

peligro de extinción. Finalmente, en 2023, Cruz-Aviña, J. R., Álvarez-González, C. A., Aranda-Morales, S. A., Figueroa-Lucero, G., Nieves-Rodríguez, K. N., y Peña-Marín, E. S. llevaron a cabo la primera caracterización de la actividad enzimática de la ontogenia digestiva en adultos de este género de charales, con el objetivo de escalar su cultivo en laboratorio a nivel de producción en granja, y apoyarse con la elaboración de piensos o alimentos balanceados *Ad Hoc* por etapa de desarrollo.

3. JUSTIFICACIÓN

El charal de la Preciosa, *Poblana letholepis* es un Atherinópsido microendémico con potencial acuícola, el cual presenta alta demanda local, cuyo cultivo productivo se está desarrollando sin embargo, su hábitat está siendo alterado continuamente devastado, poniendo en riesgo a su población natural, por lo que es necesario realizar acciones integrales de conservación. En este sentido se hace necesario implementar gestiones de conservación *In situ* y *Ex situ*. En adición a esto realizar acciones de intervención comunitaria a través de la Pedagogía Crítica y la Gamificación, con infantes de las comunidades aledañas a este cuerpo de agua. Por lo anterior se plantea un programa piloto de Educación Ambiental No Formal para la conservación de la Biodiversidad en la población de San Juan la Muralla en el Municipio de Guadalupe Victoria, Puebla, México.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cómo poder contribuir a la conservación de *Poblana letholepis* ante la disminución de su hábitat, el cambio climático y la pérdida de saberes bioculturales mediante acciones integrales para evitar su extinción y aportar conocimientos para su conservación?

5. OBJETIVOS

Objetivo General

Elaborar una propuesta integral sustentable para la conservación de *Poblana letholepis* charal endémico del Lago cráter la Preciosa tomando en cuenta aspectos ecológicos, historia de vida, bioculturales y de educación ambiental no formal.

Objetivos específicos

- Proponer la conservación del charal (*P. letholepis*) como alternativa sustentable, complementando los conocimientos biotecnológicos básicos de su cultivo.
- Establecer estrategias de conservación *in situ* del charal (*P. letholepis*), con los pescadores de la comunidad San Juan la Muralla y formular un manejo comunitario de repoblación ante el cambio climático y estrés hídrico.
- Plantear las bases para la elaboración de un plan piloto de educación ambiental no formal que fomente la conservación y reapropiación biocultural del conocimiento para la conservación en infantes de la comunidad San Juan la Muralla (lago cráter La Preciosa) mediante la Gamificación como herramienta pedagógica.

6. HIPÓTESIS

6.1 Hipótesis cualitativa

Si se implementan acciones e intervenciones como propuestas integrales (educación no formal para la conservación de la biodiversidad y la biocultura) se espera, lograr avances en la conservación *in situ* de *P. letholepis*, así como evitar la pérdida de saberes tradicionales.

6.2 Hipótesis cuantitativa

Si se implementan acciones ecológicas, historia de vida y biotecnológicas se espera lograr avances significativos en la reproducción *ex situ* de *P. letholepis*.

7. MARCO TEÓRICO

7.1 Agro-acuicultura

Según definición de la FAO la agro-acuicultura integrada es un sistema de producción formado por la asociación interactiva de varios subsistemas productivos. Existen varias formas de agro-acuicultura integrada desarrolladas en Asia y Europa. Éstas van desde cultivos agrícolas integrados con acuicultura (arroz-peces, forrajes-peces, hortalizas-peces), la cría de animales integrada con acuicultura (cerdos-peces, patos-peces, gallinas-peces, gansos-peces, ganado-peces), hasta complejas interacciones que comprenden agricultura-cría de animales-acuicultura.

Los sistemas de agro-acuicultura integrada han sido promovidos como una alternativa de producción de alimentos a partir de su capacidad de generar sinergias entre las actividades de las explotaciones diversificadas de pequeña escala y del potencial para contribuir a su resiliencia. La acuicultura ha sido introducida en las explotaciones pesqueras de México como una alternativa de diversificación del ingreso frente a la crisis de precios de los cultivos tradicionales. Las ventajas de estos sistemas son:

a) La diversificación de la producción, b) Aprovechamiento de los insumos productivos en más de un cultivo, c) Aprovechamiento de todos los ecosistemas del predio, d) Potenciación

de la producción por efecto sinérgico, e) Menor impacto ambiental de la producción por reciclado de materia orgánica en el propio predio f) Un mejor uso del agua.

En México es viable técnicamente la agro-acuicultura integrada abarcando producciones agropecuarias ya existentes al utilizar especies acuáticas disponibles para cultivo. Puede ser una alternativa atractiva para pequeños y medianos productores ya que aumentaría la rentabilidad de los predios y supondría una diversificación de productos que permitiría estabilizar los ingresos. Se apuntaría por tanto a una mayor eficiencia económica, social y ecológica de la producción. Para su implementación deben realizarse ensayos piloto y disponer de granjas demostrativas que ayuden a los productores a incorporar esta tecnología.

7.2 Biocultura

Cuando hablamos de Biocultura, es esencial considerar la conservación, un proceso que es simultáneamente social, político y biológico. Uno de los principales aspectos sociales relacionados con la biodiversidad es la cultura, ya que los seres humanos mantienen un intercambio estrecho con la naturaleza y la biodiversidad que nos rodea. Hay evidencias que muestran una alta riqueza biológica en áreas con mayor diversidad de lenguas, siendo este el mejor indicador para distinguir una cultura (Toledo, 2003). En comunidades donde prevalecen diversas culturas, suelen compartir lenguaje, religión, valores morales, creencias, vestimentas y otras características de identidad, así como una conexión con un territorio particular. Varias comunidades practican una producción no especializada basada en la conservación de recursos y en buenas prácticas que buscan la subsistencia del paisaje. Estas incluyen el reciclaje de materiales, energía y desechos, la diversificación de productos obtenidos y, especialmente, la integración de diferentes prácticas: agricultura, recolección, extracción forestal, agroforestería, pesca, caza, ganadería de pequeña escala y artesanía (Toledo, 2003). El estudio de antiguas ciudades alrededor del mundo enfrenta constantemente desafíos en la conservación de grandes espacios que han pasado de ser urbanos a rurales o semirurales, con usos muy diferentes. En muchos casos, solo se conservan las pirámides y edificios rituales, dejando desamparadas las áreas urbanas donde vivía la mayor parte de la población. Las presiones urbanas contemporáneas son uno de los principales problemas para la conservación de ciudades antiguas. En México, un ejemplo

claro es Teotihuacán, donde el crecimiento de los pueblos aledaños se ha asentado sobre los antiguos barrios de la ciudad. Algunos de los más importantes han quedado como "islas" conservadas dentro del caos urbano actual como lo es el templo mayor en la CDMX. Un tema poco explorado, tanto en México como a nivel mundial, es la creación de planes de manejo y restauración bioculturales que permitan a los habitantes de estas zonas arqueológicas conservar los vestigios y, al mismo tiempo, ofrecer opciones de uso de sus tierras que respeten su cosmovisión. Es importante recordar que en México todos los restos materiales de culturas anteriores a la llegada de los españoles son patrimonio del Estado, y su destrucción es castigada por el gobierno mexicano (Lindig et al., 2023). Para muchas comunidades, la tierra y la naturaleza en general tienen una cualidad sagrada que está casi ausente en el pensamiento occidental. La tierra es honrada y respetada, no se la considera un recurso económico, sino como la fuente primaria de vida que nutre, sostiene y enseña. La naturaleza es, por tanto, no solo una fuente productiva, sino también el centro del universo, el núcleo de la cultura y el origen de la identidad étnica. Estas sociedades albergan un repertorio de conocimiento ecológico que es, por lo general, local, colectivo, diacrónico y holístico (Toledo, 2003).

Biocultura de los Axalapascos

En Puebla podemos encontrar una importante urbe con ocupación desde el año 600 a. C. hasta el 1050 d. C., me refiero a Cantona quien alcanzó su máximo apogeo al final del periodo Epiclásico, cuando se supone que fue ocupada por grupos olmecaxicalancas conformados por nahuas, mixtecos y chochopopolocas justamente en el momento en que Teotihuacán dejó de ser el centro de poder principal en la región y pequeños estados regionales rivalizaban por el control de las distintas rutas de comercio. Sobre todo, el de la obsidiana gris oscura del yacimiento de Oyameles-Zaragoza, localizado 10 km al norte de la ciudad. Cantona se edificó sobre un derrame basáltico –malpaís- del volcán Xalapaxco, sus estructuras se levantan sobre roca volcánica, lo cual otorga al sitio una apariencia asombrosa. El paisaje está dominado por un sinnúmero de plantas desérticas. Además de algunas coníferas. Cantona es una de las ciudades más urbanizadas del México prehispánico. La elevada densidad poblacional de Cantona demandó gran cantidad de recursos naturales con beneficios como la pesca del charal, actividad que hasta nuestros días pervive como una

pesquería artesanal. También el consumo del ajolote que debió haber sido valorado por su carne blanca y delicado sabor (Alcocer, 2019). Las aguas de las que eran extraídos dichos alimentos son representadas por los Axalapascos provenientes del náhuatl *a(tl)*, agua; *xal(li)*, arena; *apaz(tli)*, olla o cuenco; *co*, en. Así que *axalapazco* significa “en el cuenco de arena con agua”, por oposición se dice *xalapazco* sin la *a(tl)*, de agua, cuando se trata de un cráter carente de lago.

7.3 Educación ambiental

La educación ambiental revela una estrecha relación entre los cambios en las preocupaciones sobre el medio ambiente y sus problemas asociados, así como la manera en que se define y promueve. Surgió cuando las teorías pedagógicas comenzaron a incluir la idea de que los niños debían estar en contacto con la naturaleza y el entorno que les rodea. Su origen se remonta a la década de 1930, con el movimiento de la "*Educación Progresiva*", que tenía como finalidad el aprendizaje a través de la práctica. Aunque se cree que el término "educación ambiental" apareció por primera vez en 1958, el verdadero punto de inflexión que sensibilizó al mundo sobre la fragilidad de nuestro medio ambiente y la necesidad de un desarrollo sostenible para conservarlo ocurrió en 1972. Ese año se celebró la primera Conferencia sobre el Ambiente, donde se creó el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y se identificó la educación ambiental como una de las herramientas más importantes para la conservación de la Tierra (Valera-Mejía et al., 2012). La educación ambiental se refiere a un proceso continuo y de carácter interdisciplinario, enfocado en la formación de personas. Sus principales características incluyen el reconocimiento de valores, el desarrollo de conceptos, y la adquisición de habilidades y actitudes necesarias para una convivencia armónica entre los seres humanos, su cultura y el medio biofísico que los rodea (Valera-Mejía et al., 2012). Esta educación debe impartirse a personas de todas las edades, en todos los niveles, y en el marco de la educación formal y no formal. Los medios de comunicación tienen una gran responsabilidad al poner sus recursos al servicio de esta misión educativa. Los especialistas en temas ambientales, así como aquellas personas cuyas acciones y decisiones pueden tener un impacto significativo en el medio ambiente, deben recibir durante su formación los conocimientos y habilidades necesarias, así como adquirir un pleno sentido de responsabilidad al respecto. La educación

ambiental puede emplearse tanto de manera formal como no formal. La educación ambiental no formal se entiende como la transmisión de conocimientos, aptitudes y valores fuera del sistema educativo institucional, que lleva a la adopción de actitudes positivas hacia el medio natural. Su finalidad es convertir a personas no sensibilizadas en personas informadas; por lo tanto, es necesario planificar actividades específicas que trabajen en las actitudes y comportamientos. Cuando se realiza cualquier actividad de educación ambiental, es fundamental integrar las etapas del proceso educativo para construir una visión coherente de la interacción con el medio ambiente. Estas etapas se dan antes, durante y después del proceso educativo (Castro & Balzaretti, 2000).

1. *Sensibilización*: Esta etapa se realiza antes de comenzar cualquier actividad. Se centra en captar la atención del participante, basándose en un concepto complejo donde el tema en cuestión se analiza como un espacio que debe conservarse y protegerse, fomentando actitudes hacia un desarrollo sostenible.

2. *Reflexión*: Durante esta fase, se reflexiona sobre el sistema de valores, como una forma de vernos a nosotros mismos y el papel que desempeñamos frente a la naturaleza.

3. *Concientización*: Se trabaja desde una perspectiva histórica de los roles humanos, situándose en un contexto específico determinado por el problema abordado y las acciones que se desean tomar. Al final del proceso, se busca favorecer un cambio actitudinal, alineando lo que el individuo piensa con la nueva información y la realidad en la que está inmerso. Una herramienta para facilitar las etapas de sensibilización, reflexión y concientización es el uso de dinámicas y juegos que despierten la capacidad de percibir el medio ambiente. Durante las actividades de educación ambiental no formal, se fomenta una actitud de cooperación, lo que ayuda a las personas a comprender que actuar juntos es fundamental para dar respuesta y solución a los problemas ambientales. La imaginación, la creatividad, el conocimiento y la voluntad son la materia prima para llevar a cabo acciones y crear una educación ambiental efectiva.

7.4 Educación No Formal

Para González (1993), la educación no formal (ENF) es aquella que se desarrolla paralela o independiente de la educación formal y por tanto no queda inscrita en los programas del ciclo del sistema escolar y aunque las experiencias educativas sean

secuenciales, no se acredita y no se certifica. En 1974 Coombs y Ahmed proponen una distinción conceptual entre educación formal, no formal e informal. Llamaban educación no formal a “*toda actividad organizada, sistemática, educativa, realizada fuera del marco del sistema oficial, para facilitar determinadas clases de aprendizajes a subgrupos particulares de la población, tanto adultos como niños*” (Camors, 2009). En el mismo sentido, Trilla (1996) afirma que la educación no formal es una modalidad de la educación. El concepto surge históricamente ante los problemas y dificultades del desarrollo de la escolarización, como una forma de alcanzar los objetivos educativos propuestos para toda la población. Surge precisamente para completar, reforzar, o continuar, en su caso, suplir ciertos cometidos escolares. Por otra parte, la educación no formal enfrenta una serie de desafíos que debe superar con el fin de hacer mucho más efectiva su implementación.

7.5 Educación Ambiental No Formal

La Educación Ambiental no Formal (EANF) busca generar en individuos o comunidades actitudes o acciones positivas hacia el entorno en que habitan, a partir de la reflexión sobre los impactos negativos que estos y éstas ocasionen al medio en su diario vivir, y fuera de un sistema educativo riguroso o formal. Guier (2002) indica que la educación ambiental no formal es responsabilidad de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, además prioriza las capacitaciones y producción de materiales didácticos. El grupo meta se define según los objetivos del programa o modelo a implementar y existe una relación estrecha en que también se contemplan los sistemas a distancia. Al respecto, Novo (2005) señala una serie de características que se encuentran implícitas en este tipo de educación, como son el contexto, el desarrollo de procesos interdisciplinarios, la conciencia participativa, la flexibilización del rol profesor/estudiante, la creación de redes, los múltiples recursos y vías de aprendizaje y la estimulación de relaciones de educación/ trabajo. Igualmente, el mismo autor enfatiza en los principios y valores que fundamentan la educación ambiental no formal, como también en el concepto de interdependencia entre las esferas social, económica y natural, con el fin de entender el planeta como una unidad y generar pensamientos globales, pero con actuaciones locales. La fuerza de la educación ambiental no formal reside en el hecho de que no opera dentro de un conjunto dado de reglas con estructura estricta, currículo y procedimiento de exámenes, sino que tiene mayor capacidad de

responder a los temas ambientales locales, que poseen mayor significado social y utilidad para la comunidad y están menos dominados por temas académicos. Hoy día la educación ambiental no formal se está implementando en diferentes grupos sociales y por lo general a escalas locales. Este instrumento de la gestión ambiental se ha involucrado en procesos que van desde el diagnóstico de microcuencas y protección y conservación de humedales hasta su aplicación como herramienta de la percepción de los usuarios de parques naturales.

7.6 Gamificación

La UNESCO (2019) ha observado que la implementación de tecnologías de la información y comunicación (TIC) en el sector educativo se está realizando cada vez con mayor frecuencia y alcanza a más comunidades. Actualmente, se está investigando qué estrategias se están utilizando para incluir y adaptar las TIC en los centros educativos. En este sentido, la UNESCO recomienda acciones públicas para la inclusión social y digital en la educación, así como para todos los actores involucrados. *"Gamificar es aplicar estrategias (pensamientos y mecánicas) de juegos en contextos no jugables, ajenos a los juegos, con el fin de que las personas adopten ciertos comportamientos"*. (Angeles-Lucas et al., 2020). La gamificación es una estrategia innovadora que ha demostrado ser efectiva para mejorar la motivación y el compromiso de los estudiantes en el aprendizaje. Al utilizar elementos de juego, como recompensas, competencias y desafíos, la gamificación puede hacer que el aprendizaje no formal sea más atractivo y relevante para los infantes, lo que puede mejorar su rendimiento académico y su experiencia educativa en general. La implementación de la Gamificación fuera del aula implica el uso de técnicas basadas en juegos que aprovechan elementos como la motivación, la interactividad y la participación del estudiante en el proceso de aprendizaje y de juego. El estudiante dirige su interés y atención hacia el juego para alcanzar sus objetivos de aprendizaje

7.7 Estudios sobre la ontogenia digestiva como herramienta para la reproducción *ex situ* de peces en riesgo

Así como el desarrollo de estudios anatómicos es un aspecto fundamental en la biología básica para la producción y conservación de los organismos también lo son el

conocimiento de los procesos energéticos ya que funciones básicas de los peces tienen lugar a expensas de la energía que entra al organismo en forma de alimento. El cultivo *ex situ* de muchas especies de peces se considera como uno de los cuellos de botella para el desarrollo de biotecnologías de cultivo a escala comercial, este es el caso del Charal de la Preciosa (Dhert et al., 1998). Según Verreth (1994), las dificultades más sobresalientes para este desarrollo son la falta de conocimiento de las condiciones ambientales óptimas, del comportamiento de alimentación, de los requerimientos nutricionales específicos, asociados a los cambios ontogénicos y al crecimiento, así como el pequeño tamaño de las larvas y la necesidad de alimentos de tamaños de partícula adecuados, lo que plantea problemas específicos para la producción de alimentos (Planas and Cunha, 1999).

En relación con la alimentación, bajo condiciones de cultivo, los peces en sus diferentes etapas requieren diferentes tipos de alimento durante su desarrollo. Al eclosionar, obtienen los nutrientes a partir de las reservas del saco vitelino y del glóbulo de aceite, una vez que las reservas endógenas se agotan, las larvas comienzan a alimentarse de microorganismos planctónicos como los rotíferos y/o copépodos y posteriormente con presas cada vez más grandes como nauplios y metanauplios de *Artemia* spp. A medida que las larvas se desarrollan, ocurre la metamorfosis a juvenil y posteriormente cuando se activa la función hormonal se transforman en organismos adultos y son capaces de reproducirse.

8. METODOLOGÍA

8.1 Sitio de Estudio

El lago cráter La Preciosa se encuentra ubicado a una Latitud 19°22'N, y una Longitud 97°23'W, a 2,333 m.s.n.m., comprende una superficie de 0.78 km² y una profundidad de 45 m, en la Cuenca Oriental, Puebla, México. Aunque latitudinalmente se encuentra en la región subtropical, debido a la altitud presentan comportamientos limnológicos similares a las latitudes templadas ya que la temperatura disminuye sin que se congele el agua en el invierno.

La Preciosa se ubica dentro de la zona de climas más secos con una precipitación anual de 425 mm, una temperatura anual promedio de 12.8 °C y una evaporación anual muy elevada que oscila entre los 1,700 mm. El agua disponible de éste y los demás *Axalapascos*

es esencialmente subterránea, a poca profundidad, lo que le permite quedar expuesta e indica el nivel freático regional. Se caracteriza por un vulcanismo de naturaleza monogénica, es decir, volcanes producidos comúnmente por un solo evento eruptivo y de corta duración. El axalapasco resulta de erupciones altamente explosivas de tipo freático (interacción de calor con agua) o freatomagmáticas (interacción entre magma ascendente con agua) que exponen a las rocas preexistentes al Mar, también conocidas como roca encajonante (Alcocer, 2019).

El ser humano extrae agua de manera artificial por medio de pozos, galerías y otros tipos de captaciones para su aprovechamiento, interceptando y alterando el recorrido natural del sistema de flujo subterráneo. Por lo mencionado anteriormente se presenta un balance hídrico negativo lo cual ocasiona que del agua que se precipita una porción se evapore y otra se infiltre rápidamente sin dar lugar al establecimiento de corrientes superficiales permanentes, lo cual en conjunto le confiere el carácter de cuenca endorreica. Así mismo la evaporación que ocurre constantemente en la superficie del lago genera la concentración paulatina de algunos iones. Lo anterior explica por qué el agua del lago presenta una concentración salina mayor a cero, con altas concentraciones de iones Ca y Mg y establece la diferencia entre el agua subterránea saliente con respecto a la entrante; las entradas de agua son la precipitación y el flujo subterráneo hacia el lago mientras que los flujos de salida son la evaporación directa desde la superficie del lago y el flujo subterráneo hacia el norte con dirección a la laguna de Tepeyahualco. Lo más probable es que el nivel y en consecuencia el volumen del lago está disminuyendo debido a que las condiciones climáticas actuales favorecen significativamente la evaporación por encima de la precipitación y de la entrada de agua subterránea. Sin embargo, las evidencias sugieren que las actividades humanas (explotación de agua subterránea) están acelerando el proceso “*natural*”.

La comunidad más cercana recibe el nombre de los Llanos de San Juan y se encuentra ubicada dentro del Municipio de Guadalupe Victoria, Puebla. Al oriente se localiza la Sierra de Quimixtlán, así como algunos cerros aislados como el cerro de los Tetillán, Cristo Rey, El Rodeo, El Aire y Jesús. La sierra de más de 7 kilómetros de largo que va de la laguna La Preciosa, hasta el norte de la laguna de Atexcac, se alza más de 200 metros sobre el nivel del valle, y destaca el cerro Siete Cuevas, el complejo montañoso del cerro Pinto Ancho y Alto, las últimas estribaciones septentrionales de las montañas gemelas: *Las Derrumbadas* y los

pequeños cerros que se levantan al suroeste y entre Nuevo Termel y la Laguna Atexcac.

Figura 1.

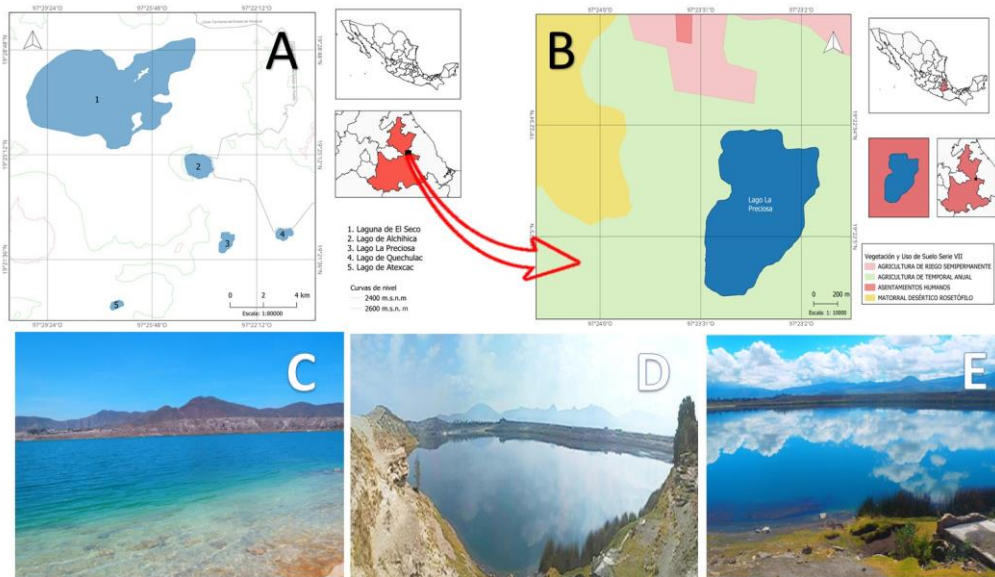


Figura 1. Lago La Preciosa en el Municipio de Guadalupe Victoria, Puebla, México. A) Ubicación de los cuerpos de agua epicontinentales de la región de los Axalapascos: lagos cráter (Maars) en la Cuenca Oriental. 1.- Laguna del salado o seco, 2.-Lago Alchichica 3.-La Preciosa, 4.-Lago Quechulac, 5.-Lago Atexcac. B) Lago cráter La Preciosa. C). D). E) vistas parciales al lago donde se aprecia la belleza escénica del lugar. *Propio 2022-2024.*

8.2 Métodos

Caracterización enzimática de la ontogenia digestiva

Obtención de las muestras de P. letholepis

Para los ensayos de caracterización enzimática de *P. letholepis*. Se recolectaron durante un año un aproximado de 120 ejemplares (N=120) en diferentes fases de desarrollo

con ayuda de pescadores locales con permiso de pesca, del lago cráter y se transportaron en contenedores de 1 L con agua del lago (Conforme Frausto-Illescas, 2016).

Preparación de las muestras

Para los ensayos de caracterización enzimática (proteasas) se utilizaron un total de 20 adultos, 10 huevos, 10 larvas, 10 juveniles, los cuales se mantuvieron sin alimentación por un periodo de 48 horas antes de ser sacrificados. Posteriormente, fueron pesados antes y después de la evisceración, se procedió a la extracción del intestino por separado, los cuales fueron triturados con un homogeneizador de tejidos (ULTRA TURRAX® IKA T18 Basic). Los extractos se prepararon en una solución buffer Tris 0.1 mol/L CaCl₂ 0.01 molL⁻¹ a pH 9 para los extractos del intestino (en su caso) en una relación 5:1 para Adultos, 10:1 para Juveniles y 10:1 para Larvas (5 y 10 mL de buffer por g de tejido) a 4 °C, las mezclas obtenidas se colocaron en tubos Eppendorf (1 mL por cada tubo) y fueron centrifugados a 14000 rpm a 4 °C. El sobrenadante fue extraído y se ajustó el pH requerido para cada extracto, luego se almacenaron en tubos Eppendorf a -20 °C, hasta su posterior análisis enzimático.

Determinación de proteína soluble

Para el cálculo de la concentración de proteína soluble de cada muestra, se utilizó la técnica de análisis Bradford (Bradford, 1976). Esta técnica está basada en el cambio de color del Azul Brillante de Coomassie G-250. Su color rojo se convierte en azul después de formar un complejo con la proteína. El complejo presenta una absorbancia máxima a 595 nm. Se determinó el contenido de proteína soluble de las distintas muestras de la siguiente manera: a 5 µL de extracto problema se le añadió 1 mL de reactivo de Bradford. La densidad óptica (DO) fue medida a 595 nm en un espectrofotómetro UV/visible entre los 15 y 60 minutos del comienzo de la reacción colorimétrica. Todas las medidas se realizaron por triplicado. La recta patrón o de calibrado se llevó a cabo con una solución estándar de albúmina bovina (1 mg/mL).

Estudio de proteasas digestivas

Para la actividad de proteasa ácida se aplicó la técnica de Walter (1984) y Anson (1938) utilizando como sustrato hemoglobina (1 %), y con las siguientes modificaciones: 1 mL de hemoglobina al (1 %) en tampón 0.1 mol/L glicina-HCl a pH 2.0 se le añadió 50 µL de extracto multienzimático. El extracto se incubó durante 2 horas a 37 °C y la reacción se detuvo por adición de 0.5 mL de ácido tricloroacético (TCA al 20%). Después de reposar la mezcla de reacción (15 a 30 minutos) a 4 °C, se centrifugó a 12000 rpm durante 5 min. En el sobrenadante, se midió la cantidad de tirosina liberada (280 nm) mediante un espectrofotómetro UV/visible. Una unidad de actividad se definió como la cantidad de enzima que cataliza la formación de 1 µg de tirosina por minuto. Para determinar el coeficiente de extinción molar de la tirosina, se realizó una recta patrón con diferentes concentraciones de tirosina (de 0 a 300 µg/mL). Todos los ensayos se realizaron por triplicado. La determinación de la actividad de proteasa alcalina se realizó por el método de Kunitz (1947) modificado por Walter (1984) usando como sustrato caseína al 1%. En un tampón 100 mMol/L Tris-HCl, 10 Mol/L CaCl₂ a pH 9. La reacción se detuvo con ácido tricloroacético (TCA) al 20 % y se determinó la cantidad de tirosina liberada según el protocolo descrito en el apartado anterior.

Actividad proteasa alcalina (Dunn, 1989)

Para la actividad de proteasa alcalina se utilizaron 300 µL del sustrato caseína (1%) y 0.5 mL de tampón Tris-HCl 100mM + CaCl₂ 10 nM pH 9, posteriormente se adicionó 10 µL de extracto enzimático y se incubó 6 horas para Larvas, 3 horas para Juveniles y 2 horas para Adultos a una temperatura de 25° C deteniendo la reacción con 200 µL de TCA (ácido tricloroacético) al 20%. Se dejó reposar la mezcla de reacción (15 a 30 min) a 4° C para la precipitación de proteínas. Se centrifugó a 12000 rpm durante 15 min. En el sobrenadante se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV/visible a 280 nm (cubeta de cuarzo). Una unidad de actividad se definió como la cantidad de enzima que cataliza la formación de 1 µg de tirosina por minuto.

Actividad Tripsina con sustrato BAPNA (Erlanger et al., 1976)

Se utilizaron 6 tubos eppendorf a los cuales se adicionó 495 μL de sustrato BAPNA 3.5 mM diluido en buffer Tris-HCl 100 mM + CaCl_2 10 mM pH 8. Posteriormente se agregaron 5 μL de extracto enzimático y se dejó incubar durante 4 horas a temperatura ambiente 25 ° C y para detener la reacción se adicionaron 125 μL de ácido acético al 30%. Posteriormente se leyó la muestra en espectrofotómetro UV/visible a 410 nm con celda de cuarzo.

Actividad Quimotripsina con sustrato SAPNA (Del Mar et al., 1961)

En 6 tubos eppendorf se agregaron 980 μL de sustrato SAPNA y posteriormente se adicionó 10 μL de extracto multienzimático para dejar incubar 4 horas a 37° C. Una vez pasado el tiempo se detuvo la reacción con 250 μL de ácido acético al 30% y se leyó la absorbancia en un espectrofotómetro UV/visible a 405 nm.

Actividad Lipasa con sustrato β -naftil caprilato (Mckellar y Cholette, 1986; modificado por Versaw et al., 1989)

En tubos de ensayo se agregó 50 μL de taurocolato de sodio 100mM y 475 μL de tampón Tris-HCl a 50 mM pH 7.5, posteriormente se agitó en vórtex y se adicionó 10 μL de extracto multienzimático. Se procedió a incubar 5 min a 40° C y se utilizó 5 μL de β -naftil caprilato a 1000 mM, para el siguiente paso se incubó por 4 horas y se agregó 5 μL de fast blue BB a 100 mM y se incubó 5 min a 40° C para detener la reacción con 200 μL de TCA 0.72 N al 10% para agitar en vórtex, una vez realizados los pasos anteriores se agregó 677 μL de acetato de etilo (Etanol 1:1 v/v) y se leyó la absorbancia en un espectrofotómetro UV/visible a 540 nm en cubeta de cuarzo.

Actividad Leucina Aminopeptidasa

Se utilizaron 6 tubos eppendorf a los cuales se les agregó 720 μL del sustrato L-leucin-P-nitroanilida diluida en buffer fosfato de sodio 50 mM pH 7.2, se adicionó 5 μL de

extracto multienzimático y posteriormente se llevó a incubar durante 2 horas para Juveniles y Adultos y 3 horas para Larvas a temperatura ambiente a 25° C. Para detener la reacción se utilizaron 200 µL de ácido acético al 30% y se procedió a leer la absorbancia en espectrofotómetro UV/visible a 410 nm.

Efecto del pH sobre la actividad y estabilidad de las proteasas

Se determinó el efecto del pH sobre la actividad de proteasas ácidas y alcalinas en los extractos enzimáticos de adultos de las tres especies del género *Poblana*. Para la determinación de la actividad de las proteasas ácidas, los extractos, se incubaron con hemoglobina (1%) diluida con tampón universal Stauffer (1998), con un rango de pH desde 2 hasta 12, siguiendo el procedimiento de la determinación de la actividad enzimática descrito anteriormente para este tipo de proteasas. En el caso de las proteasas alcalinas, se utilizó como sustrato caseína (1%) tamponada con el mismo tampón y usando los mismos valores de pH. Todos estos ensayos se realizaron por triplicado. El efecto del pH sobre la estabilidad de la actividad proteasa ácida y alcalina se determinó preincubando los extractos a diferentes pH (desde 2 hasta 12) con tiempos de 0, 30, 60 y 90 minutos para las proteasas ácidas y de 0, 60, 120 y 180 minutos para las proteasas alcalinas, después se midió su actividad a pH normal (2 para las proteasas ácidas y 9 para proteasas alcalinas) siguiendo las técnicas anteriormente descritas. Los resultados se mostraron en relación con la actividad residual a intervalos regulares con respecto a un control sin preincubar. Para todos los ensayos de estabilidad, se tomaron los valores de los tiempos cero de reacción, como el 100% de la actividad residual con la finalidad de observar el comportamiento de la enzima a partir de ese momento.

Efecto de la temperatura sobre la actividad y estabilidad de las proteasas

Para determinar la temperatura óptima de las proteasas digestivas, los extractos de los adultos de las tres especies del género *Poblana*, se incubaron en los sustratos de hemoglobina (1%) y caseína (1%), con las técnicas antes descritas para actividades de proteasas ácidas (Anson, 1938), y alcalinas (Kunitz, 1947 modificado por Walter, 1984), respectivamente a

un rango de temperatura desde 25 hasta 85°C. Para determinar la influencia de la temperatura sobre la estabilidad de las proteasas ácidas y alcalinas se incubaron los extractos de los adultos en los sustratos hemoglobina (1%) para las proteasas ácidas y caseína (1%) para proteasas alcalinas respectivamente, utilizando las técnicas antes descritas para este tipo de proteasas a temperaturas desde 25 hasta 65 °C con tiempos de preincubación de 0, 30, 60 y 90 minutos para cada temperatura. Todos estos ensayos se realizaron por triplicado.

Inhibición enzimática en proteasas digestivas

Para determinar proteasas ácidas, se utilizó el método descrito por Dunn (1989), donde se caracterizó la acción de las enzimas digestivas que componen el estómago utilizando el inhibidor pepstatin A al 1 mMolL⁻¹. Se mezcló 5 µL de solución concentrada del inhibidor con 5 µL de extracto multienzimático a 37°C durante 1 h; posteriormente se aplicó la técnica descrita para la actividad en proteasas ácidas. La actividad de los ensayos se comparó con un blanco sin inhibidor para calcular la actividad residual. La caracterización de proteasas alcalinas se obtuvo aplicando el método de Dunn (1989), utilizando diferentes tipos de inhibidores: fluoruro de fenilmetasulfonilo 100 mMolL⁻¹ (PMSF), tosil-lisina-clorometil cetona 10 mMol⁻¹ (TLCK; fluoruro de fenilmetilsulfonilo), inhibidor trípico de soya 250 mMolL⁻¹ (SBT1; inhibidor trípico de soya), tosil-fenilalanina-clorometil cetona 10 mMolL⁻¹ (TPCK), fenantrolina 10 mMolL⁻¹ (FEN; fenantrolina), ovomucoide de pavo 250 mMolL⁻¹ (Ovo; ovoalbúmina) y ácido etilendiaminotetraacético 10 mMolL⁻¹ (EDTA), mezclando 20 µL de extracto multienzimático y se preincubó con 20 µL de cada inhibidor durante 1 h a 37 °C. Posterior a la preincubación se procedió aplicando la técnica descrita para la determinación de proteasas alcalinas; el resultado de los ensayos se comparó con un testigo sin inhibidores, para obtener la actividad residual.

Gamificación: Proceso creativo del juego de mesa “Axalapascos”

Desarrollamos el análisis del proyecto a partir de los ejes que proponen (Weelie & Wals, 1999) para implementar programas de educación ambiental con enfoque en biodiversidad. De acuerdo con la metodología propuesta por Delors, 1996, se tomaron en cuenta cuatro pilares del conocimiento sobre la educación ambiental para realizar el juego de

mesa llamado “*Axalapascos*”; es un juego en el que los jugadores compiten para ver quién es capaz de hacer que su lago sea el más diverso y conservado. El ecosistema de los llanos de San Juan La Muralla está lleno de simbiosis, y debes hacer que crezcan árboles altos de Izote y exuberantes cactáceas, para atraer la mayor diversidad de vida salvaje. Si seleccionas cuidadosamente lo que se encuentra en el lago y evitas la contaminación, puedes conseguir el equilibrio ideal y lograr un ecosistema próspero.

Para elaborar el juego, se consideraron distintos engranajes lógicos sobre los nuevos conocimientos, ideas y representaciones para constituir un conocimiento propio e individual (Viera, 2003). Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de juegos ya existentes con temáticas ambientales, como “Forbidden Island” (Gamewright, 2010) y “Amazonia” (Weird City Games, 2021). Estos juegos fueron seleccionados por sus características colaborativas y sus mecánicas de manejo de recursos, que podían adaptarse para reflejar las problemáticas ambientales específicas del área de estudio. La evaluación de estos juegos sirvió de base para determinar las dinámicas más efectivas y seleccionar las mecánicas de juego que mejor se ajustaran al propósito educativo del proyecto.

Elaboración del tablero

El tablero del juego fue diseñado representando el lago-cráter “La Preciosa”, utilizando veinte tarjetas que distinguen entre un lago bien conservado (tonalidades vivas) y uno contaminado (escala de grises). Se realizó un primer diseño en formato digital a partir de fotografías propias y posteriormente se realizó un dibujo a mano alzada con lápices de la marca LYRA REMBRANDT® utilizando el diseño anterior como base. Se tomaron en cuenta componentes fisiográficos propios de la zona de estudio. El dibujo se realizó sobre papel ilustración con medidas de 40 cm x 35 cm. El proceso para construir la forma y el volumen de los objetos se basó en distintas variantes de colores mediante la mezcla de una paleta ajustada al lago (Parramón, 2014). A partir de pinturas acrílicas se utilizó la técnica de acuarela para reflejar las características cromáticas de cada pigmento en su estado más puro y luminoso. A través de una mezcla sobre húmedo se aplicó un color sobre una aguada de otro color logrando así los degradados y transiciones necesarias para lograr los efectos deseados en lo que posteriormente sería el tablero (Parramón, 2014).

Una vez realizado el tablero, se escaneó a 600 DPI con ayuda de una impresora Canon MAXIFY y se vectorizó la imagen con ayuda del Software Illustrator 2019 a partir de un calco de imagen de alta fidelidad. Para el diseño de las especies de vegetación y fauna se realizaron bocetos a mano alzada utilizando lápices de la marca LYRA REMBRANDT®, se detalló cada trazo de los dibujos de las especies. Con el fin de realzar las características propias de cada especie, se quitó el llamado ruido visual. Todos los dibujos fueron rotulados con un fineliner de la marca CREATIVE Indra® con un tamaño de 0.8 mm y se colorearon a mano con colores de la marca PRISMACOLOR junior®. Al finalizar se aplicó una capa de laca a cada uno de los dibujos y se escanearon a 600 DPI con ayuda de una impresora Canon MAXIFY y fueron vectorizados con ayuda del Software Illustrator 2019 a partir de un calco de imagen de alta fidelidad. Posteriormente en Illustrator 2019 se realizó el diseño de las tarjetas que componen las imágenes de fauna y vegetación. Se añadieron valores de puntuación, nombre científico y nombre común de cada especie, así como poderes (características de la especie) y colores específicos para diferenciar entre cartas especiales (doradas y plateadas) y cartas comunes (café y verdes). Se añadieron cartas de amenazas (rojas) y cartas de acciones positivas (azules) tomando en cuenta el puntaje.



Figura 2. Dibujos a mano alzada hechos con lápices marca LYRA REMBRANDT®.

(Fuente: Elaboración propia).



Figura 3. Dibujos coloreados con lápices de colores PRISMACOLOR junior.

(Fuente: Elaboración propia).



Figura 4. Lago pintado a partir de pinturas acrílicas con la técnica de acuarela para reflejar las características cromáticas.

(Fuente: Elaboración propia).

Para los elementos en 3D se realizó un diseño de Ajolotes caricaturizados de diferentes colores y producidos en materiales PETG Y PLA, para garantizar su durabilidad y sostenibilidad. A la par se realizó el modelado en 3D de la iglesia y dos escuelas representativas de la comunidad, así como 9 fichas de cerdos que representan la carta de “Granja de cerdos” en resina tipo ABS.

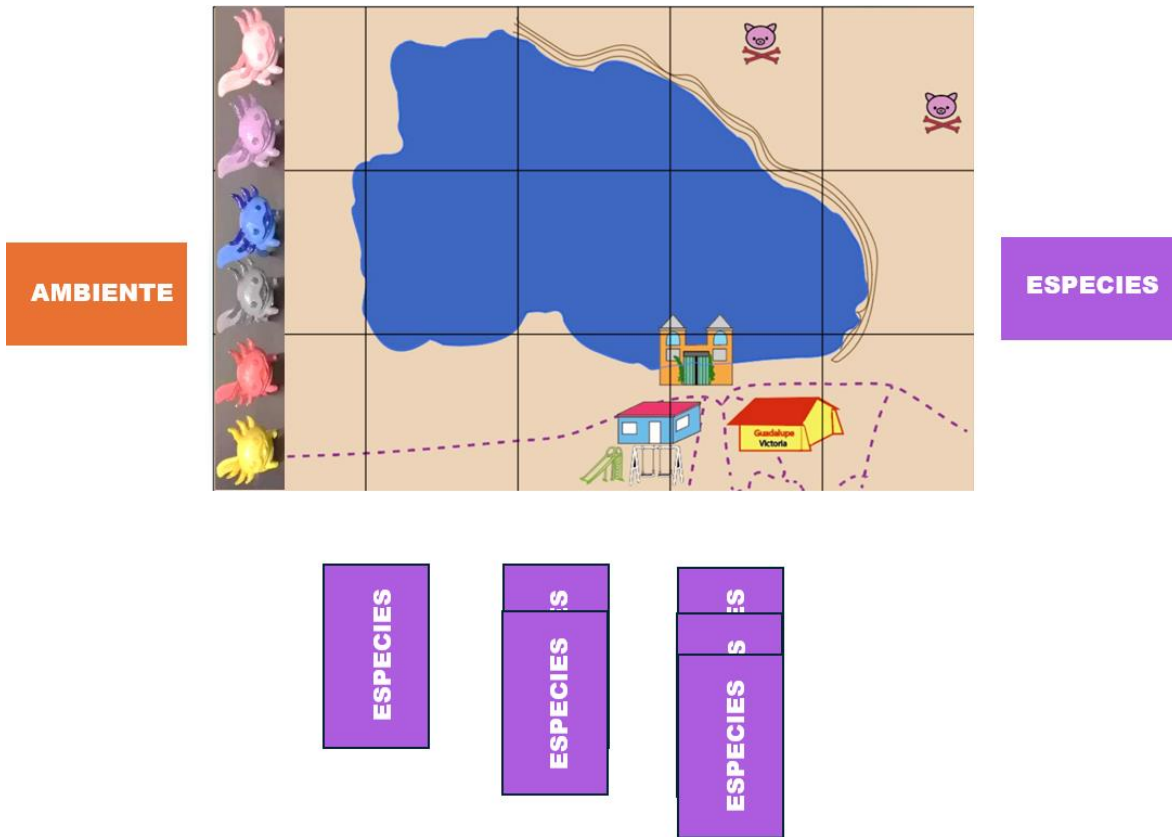


Figura 5. Propuesta de organización y distribución de cartas para el juego “Axalapascos”.
(Fuente: Elaboración propia).

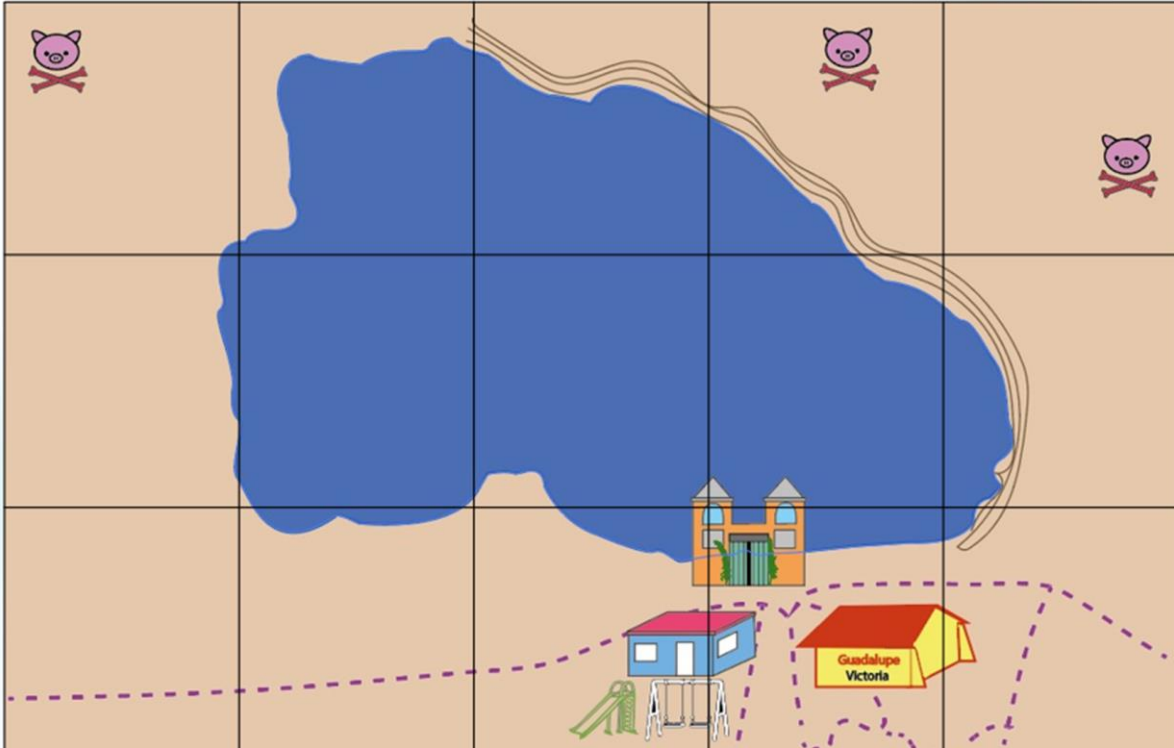


Figura 6. Propuesta de tablero (anverso) para el juego “Axalapascos”.

(Fuente: Elaboración propia).

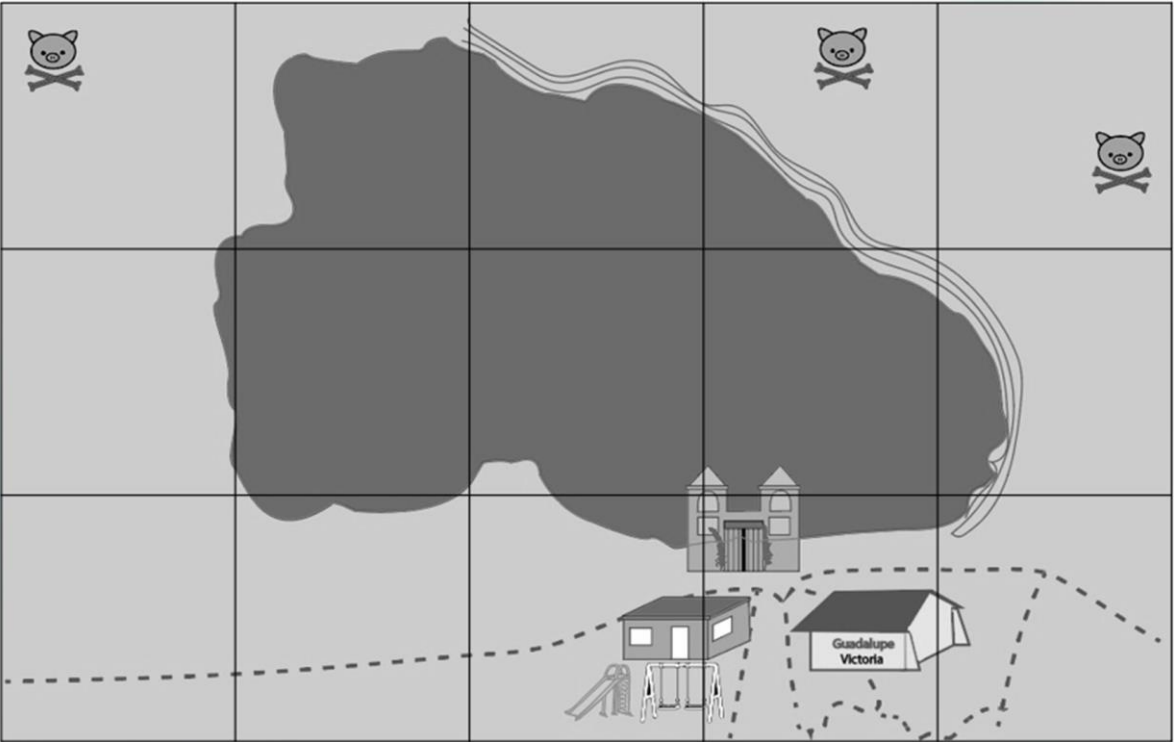


Figura 7. Propuesta de tablero (reverso) para el juego “Axalapascos”.

(Fuente: Elaboración propia).



Figura 8. Ejemplos de cartas “raras” (doradas y plateadas) y cartas comunes (café y verde) de fauna y vegetación para el juego “Axalapascos”.

(Fuente: Elaboración propia).

INSTRUCTIVO

MODO DE JUEGO 1

Contenido:

107 cartas

20 cartas de lago para el tablero

25 plantas

25 animales

22 cartas de contaminación

15 cartas de actividades que puedan revertir la contaminación

1 dado

10 figuras de Ajolotes, 9 figuras de cerdos

1 figura de iglesia, 2 figuras de escuelas

El tablero del juego fue diseñado representando el lago-cráter "La Preciosa", utilizando 20 tarjetas que distinguen entre un lago bien conservado (tonalidades vivas) y uno contaminado (escala de grises).

Cada partida de "Axalapascos" se desarrolla a lo largo de 3 estaciones (rondas), durante las cuales los jugadores deberán tomar turnos para seleccionar cartas de dos pilas: una de medio ambiente y otra de especies. Las cartas de especies permiten agregar plantas y animales al lago, mientras que las de medio ambiente introducen amenazas o condiciones que pueden afectar la salud del ecosistema, así como acciones para revertirlas. Si un jugador obtiene una carta de "granjas de cerdos", por ejemplo, deberá colocar figuras de cerdos en su tablero, representando la contaminación del lago. A lo largo del juego, los jugadores deben equilibrar la biodiversidad de su ecosistema, evitando la acumulación de amenazas.

Al final de cada ronda, los jugadores sumarán puntos por los conjuntos de especies que han reunido. Los puntos se otorgan en función de la diversidad de plantas y animales presentes en el lago, y los jugadores que logren mantener un equilibrio ecológico serán

recompensados. Sin embargo, si el lago se contamina en exceso, todos los jugadores perderán. En términos colaborativos, todos los jugadores pierden si el ecosistema del lago se contamina demasiado; por otra parte, el ganador individual será aquel que logre mantener el ecosistema más diverso y saludable.

Preparación básica para 2-6 jugadores (necesitas papel y lápiz)

1. Crea tu lago “Axalapasco La Preciosa” (ordena tus tarjetas), baraja las cartas y luego colócalas de forma que las cartas de agua queden al centro y las de zonas de siembra al exterior, procura que el color claro quede boca arriba (conservado) y el color gris boca abajo (contaminado). Acomoda las figuras de la iglesia y las escuelas en donde indica la imagen del tablero. Procura dejar un pequeño espacio entre las cartas para que puedas voltearlas en caso de que se contaminen. Elige un ajolote y colócalo en la tarjeta que quieras del tablero.

2. Baraja las cartas de especie y haz tres mazos por cada jugador, el primer mazo tendrá una carta elegida al azar, el segundo mazo con dos cartas elegidas al azar, el tercer mazo con tres cartas elegidas al azar y finalmente coloca a un costado del tablero la pila de cartas de especies boca arriba.

3. Baraja las cartas de medio ambiente y ponlas boca abajo en el otro costado del tablero de forma que puedas tomarlas fácilmente.

¿Cómo jugar?

1. Todos los jugadores deben lanzar una vez el dado, comienza el jugador con el puntaje más alto (tienes prioridad si has visitado el lago recientemente, entonces tú inicias el juego).

2. Se empieza volteando la primera carta del mazo que contiene tres cartas (especies), el jugador deberá tomar una carta de la pila de ambiente, elige si quedarse con ella o desecharla. Si decides no utilizar la carta, deberás voltear una de las cartas del tablero (la que tiene tu ajolote), acto seguido deberás colocar tu ajolote en otra carta del tablero que no se haya volteado al lado gris (contaminado).

Luego deberás tomar otra carta de la pila para comer (ambiente) y ponerla a un costado del mazo que contiene tres cartas (especies).

3. Posteriormente, debes voltear las dos cartas restantes de especies del mazo y hacer la acción en conjunto con la carta de ambiente (sumar o restar los puntos). Estas cartas te dicen si se contamina el lago o el hábitat (amenazas), o si hay acciones para prevenir la contaminación (acciones positivas).

4. Si durante tu turno sale una carta de granjas de cerdos, deberás colocar 3 figuras de cerdos, un cerdo en cada una de tus tarjetas del tablero (incluida la tarjeta donde se encuentra tu ajolote) y voltearlas al color gris.

5. Si decides colocar tus figuras de cerdos en las cartas que contienen la iglesia, o las escuelas, deberás quitar las figuras y voltearlas al lado gris. Acto seguido deberás colocar tu ajolote en otra carta del tablero que no se haya volteado al lado gris (contaminado).

6. Una vez que hayas volteado tu primer mazo de cartas y realizado la acción en conjunto (sumar o restar los puntos) habrá terminado tu turno y deberás sumar y restar el puntaje de esas cartas y reservarlo para el final de la primera ronda.

7. Ahora es el turno del siguiente jugador, repite desde el paso 2.

8. Una vez terminada la primera ronda y que todos los jugadores hayan realizado la acción en conjunto del mazo con tres cartas continuarán con el mazo que contiene dos cartas y seguirán las instrucciones desde el paso 2.

9. A lo largo del juego debes de ir juntando la mayor cantidad de plantas y animales para poder hacer tu lago más diverso, pero también evitar que se contamine y tengas que voltear las cartas al lado gris (contaminado) o todos perderán.

10. Al finalizar las tres rondas cada uno sumará o restará el puntaje obtenido en cada ronda, el ganador será aquel que obtenga el mayor puntaje, pero si al finalizar las tres rondas, siete o más de siete cartas del tablero del lago “Axalapasco La Preciosa” están volteadas al lado gris (contaminado), todos perderán.

INSTRUCTIVO

MODO DE JUEGO 2

¿Cómo jugar?

(Necesitas papel y lápiz)

1. Colocar las cartas que forman el tablero dentro de la bolsa secreta.
2. Haz una pila con todas las cartas, barájalas muy bien y colócalas boca abajo.
3. Para dar inicio a la partida cada jugador lanzará el dado y comenzará aquel con mayor puntaje.
4. Lanza el dado y dependiendo del número que te salga deberás tomar la misma cantidad de cartas de la pila. Posteriormente suma los puntos de todas las cartas que tomaste.
5. Saca una carta del tablero de la bolsa secreta y revisa el puntaje que esta contiene. Compara el puntaje que obtuviste de tus cartas contra el puntaje de la carta del tablero. Si los puntos que tienes de tus cartas es menor que el puntaje de la carta del tablero, deberás colocarla del lado gris (contaminado), si los puntos que obtuviste son igual o mayor al puntaje de la carta del tablero podrás colocarla del lado de colores vivos (conservado).
6. Ahora termina tu turno y le toca al siguiente jugador.
7. El siguiente jugador deberá lanzar el dado y dependiendo del número que salga, tendrá que tomar el mismo número de cartas, suma el puntaje de las cartas. En equipo decidan, si sacar una nueva carta de la bolsa secreta o voltear la carta anterior del tablero que quedó en color gris, siempre y cuando el puntaje de tus cartas sea igual o mayor a los puntos que requiere la carta del tablero.
8. Repite desde el paso 4 para los siguientes jugadores. A partir del segundo jugador, todas las decisiones tienen que ser tomadas en equipo (tomar una nueva carta de la bolsa secreta o

voltear las cartas anteriores que quedaron del lado gris). Recuerden que cuando la pila de cartas para comer se acabe, termina el juego.

9. Ganan solamente si más de trece cartas del tablero se encuentran del lado de colores vivos (conservado) y pierden todos, si siete o más cartas se encuentran del lado gris (contaminado).

9. RESULTADOS

Ecología e historia de vida de *P. letholepis*

Conforme los resultados obtenidos *Poblana letholepis* es un pez ovíparo con desarrollo indirecto y sin cuidados parentales. Sus huevos son telolécitos, esféricos (1.20 ± 0.05 mm diámetro), el corion es liso y transparente; los huevos tienen un número variado de gotas pequeñas de aceite, al inicio del período embrionario y en la fase de embrión, terminan condensadas en una gran gota en la región anterior a la boca; los huevos tienen un solo zarcillo con el cual se sujetan a las raíces y estromatolitos de las plantas que se encuentran en la orilla del Axalapasco La Preciosa. El tiempo de desarrollo desde la eclosión, hasta que 50% de los peces se transforma en juveniles es de 45-60 días a $15-18^{\circ}$ C y cuentan con un periodo de embrión libre que consiste en dos fases: apterolarva y pterolarva

La longitud total (LT) de *P. letholepis* circunda entre los 75 mm, presenta una estrategia de reproducción iterópara, (puede reproducirse varias veces durante su ciclo de vida). Presenta dos periodos de desove que abarcan de febrero a abril (pico más alto) y de agosto a octubre, esto está directamente relacionado con la hidrodinámica térmica del lago. Su alimentación está basada en fitoplancton y zooplancton (larvas de insectos, zooplancton como copépodos, cladóceros y rotíferos) presentes en esa zona

Cuidado, cría y mantenimiento de *P. letholepis* ex situ

A partir de organismos de *P. letholepis* colectados en el Lago crater La preciosa se llevo a cabo la aclimatación en las instalaciones de la PEXPA en la UAMI en condiciones de laboratorio con agua dura (2 g/l NaCL, 5 mg/L O₂ y a 20 °C, 150 mg de CaCO₃ y a un pH

de 8.0 ± 0.2), el mantenimiento se llevó a cabo en acuarios con biofiltros sumergidos. Se utilizó como alimento cladóceros (*Moina macrocopa*) juveniles de *Artemia*, larvas de mosco (*Culex* sp.) y alimento balanceado con 35% de proteína, se realizaron recambios de agua del 30% cada 5 días. Después de un período de aclimatación de 35 días, se indujo la reproducción incrementando la temperatura, bajo un fotoperíodo de 12:12 luz-oscuridad. Para colectar los huevos se utilizaron plásticos monofilamento de color amarillo. En cada evento reproductivo, los huevos se separaron y colocaron en vasos de precipitados de 500 ML y se mantuvieron hasta la eclosión en las mismas condiciones de dureza del agua, pH, y concentración de Oxígeno. Para los ainomorfos eclosionados se mantuvieron en acuarios de 40 Lt con agua semidura reconstituida a 2 g L^{-1} de salinidad, 5 mg/L O_2 y a una temperatura de $18\text{-}20^\circ \text{ C}$. *P. letholepis* eclosiona en una fase de embrión libre, son fusiformes; la aleta embrionaria recorre el tronco del cuerpo desde la región ventral a la altura del ano, hasta el final de la notocorda, así mismo, presentan los primordios de las aletas pectorales y los ojos pigmentados. y se nutre del saco vitelino (alimentación endógena), se llena la vejiga gaseosa y forman parte del plancton, debido a su limitada capacidad de nado. Posteriormente se presenta la fase larvaria (Apterolarva y Pterolarva) en esta fase se llevan a cabo la construcción de las aletas y pasa de una alimentación endógena a una mixta (vitelo más alimento externo) en la fase de pterolarva se hacen funcional la actividad digestiva (pancreas e hígado), con lo cual cambian sus relaciones con el medio y pasan a formar parte del necton y se convierten en depredadores. Los organismos son transparentes; tienen 35 miotomos y 5 grupos de melanóforos dendríticos: 1) en la región dorsal de la cabeza, donde presentan mayor tamaño; 2) en la región dorsal hasta la región caudal, 3) en la base del pliegue de la aleta en la región ventral, 4) en la región ventral del saco vitelino y 5) en la región dorsal de la vejiga gaseosa. **Figura 9**



Figura 9. Fase de embrión libre Apterolarva (A, arriba) y fase de embrión libre Pterolarva (B, abajo), (Propio, 2023).

Mientras que en la fase de embrión libre pterolarva tiene una alimentación endógena y se distribuye a lo largo de la columna de agua siendo fototácticos. Presentan una reducción de saco vitelino y los melanóforos dendríticos incrementan su ramificación y tamaño, sobre todo los de la región cefálica y del saco vitelino. **Figura 10**



Figura 10. Embrión libre o cria de *Poblana letholepis*. (Propio, 2023).

Durante la fase de Apterolarva la alimentación inicial es endógena, pero tiende al inicio de una alimentación exógena a pesar de consumir vitelo; a este paso se le denomina de alimentación mixta (endógena-exógena). Con dicho evento termina el período embrionario e inicia el periodo larvario. La alimentación exógena en esta fase del desarrollo es de importancia vital, ya que la inanición prolongada causaría que las larvas lleguen a un punto crítico conocido fisiológicamente como punto de no retorno, en el que, aunque se les suministrara alimento externo no sobrevivirían.

La fase de Pterolarva destaca por el desarrollo de las aletas y el incremento en el tamaño. En la metamorfosis a juvenil, los individuos alcanzan el fenotipo definitivo. A lo largo del desarrollo de *P. letholepis*, las características morfológicas que se conservan son la forma alargada del cuerpo, una longitud cefálica menor a una cuarta parte de la longitud patrón y una boca oblicua, superior, pequeña y prognata, así como el crecimiento de las escamas, localizándose las primeras en el pedúnculo caudal, y la presencia de la línea lateral plateada, característica de la familia. **Figura 11.**



Figura 11. Metamorfosis juvenil. Crecimiento de escamas y se denota la presencia de la línea lateral plateada. (Propio, 2023).

Caracterización parcial de enzimas digestivas (ontogenia digestiva) en diferentes etapas de desarrollo del charal de La Preciosa, *Poblana letholepis*

En este trabajo se describe por primera vez el desarrollo ontogénico digestivo de *P. letholepis* en tres diferentes etapas: larva, cría y juvenil. Se cuantificaron las actividades de proteasas alcalinas y ácidas totales utilizando caseína y hemoglobina como sustrato. Las actividades de tripsina, quimotripsina, leucina aminopeptidasa y elastasa se cuantificaron

utilizando sustratos sintéticos. Los perfiles de proteasas se analizaron mediante SDS-PAGE y PAGE nativa. *P. letholepis*, posee una capacidad digestiva de gran interés.

La actividad específica de las proteasas ácidas y alcalinas mostró diferencias entre las tres tallas, encontrándose la mayor actividad en el estadio juvenil. Las actividades de tripsina, quimotripsina, leucina amino-peptidasa y elastasa fueron mayores en las crías. Hubo diferencias en el pH y temperatura óptimos de las proteasas ácidas y alcalinas, tripsina y leucina amino-peptidasa entre las tres etapas, demostrando la diversificación de las enzimas según las diferentes tallas, así como la presencia de isoformas específicas en cada talla de *P. letholepis*.

Los zimogramas de proteasas alcalinas totales mostraron que *P. letholepis* en fase larva presentó una banda con (0.6 kDa), en su periodo de postlarva presentó tres bandas (2.3, 2.4, 3.9 kDa), en la fase juvenil se identificaron dos bandas adicionales (2.4, 4.5 kDa). El zimograma alcalino mostró que las crías tuvieron el mayor número de bandas de actividad en comparación con las otras tallas, correspondiente a la alta actividad específica reportada en la fase alcalina. **Tabla I y Figura 12**

Tabla 1. Actividad proteolítica de enzimas digestivas ácidas y alcalinas en las cuatro fases de *Poblana letholepis*.

Table 1. Proteolytic activity of acid and alkaline digestive enzymes in three fases of *Poblana letholepis*

Specific activity (U/mg protein)	egss	larval	alevin	juvenile	adult*
Acid proteases		25.29 ± 2.05	21.38 ± 2.11	15.16 ± 0.14	13.6 ± 0.3
Alkaline proteases	3.67-E03 ± 2.1-E04	27.70 ± 3.6	30.12 ± 1.15	32.08 ± 0.3	30.9 ± 0.6 ^{ab}
Trypsin	7.96-E06 ± 4.11E07	23.55 ± 2.09	43.48 ± 4.05	59.82 ± 3.45	18.2 ± 1.4 ^b
Chymotrypsin		60.09 ± 5.14	60.34 ± 4.79	44.61 ± 4.99	141.1 ± 1.5 ^a
LAP*		24.94 ± 0.28	28.13 ± 3.11	31.15 ± 0.92	38.3 ± 0.3 ^b

Means ± SD (n = 3) with different superscript letters show differences between species in each protease (p ≤ 0.05). *—Leucine aminopeptidase.

*Cruz-Aviña et al 2023
Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology

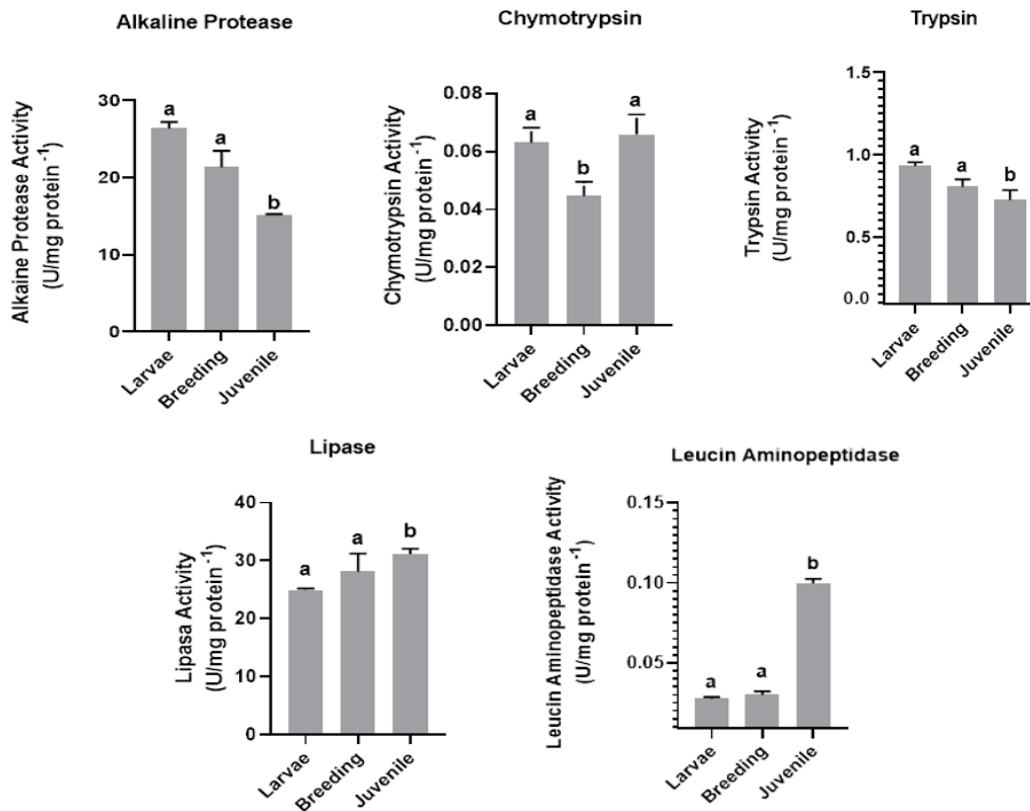


Figura 12. Actividades enzimáticas (U mg proteína⁻¹) de las diferentes etapas de vida (Larva, Juvenil y Adulto) de *Poblana letholepis*. Los valores se presentan como medias y las diferencias significativas se indican con letras diferentes ($p \leq 0.05$).

Gamificación Axalapascos

Se formuló un cuestionario para medir el entendimiento y apropiación del conocimiento antes y después de la aplicación del juego a infantes de sexto año que comprenden la edad de 11-12 años. Se tomaron en cuenta distintas perspectivas que se encuentran representadas por las formas en que la biodiversidad puede ser entendida. Están relacionadas con el entendimiento de la ecología, el apoyo de la sociedad y la intimidad con la naturaleza, ligada a perspectivas éticas, posiciones morales y valores frente a la biodiversidad de las perspectivas ecológicas, emocionales-éticas y político-sociales. Dentro del cuestionario se pretenden abordar las perspectivas ecológicas que tienen que ver con la comprensión de las interacciones entre organismos bióticos y abióticos en los ecosistemas,

es decir, con las interrelaciones físicas y biológicas entre los organismos vivos y el medio ambiente. Las perspectivas emocionales-éticas las cuales se refieren a las asociaciones personales que se tiene con la naturaleza en torno a sensibilidad, sentido de asombro, disfrute y cuidado, además de las posiciones morales y de valores frente a la biodiversidad. Se abordan las perspectivas político-sociales que hacen referencia a cómo la sociedad se involucra en los procesos de educación ambiental, es decir, cómo contribuye, participa y complementa el proceso. Además, se encuentra relacionado con la toma de decisiones frente a problemas ambientales o con el manejo de la biodiversidad.

Para la creación del juego "Axalapascos", se siguió un enfoque integral que involucró la aplicación de diversas teorías y metodologías de diseño de juegos con fines educativos, centradas en la conservación ambiental. El proceso se inspiró en el trabajo de Viera (2003), quien destaca la importancia de generar conocimientos individuales y propios a través de experiencias educativas significativas. A partir de esta base, se estructuró el desarrollo del juego siguiendo el modelo de Garris para juegos educativos, que organiza el proceso en tres fases principales: entradas, procesos y evaluación de resultados (Garris, Ahlers y Driskell, 2002).

En paralelo, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de juegos ya existentes con temáticas ambientales, como "Forbidden Island" (Gameworkright, 2010) y "Amazonia" (Weird City Games, 2021). Estos juegos fueron seleccionados por sus características colaborativas y sus mecánicas de manejo de recursos, que podían adaptarse para reflejar las problemáticas ambientales específicas del área de estudio. La evaluación de estos juegos sirvió de base para determinar las dinámicas más efectivas y seleccionar las mecánicas de juego que mejor se ajustaran al propósito educativo del proyecto.

Para el diseño del juego, se adaptaron los cuatro argumentos pedagógicos de Weelie y Wals (1999), que resaltan la necesidad de fomentar la sensibilización, reflexión y concientización durante el proceso de aprendizaje. Estos tres momentos fueron traducidos en las dinámicas del juego, donde cada jugador debía atravesar un proceso de sensibilización sobre las amenazas al ecosistema, reflexionar sobre las decisiones tomadas para manejar su impacto

y, finalmente, concientizarse sobre las consecuencias a largo plazo de sus acciones en el juego y en la vida real.

Además, se adaptaron las nueve fases propuestas por De Freitas (2006) para la implementación de videojuegos educativos, aplicándolas al diseño de un juego de mesa. Estas fases incluyen desde la investigación inicial y definición de objetivos, hasta la creación de prototipos, pruebas con usuarios y la evaluación del impacto educativo del juego. De esta forma, se aseguraba que el juego no solo fuera divertido y accesible, sino también eficaz en su capacidad de transmitir mensajes sobre la conservación.

El diseño del juego se basó en una combinación de mecánicas colaborativas y competitivas. En términos colaborativos, todos los jugadores pierden si el ecosistema del lago se contamina demasiado; sin embargo, el ganador individual será aquel que logre mantener el ecosistema más diverso y saludable. Esta mecánica refleja la realidad de la conservación ambiental, donde el equilibrio ecológico es una responsabilidad compartida, pero el éxito también depende de las acciones individuales.

Aspectos bioculturales y de etnofauna en la región de los Axalapascos

La región de los Axalapascos es representativa de distintas interacciones biológicas y tiene una biodiversidad local bien definida, destacando el grupo de las rosetófilas y cactáceas, así como la conspicua presencia de tufas o estromatolitos, que son consorcios de microorganismos (bacterias) que conforman estructuras laminares carbonatadas, dominadas principalmente por cianobacterias que pueden llegar a fosilizarse y que refieren evidencia de ciclos biogeoquímicos antiguos en la tierra, por lo que se consideran paleoindicadores ambientales. De acuerdo a Cruz-Aviña y colaboradores (2017) en la región se tienen registradas diversas especies como *Ephedra compacta* (arbusto), que es endémico con un uso medicinal importante, especies acuáticas como *Cyclotella alchichicana* (alga diatomea), *Caecidotea williamsi* (crustáceo isópodo), *Cletocamptus gomezi* (crustáceo copépodo), *Leptodiatomus garciai* (copépodo diatómido), *Limnocytherina axalapasco* (ostrácodo limnoceterinido), *Krozousacorixa tolteca* (insecto), los charales (peces aterinidos), *Poblana alchichica* (charal de Alchichica), *Poblana letholepis* (charal de La Preciosa) y *Poblana squamata* (charal de Quechulac), cada especie restringida a un lago cráter y, por ende

microendémicas, *Lithobates chichicauitla* (rana), *Ambystoma taylori* (ajolote de Alchichica), *Ambystoma velasci* (ajolote de La Preciosa, Quechulac y Atexcac) y algunas especies terrestres como *Sceloporus jalapae* (lagartija de Xalapa), *Peromyscus bullatus* (ratón venado), *Xerospermophilus perotensis* (moto o ardilla de Perote), *Cratogeomys perotensis* (tuza de Perote), entre otras.

Estrategias para la Conservación In situ (pescadores artesanales locales)

A la fecha se han brindado 2 cursos de capacitación a 10 pescadores artesanales locales, siguiendo los criterios de los documentos conocidos como Programa de Acción para la Conservación (PACE) los cuales contienen algunas estrategias.

Actividades y acciones por desarrollar a corto, mediano y largo plazo. Cada Platica-Taller fue orientada hacia la conservación directa de *Poblana letholepis*, su hábitat limnológico y su contexto biocultural, bajo los preceptos de teoría general de sistemas y metabolismo social a nivel comunidad. Estos talleres fueron estructurados de la siguiente forma: introducción, objetivos y metas de acuerdo con el tema de estratégico. a) Protección: regulación de actividades antropogénicas. b) Manejo: protección de *P. letholepis* y sus especies asociadas a la sobrevivencia, c) Restauración: diseñar actividades que mitiguen el impacto ambiental en el lago cráter. d) Conocimiento: contribuir al conocimiento de la historia de vida y ecología de *P. letholepis* y monitoreo periódico de la especie.

10. DISCUSIÓN

Los Atherinopsidae son peces teleósteos de origen marino pelágico costeros y dulceacuícolas, de regiones templadas a tropicales del Nuevo Mundo. La familia Atherinopsidae está formada por 11 géneros (Nelson, 2006), el género *Poblana* pertenece a la subfamilia Menidiinae. Actualmente, se reconocen cuatro especies de este género y cada una es microendémica del cuerpo acuático en el que habita (Alcocer, 2019). Son de gran importancia económica y cultural ya que han sido fuente de alimento desde tiempos prehispánicos (Hernández-Rubio et al., 2016).

Conservación ex situ.

Poblana letholepis es un pez ovíparo con desarrollo indirecto y sin cuidados parentales. Sus huevos son telolécitos, esféricos (1.18 ± 0.05 mm diámetro), el corion es liso y transparente; los huevos tienen un número variado de gotas pequeñas de aceite, al inicio del período embrionario y en la fase de embrión, terminan condensadas en una gran gota en la región anterior a la boca; los huevos tienen una sola fresa o zarcillo con el cual se sujetan a las raíces de las plantas que se encuentran en la orilla del lago (Cruz-Aviña et al. 2023, Hernández-Rubio et al. 2016). El tiempo de desarrollo desde la eclosión, hasta que 50% de los peces se transforma en juveniles, es de 50 días a 20 °C. La fase de embrión libre consistió en 2 pasos (EL1 y EL2) y el período larvario de 2 fases (apterolarva y pterolarva) (Hernández-Rubio et al. 2016). Esta es la información de cuidado cría y mantenimiento hasta la F3 lograda en la Planta Experimental de producción acuícola (PEXPA-UAMI), sin embargo, había cuellos de botella en su mantenimiento y engorde hasta la fase de adulto. Por su parte la información disponible, con respecto a la alimentación de *P. letholepis* destacaba por ser parcial y confusa. Por ejemplo, conforme Díaz Pardo (2002) *P. letholepis* presentaba una dieta claramente herbívora ya que su dieta, la materia vegetal (algas) representa el 35 %, los crustáceos 10 % y los insectos 55%”. En estudios previos del mismo autor (1992, 1993), refieren a *P. letholepis* como una especie de hábitos claramente omnívoros. Mientras que por su parte Valero et al. (2016), mencionan una preferencia de régimen por Cladóceros en primer término y de Copépodos como preferencia secundaria, concluyendo también que “los hábitos alimenticios entre sexos y los juveniles no presentan diferencias significativas y son similares a otras especies de la misma familia”, basándose en los trabajos de la composición de las dietas de otras especies de Atherinopsidos mexicanos disponibles (Hendrickson 2014, Ramírez-Herrejón et al. 2014, Elías Navarrete-Salgado y Rodríguez 2008, Navarrete-Salgado, Hernández y Elías 2006). En contraparte en la fase de adulto esta situación ya ha quedado dilucidado con lo reportado por Cruz-et al., 2023 en donde se establece que la etapa adulta *P. letholepis* es un charal omnívoro, con preferencia de zooplanctofaga o fitoplanctofaga conforme la época del año. Sin embargo, aún falta información para completar la ontogenia digestiva, en las diferentes etapas de desarrollo (huevo, larva, postlarva, juvenil etc.) en este tenor hay un avance significativo de la segunda autora de este trabajo, para cerrar el ciclo biotecnológico de este charal nativo. Con esta información se podrán elaborar piensos nutricionales específicos para cada etapa de desarrollo, para su

cuidado, cría y mantenimiento en estanques de laboratorio o con fines de producción netamente acuaculturales. Conforme a los resultados obtenidos de un trabajo previo en adultos (Cruz Aviña et al., 2023), sugiere que tanto *P. letholepis* cuenta con la maquinaria enzimática necesaria para actuar potencialmente como una especie oportunista omnívora (Valero-Pacheco et al., 2016; Ceballos et al., 2018). Igualmente, importante, *P. letholepis* presentó proteasas alcalinas intermedias y tripsina, destacando notablemente la alta actividad de quimotripsina, los resultados obtenidos son parecidos a otras especies (sin estomago verdadero) de Atherinópsido (Martínez, 2008; Toledo et al., 2011). Las proteasas digestivas del charal de La Preciosa *P. letholepis* presentaron características bioquímicas y en número de proteasas diferentes entre larva, postlarva y juvenil. Esto podría ayudar en el futuro diseño de dietas balanceadas, así como al manejo y producción sustentable de esta especie para su reproducción y conservación *ex situ*.

Esta especie está sujeta a una pesca local por parte de pobladores de la zona. Los charales son particularmente valorados por los pobladores como alimento, los cuales preparan fritos o en tamales. Además de la pesca local, existen diversas actividades humanas que tienen un impacto en el lago de La Preciosa y su biodiversidad como son las aguas residuales domésticas, probablemente pesticidas y fertilizantes provenientes de las tierras agrícolas circundantes, así como como la extracción y contaminación por una granja de cerdos ubicada en las cercanías (Cruz-Aviña, 2024).

Conservación in situ

A pesar de la existencia de instituciones encargadas de regular el uso de la vida silvestre en México, Los métodos para la elaboración de estrategias de conservación se han ido diversificando, según la importancia de especie y hábitats en cada región. Sin embargo, la planeación hacia una conservación tiene que ser sistemática y esto se ve reflejado en diferentes pasos, entre los que destacan; la identificación de áreas que tiene prioridad por la distribución de escasos recursos dedicados al manejo de la biodiversidad y la desvinculación de áreas con factores que amenazan su persistencia. Actualmente vivimos una crisis civilizatoria, misma que es el resultado de una sumatoria de crisis complejas incluyendo la educativa, que se manifiesta a diferentes escalas y niveles. La Cuenca Oriental es un ejemplo

de problemas ambientales de sobreexplotación hídrica, contaminación microbiana, zoonosis, cambio de uso de suelo y pérdida de la fauna nativa, que ocurren en ANP del centro del país. En esta Región destacan los lagos cráter o Axalapascos en donde aún existe biodiversidad importante. Preocupados por su virtual extinción, en este trabajo se realizan aproximaciones educativas y exploran alternativas pedagógicas, desde la mirada de la EA no formal como herramienta para la conservación, como agente de cambio y de transformación, fuera del sistema educativo institucional, que conlleve a la adopción del medio natural, y que sus acciones se traduzcan en Praxis de cuidado, ética y respeto por estos ecosistemas limnológicos con la mirada de la pedagogía crítica y la observación participante. En este tenor, se propone como plan piloto su implementación en niños de edad de primaria en la comunidad de San Juan de la Muralla, Puebla, esperando como resultado, algunas transformaciones en los infantes que decanten en acciones axiológicas de amor, conservación y preservación del entorno natural lacustre como Modus. Mismo que se espera replicar con el tiempo en otros niveles educativos y actores del municipio de Guadalupe Victoria en Puebla. Estos trabajos están en línea con los Objetivos del Desarrollo Sostenible 2030. De ahí la importancia de implementarlo desde la niñez; para que los futuros ciudadanos realicen acciones de valoración y de conservación, como una alternativa de resistencia ante los embates de degradación del actual modelo económico en la Región de los Axalapascos.

Esta investigación se basó en la aplicación de métodos complementarios (mixtos): cuantitativos y cualitativos. En los últimos años se ha visto un crecimiento en la investigación sobre memoria biocultural (Nykvist y Von Heland 2014); sin embargo, aún no existe un conjunto de metodologías participativas que trasciendan los enfoques disciplinarios e interdisciplinarios para establecer iniciativas científicas y educativas destinadas a cultivar la memoria biocultural en las comunidades de práctica. Las crisis socioecológicas actuales exigen metodologías participativas que involucren a investigadores, comunidades locales, partes interesadas, defensores, ciudadanos activos y usuarios del conocimiento (Kates et al. 2001). Estas metodologías son críticamente necesarias porque: primero, las iniciativas de investigación y educación que abordan desafíos socioecológicos complejos, como la extinción de la experiencia biocultural, requieren del aporte constructivo de las comunidades de práctica para asegurar que el conocimiento esencial de todos los actores relevantes relacionados con el desafío sea incorporado. Segundo, la investigación aplicada sobre las

alternativas ante los desafíos que enfrentan las comunidades de práctica requiere de la producción de conocimiento más allá del análisis del problema, ya que los objetivos, las normas y las visiones deben proporcionar orientación para las estrategias de intervención. Tercero, las iniciativas de colaboración entre investigadores y comunidades de práctica tienen el potencial de aumentar el empoderamiento, la legitimidad y la rendición de cuentas ante el desafío identificado, así como para la apropiación de las estrategias de intervención educativas. En este contexto, la multidisciplinaria ofrece una metodología participativa crítica y cohesiva, basada en la diferencia cultural para los procesos de investigación y cocreación de estrategias educativas. La multidisciplinaria busca la participación de actores fuera de la academia para integrar la pluralidad de saberes, los actúes y las maneras de ser; así como conciliar valores y preferencias, junto con generar apropiación y empoderamiento para retos y oportunidades de solución (Caniglia et al, 2018). De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana es una especie en peligro de extinción (NOM-059; SEMARNAT 2010) y en peligro crítico de acuerdo con la Lista Roja de Especies Amenazadas (IUCN, 2018), considerando que el riesgo de extinción está relacionado con la extensión del ámbito de distribución.

Gamificación y Educación Ambiental para la conservación de la biodiversidad nativa, bajo la noción de territorio.

La gamificación del lago de La Preciosa (Las Minas) nos permite aplicar técnicas para facilitar la comprensión de diversos conceptos relacionados a la educación ambiental no formal para conservar distintas especies micro endémicas y a la par el ecosistema donde residen. De acuerdo con Kevin Werbach y Dan Hunter (2014), las dinámicas de gamificación permiten satisfacer motivaciones intrínsecas de los infantes conectando las dinámicas y componentes de la creatividad y curiosidad. “Axalapascos” aproxima a los infantes a su ecosistema más cercano con la finalidad de generar un cambio positivo dirigido hacia la conservación y la yuxtaposición a las distintas especies que ahí habitan, así como a los distintos peligros y amenazas que le rodean. Los infantes utilizan un aprendizaje representacional a través de la gamificación del juego “Axalapascos” en donde se asignan significados a determinados símbolos para ser identificados con sus referentes (cartas del

juego) y constituir un aprendizaje predominantemente externo, producido por la interiorización de contenidos y determinantes del medio físico y social. Se pretende que los infantes logren el desarrollo a través de vivencias y relaciones afectivas con el medio ambiente, así como actitudes positivas hacia el cuidado del ecosistema (Viera, 2003). Con el juego “Axalapascos” se encuentra un espacio de relación significativa que proporcione de un conocimiento más firme, duradero y con menos posibilidad de ser olvidado tal y como lo menciona Ausubel (2003) “el aprendizaje significativo comienza centrándose en el sujeto que lo aprende, lo que le permite el despliegue y desarrollo de sus cualidades personales a través de representaciones, conocimientos significativos, experiencias y actitudes motivacionales que permitan la inserción de lo nuevo”.

Se tomaron en cuenta distintas perspectivas que se encuentran representadas por las formas en que la biodiversidad puede ser entendida. Están relacionadas con el entendimiento de la ecología, el apoyo de la sociedad y la intimidad con la naturaleza, ligada a perspectivas éticas, posiciones morales y valores frente a la biodiversidad (Weelie y Wals 2002; 1999). Weelie y Wals (2002) resumen las perspectivas en ecológicas, emocionales-éticas y político-sociales. Las perspectivas ecológicas tienen que ver con la comprensión de las interacciones entre organismos bióticos y abióticos en los ecosistemas, es decir, con las interrelaciones físicas y biológicas entre los organismos vivos y el medio ambiente. Las perspectivas emocionales-éticas se refieren a las asociaciones personales que se tiene con la naturaleza en torno a la sensibilidad, sentido de asombro, disfrute y cuidado, además de las posiciones morales y de valores frente a la biodiversidad y las perspectivas político-sociales haciendo referencia a cómo la sociedad se involucra en los procesos de educación ambiental, es decir, cómo contribuye, participa y complementa el proceso. Además, tienen que ver con la toma de decisiones frente a problemas ambientales o relacionados con el manejo de la biodiversidad (Weelie y Wals 2002).

La gamificación del lago de La Preciosa (Las Minas) a través del juego "Axalapascos" representa una estrategia poderosa para acercar a los jugadores, especialmente niños y jóvenes, a los conceptos clave de la educación ambiental no formal, con un enfoque en la conservación de especies microendémicas y su hábitat. Este proceso permite no solo la

transferencia de conocimiento teórico, sino también la inmersión activa en la problemática local mediante dinámicas lúdicas que potencian la curiosidad y el aprendizaje experiencial.

De acuerdo con las teorías de Kevin Werbach y Dan Hunter (2014), la gamificación es una herramienta efectiva para activar motivaciones intrínsecas como la curiosidad, la creatividad y el sentido de logro. Estas motivaciones son esenciales para captar la atención de los infantes, quienes a menudo están más abiertos a aprender mediante actividades prácticas que les involucren emocionalmente. A través de "Axalapascos", los jugadores interactúan con su entorno natural, enfrentándose a las amenazas y desafíos que sufre su propio ecosistema, lo que no solo promueve una comprensión más profunda del problema, sino también una conexión emocional con las especies y el ambiente que les rodea.

El juego no solo busca enseñar hechos o datos, sino que también crea un espacio de relación significativa entre los jugadores y su entorno. Esta conexión es clave para generar un aprendizaje duradero y con menor probabilidad de ser olvidado, tal como sostiene Ausubel (2003), quien argumenta que el aprendizaje significativo surge cuando se centra en el sujeto que aprende, permitiéndole incorporar de manera activa nuevos conocimientos en su estructura cognitiva preexistente. Al interactuar directamente con la fauna y flora locales, representadas a través de las cartas y fichas del juego, los jugadores desarrollan una comprensión tangible de la biodiversidad y las amenazas ecológicas, lo que refuerza la idea de conservación.

Proceso y expectativas

El desarrollo de "Axalapascos" siguió un cuidadoso proceso metodológico que incluyó el análisis del contexto biocultural local, la evaluación de dinámicas de otros juegos ambientales y la adaptación de teorías educativas para el diseño de juegos. Este enfoque garantiza que el juego no solo sea entretenido, sino también efectivo como herramienta educativa. A medida que los jugadores progresan en el juego, experimentan en tiempo real las consecuencias de sus decisiones en el equilibrio del ecosistema, entendiendo de manera intuitiva la importancia de proteger especies clave y evitar la degradación ambiental.

El valor pedagógico de este tipo de juegos es significativo. Según investigaciones previas sobre la educación ambiental, los enfoques interactivos y experienciales, como la gamificación, tienen un impacto positivo en la conciencia ecológica de los jugadores, fomentando comportamientos proambientales que pueden transferirse a su vida diaria. La participación en juegos que simulan problemáticas reales, como la contaminación y la pérdida de biodiversidad, aumenta la sensibilización y promueve una actitud de responsabilidad hacia la naturaleza.

Impacto en la conservación

En términos de impacto en la conservación, juegos como "Axalapascos" pueden desempeñar un papel crucial al generar un cambio de mentalidad en la sociedad desde una edad temprana. Al familiarizar a los jugadores con especies microendémicas como el charal (*Poblana letholepis*) y el ajolote, el juego no solo aumenta el conocimiento sobre estas especies, sino que también promueve su valorización. Esta valorización es fundamental para motivar la protección de estas especies en peligro, ya que el desconocimiento a menudo es una de las principales barreras para su conservación.

Además, el enfoque colaborativo del juego, donde los jugadores deben trabajar juntos para evitar la contaminación y preservar la biodiversidad del lago, refuerza la idea de que la conservación es un esfuerzo colectivo e importante. Al mismo tiempo, la dimensión competitiva motiva a los jugadores a buscar el equilibrio perfecto en sus ecosistemas, fomentando la reflexión sobre cómo sus decisiones individuales afectan el bienestar de su entorno.

El uso de la gamificación en la intervención educativa propuesta puede ayudar a los infantes a desarrollar habilidades sociales y emocionales, ya que los juegos y actividades gamificadas requieren la cooperación y el trabajo en equipo esto puede ser especialmente útil para los niños y jóvenes que necesitan apoyo en el desarrollo de habilidades sociales y emocionales que a través de la aplicación de esta estrategia pueden generar de forma interesante y así mejorar los resultados de esta investigación generando un impacto significativo en la educación inclusiva comunitaria, ya que podrían impulsar la práctica educativa y ayudar a los facilitadores o educandos a desarrollar estrategias más efectivas para apoyar a estos

infantes de la comunidad. Permitiendo conocer más acerca de cómo la gamificación puede ser utilizada como un mecanismo acertado para satisfacer las necesidades educativas de los estudiantes con diversidad fuera del aula y así mejorar su inclusión pedagógica impulsando la mejora del sistema de saberes tradicionales que debe ser diseñado con el sistema de actividades propuesto en este trabajo que se inclinan a la generación de autoconfianza, tanto a nivel personal, familiar y social efectuando así la inclusión en la educación ambiental no formal en el nivel de comunidad de la unidad pedagógica-educativa objeto de nuestro estudio. Como también puede apreciarse el concepto de Educación ambiental (EA) no formal es un enfoque reciente a nivel comunidad, la particularidad esencial de la EA no formal en esta escala es su flexibilidad y adaptabilidad al entorno y a los distintos contextos socioculturales (UNESCO-PNUMA, 2012), en este sentido, aproximarse a un planteamiento que integre y relacione la racionalidad de la EA en los Lagos Cráter con una mirada a la conservación ecológica y sustentable, resulta novedoso y lo perciben los niños como juegos de recreo fuera de la escuela pública, atendiendo a sus problemas reales y locales como lo reportan (Rizvi 2010, Moreno 1988, Sachs 1978). En el caso de la comunidad de San Juan de la Muralla, los resultados obtenidos hasta ahora han sido favorables, ya que la comunidad ha aceptado la dinámica y se ha apropiado del derrotero y contenido fino del programa seleccionando cada uno de los temas más pertinentes, para atender su problemática, así como su nivel de profundidad, del mismo modo han dispuesto un espacio físico, que mes con mes esperan que sus niños jueguen a aprender-aprendiendo y a soñar soñando. Otra ventaja es la naturaleza sistémica del medio ambiente lacustre de la región, ya que lo que trabajamos, reconocemos y reapropiamos se encuentra en la misma región, es más incluso en su patio trasero; como lo recomiendan Maass y Martínez (1990), Stapp, (1978) donde reportan acciones locales para el campo educativo. Del mismo modo como refiere Ledesma (1993) algunos programas de EA no formal se crearon con el fin de complementar o llegar a lugares donde el sistema educativo formal (escuela), no ha podido. Así como su relación con el lago y su entorno, para la interpretación de la memoria biocultural (Toledo y Barrera-Bassol, 2008). Conforme los resultados obtenidos, se pudo constatar algunos elementos de la configuración del territorio (gente del agua, gentes de los *Axalapascos* o guardianas del agua). Por otra parte, los conocimientos tradicionales, se asocian con la apropiación social del conocimiento y su replicación familiar a lo largo del tiempo, la lectura e interpretación que las pescadoras

realizan de los sujetos-objetos, hechos, fenómenos, patrones naturales y sociales, que son acumulados y hacen parte de la experiencia individual y colectiva. Claramente el pescador promedio ha detectado que su actividad está lejos de su mejor momento. Atribuye esta situación a un aumento tanto de la presión (esfuerzo) pesquera como quiera que opine que ahora hay más pescadores.

En primer lugar, la perspectiva ecológica está basada en el contenido de las charlas de educación ambiental, que contienen información sobre la historia natural de la especie, su ecología y su importancia dentro de los ecosistemas. En segundo lugar, la perspectiva emocional-ética propuesta por el proyecto se visibiliza al enfrentar a la población al estado de conservación de una especie amenazada de extinción, a los problemas de pérdida de biodiversidad, al derecho intrínseco de existir de todos los organismos vivos. Finalmente, la perspectiva político-social puede ser visibilizada en el apoyo y la gestión de los actores locales hacia el proyecto, por ejemplo, la participación de las comunidades locales en actividades colectivas. Asimismo, desde la gestión institucional y el involucramiento activo con las autoridades locales. Estas relaciones se vuelven clave para la continuidad y expansión del proyecto en el largo plazo.

11. CONCLUSIONES

Se elaboró una propuesta integral sustentable para la conservación del charal nativo (*P. letholepis*) tomando en cuenta aspectos ecológicos de su historia de vida, biotecnológicos para su cultivo *In situ* y *Ex situ*, bioculturales y de educación ambiental no formal a través de la Gamificación como modelo pedagógico para la conservación de esta especie íctica prioritaria.

Se propuso la conservación *ex situ* del charal (*P. letholepis*) como alternativa de conservación sustentable, completando los conocimientos biotecnológicos básicos para su cultivo *ex situ*.

Se plantearon las bases para la elaboración de plan piloto de educación ambiental no formal que fomente la conservación y reapropiación biocultural del conocimiento para la conservación en infantes de la comunidad San Juan la Muralla (lago cráter La Preciosa) a través de la Gamificación como herramienta educativa.

En resumen, el juego "Axalapascos" ofrece una plataforma innovadora y efectiva para abordar la conservación de especies y ecosistemas a través de la gamificación. Al involucrar a los jugadores en una narrativa ecológica que refleja los desafíos reales que enfrenta su entorno, se espera que este juego no solo aumente el conocimiento sobre la biodiversidad local, sino que también inspire un compromiso activo con su protección. Las dinámicas de juego, basadas en teorías educativas sólidas, permiten un aprendizaje significativo que tiene el potencial de generar un cambio duradero en las actitudes y comportamientos hacia el medio ambiente.

Este enfoque puede replicarse en otros contextos, adaptando los contenidos a distintas realidades ecológicas y sociales, pero siempre manteniendo el objetivo de sensibilizar a las nuevas generaciones sobre la importancia de proteger nuestro planeta y todas las formas de vida que alberga.

12. SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

Es necesario que la humanidad empiece a pensar en un nuevo modelo económico que sea favorable para el planeta. Desde la perspectiva del fortalecimiento de la autogestión comunitaria, la educación ambiental no formal y participativa debe estar orientada a mejorar y desarrollar esta capacidad de acción comunitaria para resolver sus problemas. Este hecho les atribuye a las comunidades determinadas responsabilidades y funciones, pero al mismo tiempo las capacita para intervenir en el diseño de su propio futuro, situación que las convierte en sujetos de su propio desarrollo. Por lo tanto: La educación ambiental no formal no debe verse como un simple instrumento de la gestión ambiental, sino como una herramienta de desarrollo e innovación social que contribuye a mejorar la calidad de vida de las personas y a la protección y conservación de los diferentes ecosistemas presentes en los territorios de los *Axalapascos*.

Frente a dichos riesgos se está desarrollando una reacción frente a la degradación del mundo; la sociedad ha comenzado a crear consciencia preocupados por la falta de alimento y el deterioro ambiental que en los últimos años ha mostrado cambios realmente considerables. Es por ello por lo que progresivamente se han ido retomando acciones que reconocen los límites de la naturaleza y que involucran una conexión profunda con ella en la búsqueda de su conservación y aprovechamiento respetuoso además de la implementación de procesos menos nocivos. *P. letholepis* es un organismo que merece ser revalorado y protegido, por lo que es necesario generar información sobre su historia de vida que contribuya al diseño de planes de conservación y de manejo sustentable adecuados

13. ANEXO I, PUBLICACIONES

SOMETIDA

JCR

- 1 *Research Article*¶
- 2 **Short title:** Partial digestive proteases in four phases *Poblana letholepis* specie¶
- 3 ¶
- 4 **Caracterización de la ontogenia digestiva durante cuatro etapas del charal de**
- 5 **La Preciosa *Poblana letholepis* (Álvarez, 1950)¶**
- 6 **Characterization of the digestive ontogeny during four stages of the**
- 7 **silverside of La Preciosa *Poblana letholepis* (Alvarez, 1950)¶**
- 8 D. Ramos Contreras¹, J.R. Cruz-Aviña^{1,2}, C.A. Álvarez-González³, G.G. Ascencio-
- 9 Alcudia^{3*}, G. Figueroa-Lucero.¶
- 10 ¹Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas (CENAGRO-ICUAP),
- 11 Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Edificio VAL-1, Km. 1.7
- 12 Carretera a San Baltazar Tetela, San Pedro Zacachimalpa, CP 72960, Puebla,
- 13 Puebla, México., ²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de
- 14 Fauna Silvestre, Laboratorio de Medicina de la Conservación, Benemérita
- 15 Universidad Autónoma de Puebla (FMVZ), Carretera, Tecamachalco-Cañada
- 16 Morelos Km. 7.5, El Salado, CP 75460 Tecamachalco, Puebla, México.
- 17 ³Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), DACBIOL, Departamento de
- 18 Acuicultura Tropical, Carretera Villahermosa -- Cárdenas Km 0.5 S/N Entronque a
- 19 Bosques de Saloya, CP 86150, Villahermosa, Tabasco, México. ⁴Universidad
- 20 Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, División de Ciencias Biológicas y de

SOMETIDA

JCR

HISTORIA AMBIENTAL DE LOS AXALAPASCOS, PUEBLA, MEXICO. ¶

¶

ENVIRONMENTAL HISTORY OF THE AXALAPAZCOS, PUEBLA, MEXICO. ¶

¶

¶

¹Juan Ricardo Cruz-Aviña ¶

Doctor en Ciencias Ambientales (ICUAP-BUAP). Profesor-Investigador ¶

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, (FMVZ), Tecamachalco ¶

ORCID-0000-002-0905-9370, juan.cruzavina@correo.buap.mx ¶

²María Guadalupe Tenorio Arvide ¶

Doctora en Ciencias Ambientales (ICUAP-BUAP). Profesor-Investigador ¶

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, (CICA-ICUAP), Puebla, México ¶

ORCID-0000-0001-6125-4782, tenorio.arvide@correo.buap.mx ¶

³Leticia Muñoz Langarica ¶

Magister en Educación Ambiental (UAEM), Profesor Investigador ¶

Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM), Campus del Valle ¶

ORCID-0009-0009-2043-0634, leticia.munoz@uacm.edu.mx ¶

⁴Benjamín Ortiz Espejel ¶

Doctor en Ecología (INECOL), Profesor Investigador ¶

Cuerpo Académico de Biodiversidad, Alimentación y Cambio Climático ¶

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, (ICUAP), Puebla, México ¶

ORCID-0000-000-6201-6452, benjamin.ortiz@viep.com.mx ¶

⁵Daniela Ramos Contreras ¶

Magister en Manejo Sostenible de Agrosistemas (BUAP), estudiante de Doctorado ¶

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, ICUAP ¶

ORCID-0000-0003-3593-0868, danielaramoscontreras95@gmail.com ¶

⁶Martha Anahí Güizado Rodríguez ¶

Doctor en Ciencias Biología (IB-UNAM). Profesor Investigador ¶

Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla, Tecnológico Nacional de México ¶

ORCID-0000-0001-9782-5807, martha.gr@zacapoaxtla.tecnm.mx ¶

¶

SOMETIDA

JCR

“Axalapascos” un juego de mesa para conservar al pez críticamente amenazado *Poblana letholepis* del Lago Cráter La Preciosa Puebla, México

“Axalapascos” a board game to conserve the Critically endangered fish *Poblana letholepis* of La Preciosa Crater Lake Puebla, Mexico

^{1,2*}Ramos Contreras Daniela, ^{6,7}Cruz Aviña Juan Ricardo, ^{1,3}Jiménez García Daniel, ^{1,4}Bernal Mendoza Héctor, ^{1,5}Ramírez Bravo Osvaldo Eric, ^{8,9}Álvarez González Carlos Alfonso

¹Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas (CENAGRO-ICUAP), Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Edificio VAL 1, Km 1.7 Carr. a San Baltazar Tetela, San Pedro Zacachimalpa, CP 72960, Puebla, Puebla, México., Maestra en Manejo Sostenible de Agroecosistemas (CENAGRO-ICUAP), Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla. ³Doctor en Gestión de Ecosistemas y Biodiversidad por la Universidad de Alicante (España). ⁴Doctor en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional por el Colegio de Postgraduados, Puebla. ⁵Doctor en Manejo de la Biodiversidad por la Universidad de Kent, Canterbury. ⁶Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Fauna Silvestre, Laboratorio de Medicina de la Conservación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

PUBLICADA

INDEXADA

Ciencia Pesquera (2024) 32(núm. esp.): 151-161

Nota científica

Últimas pescadoras de charal en el Lago Alchichica, Puebla, México

Last charal fisherwomen in Alchichica Lake, Puebla, Mexico

Juan Ricardo Cruz-Aviña^{, **, ***}, Daniela Ramos-Contreras^{**}, Osvaldo Eric Ramírez-Bravo^{**},
Miguel Ángel Arias-Ortega^{***} y Benjamín Ortiz-Espejel^{****}*

Resumen

El presente artículo se centra en las investigaciones realizadas sobre las últimas pescadoras artesanales de charal que aún subsisten en el lago cráter de Alchichica, mismas que son singulares por su particular estilo de pesca y su tradición antigua. Ellas se enfrentan a grandes desafíos en torno a la problemática que sufre el lago de Alchichica y su ictiofauna, como el calentamiento global, el estrés hídrico, los conflictos socioambientales y la pérdida de la memoria tradicional, como patrimonio biocultural. Así como a la profundización de la crisis económica en la pesca artesanal, por lo que se da cuenta de la problemática que afecta a este sector. Se utilizaron estrategias mixtas de intervención y entrevistas semiestructuradas como metodología. Actualmente, sólo cuatro familias de pescadoras subsisten (n = 15) con 12 mujeres y tres hombres. En este sentido, las charaleras entrevistadas refieren que se requiere un mayor esfuerzo de captura y horas para pescar; de la misma forma respondieron que el volumen de captura es comparativamente menor respecto a otros años, por lo que es poco rentable. Se concluye que actualmente existe una crisis de la actividad pesquera tradicional local y que lamentablemente tiende a su virtual extinción en el mediano plazo, con su correspondiente pérdida de memoria biocultural y de conocimientos tradicionales como patrimonio, así como de la noción de territorio, como gente del agua o guardianas del Axalapasco de Alchichica.

Palabras clave: Conservación, cuenca oriental, ictiofauna nativa, lagos maars, seguridad hídrica.

Abstract

The present article focuses on research conducted on the last artisanal fisherwomen who still subsist in the Alchichica Crater Lake, which are unique due to their particular fishing style and ancient tradition. They face significant challenges related to the issues affecting Lake Alchichica and its ichthyofauna, such as global warming, water stress, socio-environmental conflicts, and the loss of traditional memory as biocultural heritage. They also contend with a deepening economic crisis in artisanal fishing, highlighting the issues affecting this sector. Mixed strategies of intervention and semi-structured interviews were used as the methodology. Currently, only four fishing families remain (n = 15), with 12 women and 3 men. In this regard, the interviewed charaleras stated that capturing fish requires more effort and hours, and they mentioned that the volume of catch is comparatively smaller than in previous years, making it less profitable. I concluded that there is currently a crisis in local fishing activity, and unfortunately, it tends toward

PUBLICADA
LATINDEX



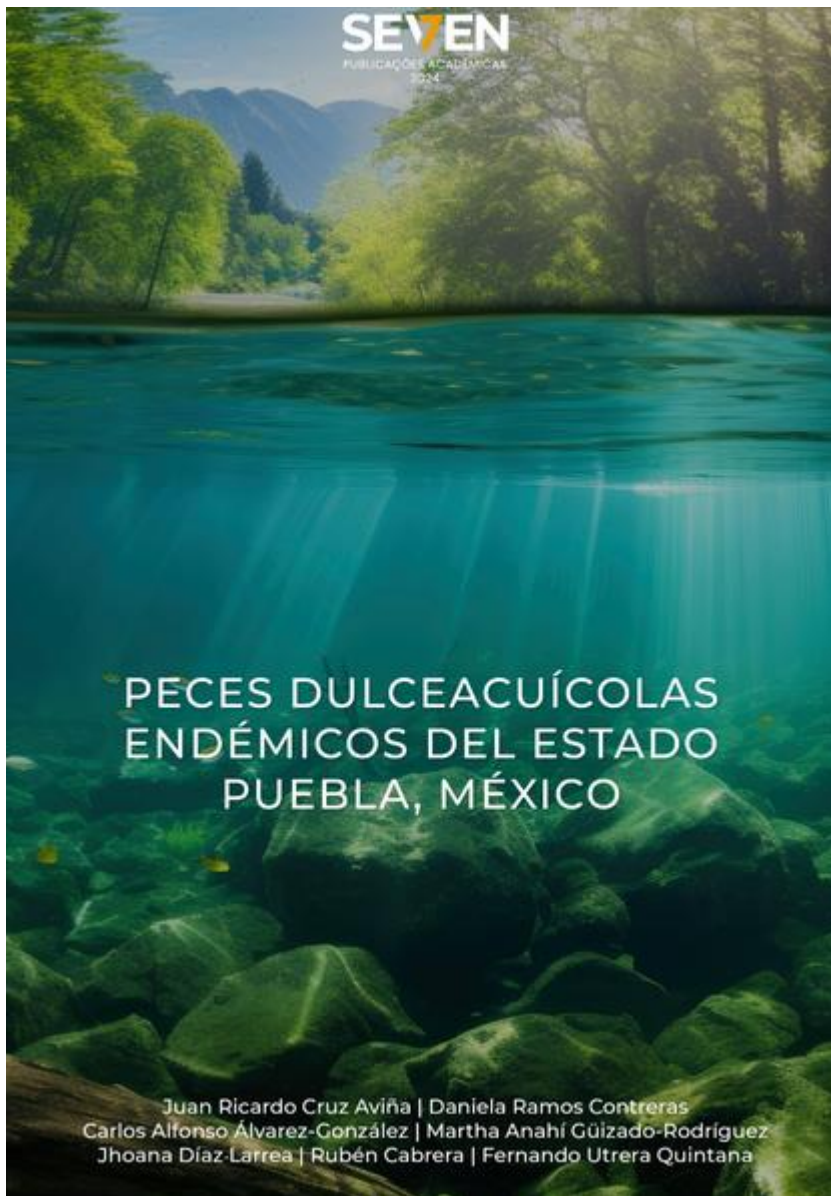
**PROPUESTA INTEGRAL PARA LA CONSERVACIÓN DEL CHARAL DE
LA PRECIOSA, (*Poblana letholepis*, Álvarez 1950), PUEBLA, MÉXICO.
AVANCES PRELIMINARES**

**COMPREHENSIVE PROPOSAL FOR THE CONSERVATION OF THE
CHARAL DE LA PRECIOSA, (*Poblana letholepis*, Alvarez 1950), PUEBLA,
MEXICO. PRELIMINARY ADVANCES**

Cruz Aviña J. R.^{1,*}, Ramos Contreras D.², Jiménez García D.², Bernal Mendoza H.², Eric
Ramírez O.², Tenorio Arvide M. G.³, Figueroa Lucero G.⁴, Álvarez González C. A.⁵

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Fauna Silvestre, Laboratorio de
Medicina de la Conservación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (FMVZ), Carr.

LIBRO



DIVULGACION



Aumentar

Etnofauna y bioculturalidad con énfasis en peces y herpetofauna de la región de Axalapascos



Charalán, San Francisco

J.R. Cruz Avila Facultad de Medicina Veterinaria, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; **M.G. Yennifer Arvide** Centro de Investigación Ciencia Aplicada, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; **M.A. Valera Pérez** Centro de Investigación Ciencia Aplicada, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; **G. Figueroa Lucero** Departamento de Microbiología, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa; **M.A. Gótzado Rodríguez** División de Biología, Instituto Tecnológico Superior de Zacapuente

La memoria permite a los individuos recordar los eventos del pasado. Como los individuos, las sociedades poseen también una memoria colectiva, una memoria social, del mismo modo existe una memoria biocultural, con noción de territorio que nos conecta con nuestro entorno natural antiguo, milenario, usos y costumbres que han pasado de generación en generación a lo largo del tiempo.

Biocultura en la región de los Axalapascos
La ciudad prehistórica de Cantona dentro de la Cuenca Oriental (CO), fue en la antigüedad un territorio clave para el desarrollo de la cultura mesoamericana. La región conocida comúnmente como los Axalapascos, se en realidad, una cuenca endorreica (cerrada sin salida al mar) que

primero básicamente, con la consecuente erosión del suelo. A partir del siglo XIX la región sufrió severos problemas de estrés hídrico. Actualmente solo cubrieron 5 lagos (Alichichica, Anasco, La Preciosa, Quechulac, Atojaca) y el recién desecado Tecuaniapa.

Íctiofauna de la región de los Axalapascos
Los charales, son particularmente valorados por los pobladores de los Axalapascos como alimento (sobre todo en cuernama y estarna salsa), los cuales los preparan fritos, en mole, mitzone o tama-

les, esta pequeña se arrosanal y se lleva a cabo principalmente por mujeres. De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana son especies en peligro de extinción (NOM-059 SEMARNAT-2010) y en peligro crítico de acuerdo con la Lista Roja de Especies Amenazadas (IUCN, 2008).

Herpetofauna de la región de los Axalapascos
En la región de los Axalapascos las personas que aún consiguen ajolotes, mencionan que "es de buen sabor, parecido al pescado". Lo preparan, frito con nopales, en chile rojo o verde. Antes de prepararlo le quitan el sabor a "choquiso", que es una cubierta mucosa protectora, la cual dicen tiene un sabor amargo, para eso lavan a los ajolotes o los revuelcan en ceniza, el ajolote se usa actualmente como medicina tradicional para enfermedades



Charalán, San Francisco

de vías respiratorias, en caldo, mole o carnal, una persona de la tercera edad entrevistada (Don Luciano) comentó: "Uno se comen rotas los [especies] de ajolotes que hay... de Alichichica, de Anasco, de los Minas (La Preciosa)... de Quechulac, porque era su agua sucia". También se comen los repocanes o asepacanes (renacuajos de rana), así como especies de ranas más grandes (Quechulac y La Preciosa). Las víboras de cascabel (*Crotalus* sp.), son consumidas en una amplia variedad de guisos, ya sea seca, o fresca (aún fibrilando incluso) en mole, en tamales o con adobo, etc. Aunque también es utilizada con fines medicinales para el tratamiento del cáncer. Los campesinos cuando encuentran una de esta especie la matan y le retiran la piel y los órganos, posteriormente desecan la carne. Una vez que está bien deshidratada, venden la carne ya que casi nunca falta alguna persona interesada

en adquirir este recurso como remedio medicinal. Al igual que otras especies de serpientes la crotocara (*Pituophis depus*) es consumida en mole, al igual que sus huevos. En las fiestas sobre todo de semana santa y de Pascua, algunas personas "cazan" peces, culebras, ajolotes y los echan al comal o a las brasas del hogar, los dejan tostar y se les ofrece a los niños principalmente, posteriormente a los ancianos y por último a los adultos.

Motas /motas
En México, encontramos que el uso de elementos tanto de origen animal como vegetal se encuentra entremezclado en un trama que incluye una serie de rituales y de símbolos presentes lo mismo en situaciones cotidianas que en eventos importantes del quehacer humano, tales como la siembra, los casamientos, los nacimientos, las enfermedades y la muerte. *

En la región de los Axalapascos las personas que aún consiguen ajolotes, mencionan que "es de buen sabor,

La Jornada del Campo
Lamento el sensible fallecimiento de
Leif Korsbaek
1941-2023

Pesca artesanal en los Axalapascos de Puebla, conservación y biocultura en extinción

Juan Ricardo Cruz Facultad de Medicina Veterinaria, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla / Maestro en Educación Ambiental, Universidad Autónoma de la Ciudad de México **F. Ulteira Quintana** Facultad de Medicina Veterinaria, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla **E. Cruz Marín** Maestro en Educación Ambiental, Universidad Autónoma de la Ciudad de México **G. Figueroa Lucero** Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa

En el Centro-Oriente de México, entre desde el pleistoceno/holoceno un territorio misterioso, mágico, mítico y milenario, un lugar con una gran bioculturalidad y alta diversidad biológica, un lugar con espejos de agua multicolores, inmersos en la cálida llanura, donde se conjugan los lagos cráter (Alichichica, Atzacac, La Preciosa y Quechulac) con aguas de tonos rúnicos,

verdes y rojos, y que contrastan con el semi-desierto del Valle de Perote, se trata de la Región de los Axalapascos.

¿Qué son los Axalapascos? Son lagos cráteres y se les conocen localmente como "Axalapascos", nombre náhuatl que significa "caja de arena con agua revuelta". Cada axalapasco es diferente y cada charal también.

Es de llamar la atención que para cada Axalapasco y para cada especie de charal el tipo y modo

de pesca sea tan diferente. A primera vista uno pensaría que al tratarse de lugares tan cercanos (menos de 5 Km. entre los lagos) la actividad sería muy parecida, sin embargo, existen grandes diferencias de técnicas y horarios en esta pesca artesanal a saber: La pesca en Alichichica es limitada y se centra principalmente en los charales endémicos (Poblano alichichica) que está sujeta a una pesquería local por parte de pobladores de la zona y de comunidades aledañas (Tepeyahualco, Zapalena). Los charales, son particularmente valorados por los pobladores locales como alimento, los cuales preparan de diferentes formas, sobre todo en semana santa. La pesquería es artesanal y se lleva a cabo por mujeres de

manera tradicional (para de madre a hija) su forma de pesca es muy particular, ya que utilizan manras de cama o tela de corrión a manera de red chinchorro, al "arrastrar" capturan los peces en la zona litoral o de estromatolitos del lago, formando grupos de pescadoras que suelen ser de tres personas. Dos de ellas llevan un extremo de la manra atada al tobillo, con la finalidad de mantenerla pegada al fondo, mientras que el otro extremo se mantiene con la mano por arriba de la superficie. La tercera persona tiene doble función: camina al frente con un palo en cuyo extremo se han colocado tiras de tela (como pompones) para conducir a los peces hacia el centro de la manra, que termina en forma de cono. Asimismo, mantiene el arreglo y recoge la manra para evitar que se escapen los peces atrapados, posteriormente se lavan y colocan en lamas por lo que se venden por litro. La pesca de los charales en La Preciosa (Las Minas), es la más intensa de todos los Axalapascos, ya que este charal (Poblano lerho-lapita) es el más apreciado por su tamaño (hasta 12 cm) y su sabor (dulce). Esta es una pesquería local, por parte de los pobladores de la comunidad de San Juan de la Muralla, en donde básicamente todos son familia (padres, hijos, hermanas, primos, sobrinos, cu-

ñados etc.). Por lo que corresponden a la pesca de los charales en el lago Quechulac, es la menos activa, ya que este charal (Poblano equimora) es el menos apreciado por su tamaño (hasta 7 cm) y su sabor (amargo), adicionalmente los lagareños se dan cuenta que es el Axalapasco más contaminado por descargas municipales de los poblados cercanos al lago. El charal Poblano equimora no es el único pez en este lago, existe un Poecilid (Pseudorhaphichthys bimaculatus), que no es de importancia comercial y del cual algunos autores lo consideran una especie invasora, al entrar estos dos peces en competencia, se ha sugerido que el charal de este lago ha cambiado sus hábitos de consumo, volviéndose prácticamente detritófago.

La mayoría de los mexicanos viven en las regiones áridas y semiáridas que representan dos tercios del territorio nacional en donde el agua se escasa. Causas naturales y humanas favorecen la degradación de los recursos acuáticos epicontinentales. Por lo anterior existe una clara necesidad de desarrollar e implementar programas de pesca artesanal y de uso sustentable del agua a nivel cuenca para conservar las especies acuáticas y un estilo de vida propio de los pescadores de la región. *

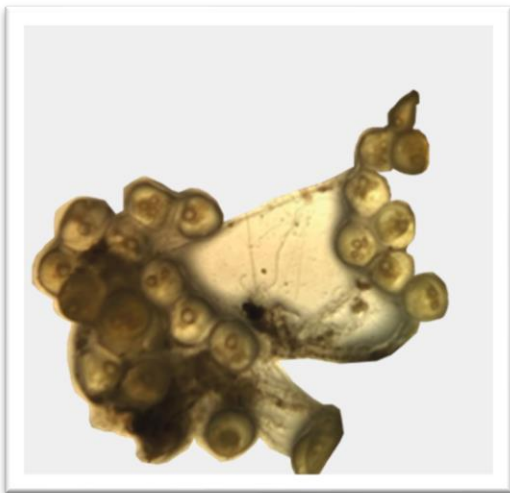
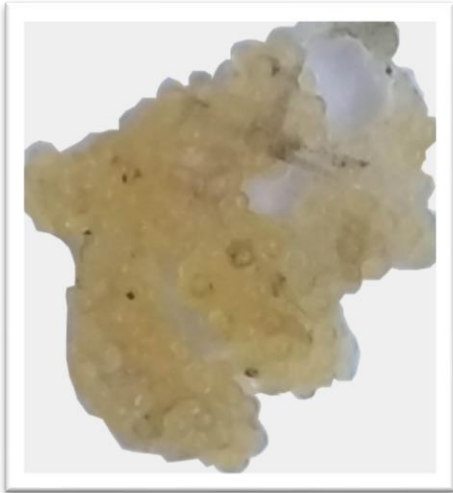
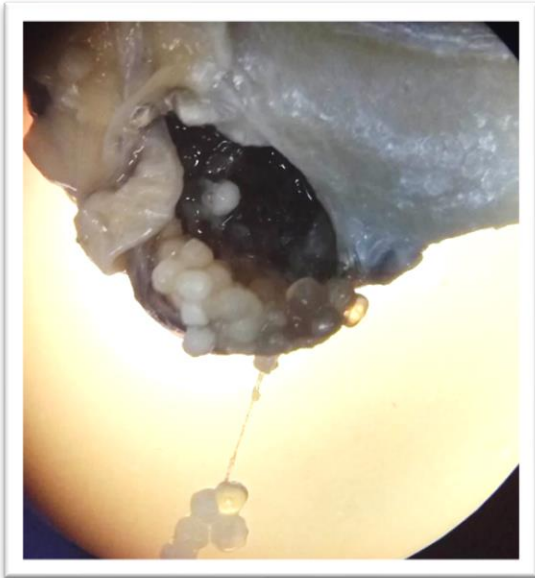
14. ANEXO II FOTOGRÁFICOS

TRABAJO EN CAMPO

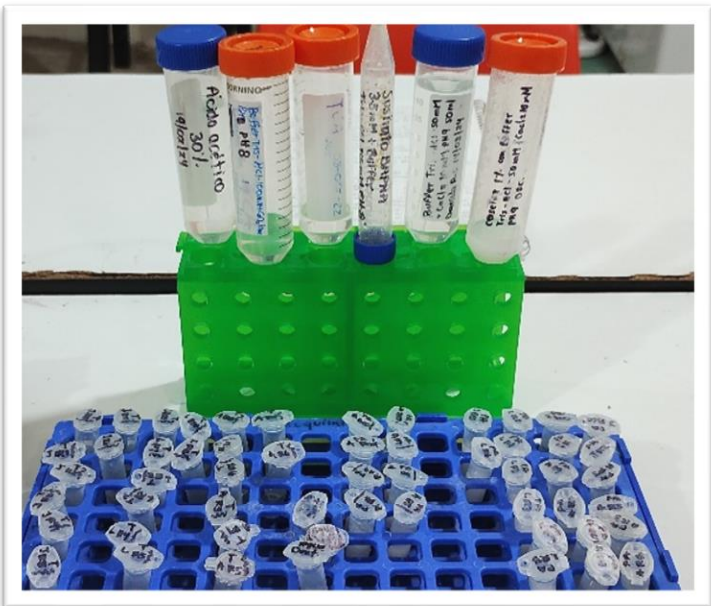


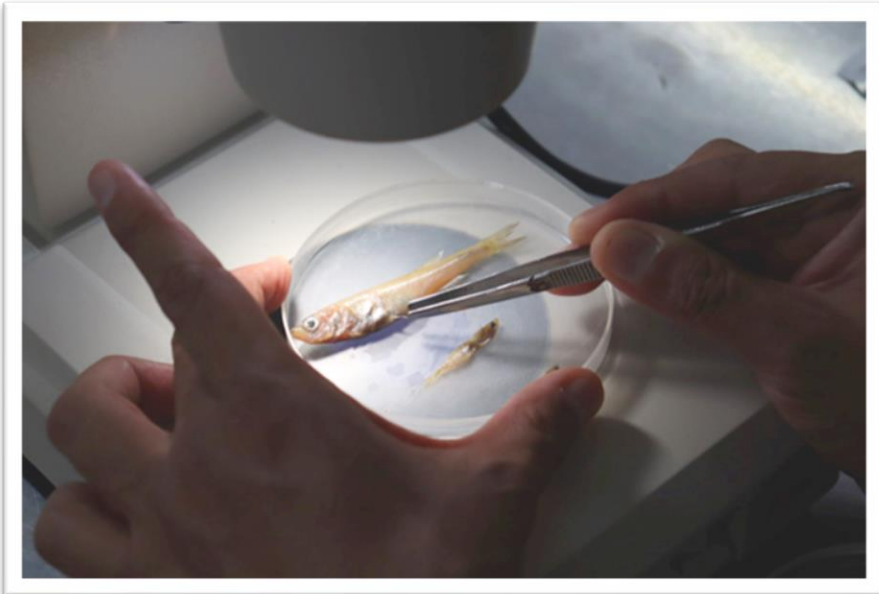
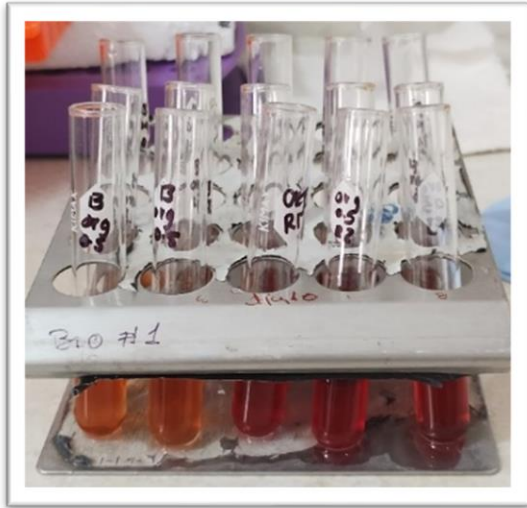


TRABAJO EN LABORATORIO











14. BIBLIOGRAFÍA

- Albores, B. (1995). Tules y sirenas. El impacto ecológico y cultural de la industrialización en el Alto Lerma. El Colegio Mexiquense y Secretaría de Ecología, Gobierno del Estado de México, Toluca.
- Alcocer, J., Merino-Ibarra, M., Ramírez-Zierold, J. A., Oseguera, L. A., CortésGuzmán, D., Castillo-Sandoval, F. S., ... & Pérez-Ramírez, M. G. (2021). Lake Alchichica limnology. *Lake Alchichica Limnology. The Uniqueness of a Tropical Maar Lake*; Springer Nature: Berlin/Heidelberg, Germany, 491.
- Alcocer, J. (2019). Lago Alchichica: Una joya de biodiversidad. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 244 p. ISBN: 978-607-30-2278-1.
- Alcocer, J., Arce, U. E., Zambrano, L. & Chiappa Carrara, X. (2010). Poblana alchichica: a threatened silverside species? *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 30: 1429-1432.
- Alcocer, J., X. Chiappa-Carrara, E. Arce & L. Zambrano. (2009). Threatened fishes of the world: Poblana alchichica (de Buen, 1945) (Atheriniformes: Atherinopsidae). *Environmental Biology of Fishes* 85: 317– 318.
- Alcocer, J., Escolero, O. A., y Marín, L. E. (2004). Problemática del agua de la Cuenca Oriental, estados de Puebla, Veracruz y Tlaxcala. Ciudad de México: Academia Mexicana de Ciencias.

- Arce, U. E. (2006). Abundancia y distribución poblacional de Poblana alchichica (Pises: Atherinopsidae), charal endémico del lago Alchichica, Puebla. Tesis de Maestría, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México. 58 pp.
- Álvarez, J. (1950). Contribución al conocimiento de los peces de la región de Los Llanos, Estado de Puebla. México: An. Esc. Nac. Cienc. Biol. 6, 81-107.
- Angeles Lucas, M. D. L. Ñ., Luque-Alcívar, K. E., & Lucas-Zambrano, A. T. (2020). La Gamificación: herramientas innovadoras para promover el aprendizaje autorregulado. *Dominio de las Ciencias*, 6(3), 349-369.
- Aristóteles, S. (2022). Evaluación pesquera participativa: hacia la recuperación de la almeja chocolata en Sinaloa. Environmental Defense Fund (EDF) La Paz, Baja California Sur, México.
- Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye-binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1): 248-254
- Burneo, S. F., M. D. Proaño y D. G. Tirira. (2015). Plan de acción para la conservación de los murciélagos del Ecuador. Programa para la Conservación de los Murciélagos del Ecuador y Ministerio del Ambiente del Ecuador. Quito.

Caduto, M. (1992). Guía para la enseñanza de valores ambientales. Programa Internacional de Educación Ambiental. Madrid, España: UNESCOPNUMA.

Camacho-Escobar, M. A., Jerez-Salas, M. P., Romo-Díaz, C., Vázquez-Dávila, M. A., y García-Bautista, Y. (2016). La conservación in situ de aves en el traspatio oaxaqueño. *Quehacer científico en Chiapas*, 11(1), 60-69.

Caniglia, G., John, B., Bellina, L., Lang, D. J., Wiek, A., Cohmer, S., & Laubichler, M. D. (2018). The glocal curriculum: A model for transnational collaboration in higher education for sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 171, 368- 376.

Castro, E. y Balzaretto, K. (2000). La educación ambiental no formal, posibilidades y alcances. *Educación* (Guadalajara, Jal.) 53-60.

Ceballos, G.; Díaz Pardo, E.; Estévez, I. M., Espinosa Pérez, H. (2016). Los peces dulceacuícolas de México en peligro de extinción. Fondo de Cultura Económica. p. 597

Ceballos, G., & Ortega-Baés, P. (2011). La sexta extinción: la pérdida de especies y poblaciones en el Neotrópico. *Conservación biológica: perspectivas de Latinoamérica*, 95-108.

Camors, J. (agosto, 2009). Educación No Formal Política educativa del MEC 2005-2009. En Aportes para la elaboración de propuesta de políticas educativas. Recuperado de [http:// www.oei.es/pdf2/aportes_educacion_no_formaluruguay.pdf](http://www.oei.es/pdf2/aportes_educacion_no_formaluruguay.pdf)

Cruickshank, V. L. (1992). Relación entre las aguas superficiales y subterráneas en una cuenca. *Ingeniería Hidráulica en México*, 7, 53-63.

Charsky, Dennis, y Ressler, William 2011. “Games are made for fun”: Lessons on the effects of concept maps in the classroom use of computer games. *Computers & Education* 56(3): 604-615.

Cruz-Aviña, J. R., Álvarez-González, C. A., Aranda-Morales, S. A., Figueroa-Lucero, G., Nieves-Rodríguez, K. N., & 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.

Cruz-Aviña, J. R., Muñoz-Langarica, L., Cruz-Marín, J. E., Castañeda-Roldán, E. I., Tenorio-Arvide, M. G., & Valera-Pérez, M. A. (2022). La Educación Ambiental no formal como alternativa de conservación de la biodiversidad Región de los Axalapascos, Puebla, México, avances preliminares. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias. RLAC*. 13 (1): 1-15.

Cruz-Aviña, J. R., Castañeda-Roldan, E. I., Álvarez-González, C. A., Nieves-Rodriguez, K. N., y Peña-Marin, 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., Castañeda-Roldan, E. I., Silva-Gómez, S. E. (2017). El desarrollo sustentable desafíos y oportunidades: La problemática ambiental de la región de los axalapascos de Puebla: Erosión, pobreza, enfermedades, biodiversidad, etnocultura. Plaza y Valdés, México, 129-150.

De Freitas, Sara 2006. Learning in immersive worlds: a review of game-based learning
Bristol: Joint Information Systems Committee.
<http://www.jisc.ac.uk/media/documents/programmes/elearninginnovation/gamingr>

Dhert, P., Divanach, P., Kentouri, M. and Sorgeloos, P. (1998). Rearing techniques for difficult marine fish larvae. *World Aquaculture*, 48–55.

Díaz Cordero, G. (2012). EL CAMBIO CLIMÁTICO. *Ciencia y Sociedad*, XXXVII (2),227-240. [fecha de Consulta 15 de Noviembre de 2022]. ISSN: 0378-7680. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87024179004>

Díaz-Pardo, E. 1992. Bioecología de los lagos cráter de Puebla. Tesis Doctorado, Departamento de Zoología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, I.P.N. México. 87

Escobar, A. (2014). Sentipensar con la tierra. Medellín: Ediciones Unaula.

Flores-Negrete, E. (1998). Estudio poblacional de tres especies de Poblana (Pisces: Atherinopsidae) en tres lagos-cráter de Puebla, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 101 pp.

Francisco Orgaz-Agüera (2018): “Educación ambiental: concepto, origen e importancia. El caso de República Dominicana”, Revista DELOS Desarrollo Local Sostenible n. 31

Frausto Illescas, T. C., Hernández-Rubio, M. C., y Figueroa-Lucero, G. (2016). Effects of salinity and hardness on survival of Poblana letholepis (Atheriniformes: Atherinopsidae) larvae. *Int. J. of Aquatic Science*, 7(1), 25-29.

Freire, P. (1995). La educación como una acción cultural. San José, Costa Rica: EUNED.

Fukuyama, F. (1999). La gran ruptura. Atlántida.

Galeano, P. y Giraldo, G. (2012). Educación ambiental como estrategia para la conservación de la quiropterofauna en el municipio de Chipatá (Santander)

Garris, Rosemary, Ahlers, Robert y Driskell, James 2002. Games, motivation, and learning: A research and practice model. *Simulation & Gaming* 33(4): 441-467. <https://doi.org/10.1177/1046878102238607>

Garzón Quijano, D. J., y Guzmán Rojas, D. (2016). La etnoentomología asociada a la memoria biocultural: un referente socioeducativo para la enseñanza aprendizaje de la conservación biológica y cuidado de la vida desde las concepciones de los estudiantes, de tercero de primaria de la IED Nuestra Señora de Fátima y actores campesinos del Municipio de Sasaima Cundinamarca.

Gasca, A. (1981). Algunas notas de la génesis de los lagos-cráter de la cuenca de Oriental. Puebla-Tlaxcala-Veracruz. Departamento de Prehistoria, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Colección científica Prehistoria.

Guerra Magaña, C. (1986). Análisis taxonómico poblacional de peces Aterinidos (Chirostoma y Poblana), de las cuencas endorreicas del extremo sur del altiplano mexicano. In *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* (Vol. 30, pp. 81-113).

González, E. (1993). *Hacia una estrategia nacional y plan de acción de educación ambiental*. México: INE, UNESCO, SEDESOL

Guier, E., Rodríguez, M. & Zúñiga, M. (2002). *Educación Ambiental en Costa Rica: Tendencias Evolutivas, Perspectivas y Desafíos*. San José: EUNED. 99 pp.

Guzmán-Hernández, V., P. del Monte-Luna, M. C. López-Castro, A. Uribe-Martínez, P. Huerta-Rodríguez, (2022). Recuperación de poblaciones de tortuga verde y sus interacciones con la duna costera como línea base para una restauración ecológica integral. *Acta Botanica Mexicana* 129: e1954. DOI: <http://doi.org/10.21829/abm129.2022.1954>

Hernández-Rubio, M. C., Frausto-Illescas, T. C., y Figueroa-Lucero, G. (2016). Ontogenia temprana de *Poblana letholepis* (Actinopterygii: Atherinopsidae). *Revista mexicana de biodiversidad*, 87(3), 1118-1123.

Hunter, D., y Heywood, V. (2012). *Parientes silvestres de los cultivos: manual para la conservación in situ*.

Ibarra Eliessetch, M. I., & Riquelme Maulén, W. (2019). Sentipensar mapuche con las aguas del Huenehue: Hacia una ecología política y una antropología por demanda. *Polis* (Santiago), 18(54), 90-118.

Ibarra, J. T., Caviedes, J., Barreau, A., Pessa, N., Valenzuela, J., Navarro-Manquelef, S., & Pizarro, J. (2022). Escuchando a los abuelos: transdisciplina, aves y gente para cultivar la memoria biocultural. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud*, 20(3): 1-22. <https://dx.doi.org/10.11600/rlcsnj.20.2.4861>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - IMTA, y Pedrozo Acuña, A. (2022). El camino hacia la sustentabilidad hídrica de acuíferos sobreexplotados. *Perspectivas IMTA*, 3(08). <https://doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2022-8>

IUCN. (2008) IUCN Red List of Threatened Species. www.iucnredlist.org

Kumar, Rita y Lightner, Robin 2007. Games as an interactive classroom technique: Perceptions of corporate trainers, college instructors and students. *International Journal of Teaching and Learning in Higher Education* 19(1): 53-63.

Kassas, Mohamed. (2002). "Environmental Education: Biodiversity." *Environmentalist* 22 (4): 345-351.

Kates, R. W., Clark, W. C., Corell, R., Hall, J. M., Jaeger, C. C., Lowe, I. & Svedin, U. (2001). Sustainability science. *Science*, 292(5517), 641-642.

Lascuráin, M., List, R., Barraza, L., Díaz Pardo, E., Gual Sill, F., y Maunder, M. (2009). Conservación de especies ex situ. *Investigación*, 53, 2.

Leff, E. (2002). *Saber ambiental: Sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder*. Siglo XXI.

Lindig-Cisneros, R., Barajas-Arroyo, M., Gómez-Pineda, E., Robles, G. y Punzo-Díaz, J. (2023). Una aproximación integral a la restauración ambiental ante el cambio climático, la identidad cultural y el patrimonio arqueológico: El caso de Tzintzuntzan, Michoacán, México. *Revista de Ciencias Ambientales* 57(2): 1-24.

Lira-Guerrero, G., García-Prieto, L., y Pérez-Ponce de León, G. (2008). Helmintos parásitos de atherinópsidos de agua dulce (Osteichthyes: Atheriniformes) del centro de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 79(2), 325-331.

Maass, J., & Martínez y Rizar, A. (1990). Los ecosistemas: definición, origen e importancia del concepto. *Ciencias*, 1:(4).

MARENA. (2004). *Lineamientos de Política y Estrategía Nacional de Educación Ambiental*. Managua

Miller, R. R. (1986). Composition and derivation of the freshwater fish fauna of Mexico. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas México* 30: 121-153.

Naciones Unidas. (1992). “Convenio sobre la Diversidad Biológica”,

Núñez, Irama, González-Gaudio, Édgar, & Barahona, Ana. (2003). La biodiversidad: historia y contexto de un concepto. *Interciencia*, 28(7), 387-393.

Nykvist, B. & von Heland, J. (2014). Socioecological memory as a source of general and specified resilience. *Ecology and Society*, 19(2), art47. <https://doi.org/f226jm>

Ortega-Álvarez, R., Calderón-Parra, R, et al. (2021). El Gorrión Serrano (*Xenospiza baileyi*): síntesis sobre la historia natural, estudios científicos y acciones para la conservación de un ave micro endémica de México en peligro de extinción. *Acta zoológica mexicana*, 37, e3712320. Epub 05 de febrero de 2021. <https://doi.org/10.21829/azm.2021.3712320>

Parramón, P. (2014). *Cómo se mezclan los colores*. España, Pág. 95.

Planas, M. and Cunha, I. (1999). Larviculture of marine fish: Problems and perspectives. *Aquaculture*, 177, 171–190. Recuperado de: [http://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00079-4](http://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00079-4)

Piñero, Eleder (2015). Observación participante. Una Introducción. Número Especial, 1.

Piñero, Daniel (1993). "La biodiversidad: aspectos genéticos", en: *Omnia* núm. 26, México, D.F., Coordinación General de Estudios de Posgrado, UNAM, pp. 21-26.

Ramírez-Gracia, P., & Novelo-R, A. (1984). La vegetación acuática vascular de seis lagoscráter del estado de Puebla, México. *Botanical Sciences*, (46), 75-88

SAGARPA (1999) NORMA Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio

Sampier, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México.

Sandoval-Moreno, A., & Hernández-García, A. (2013). Cambios socioambientales y crisis de los pescadores en el lago de Chapala, en México. *Ambiente y Desarrollo*, 17(32), 13- 27. Código SICI: 0121- 7607(201301) 17:322.0. TX;2-F

SEMARNAT. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059, 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 del 2 de Abril del 2023*.

Singh, Harinder Rai, y Serina Abdul Rahman. (2012). “An Approach for Environmental Education by Non-Governmental Organizations (NGOS) in Biodiversity Conservation.” *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 42: 144-152.

- Soga, M. & Gaston, K. J. (2016). Extinction of experience: The loss of human-nature interactions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(2), 94-101.
<https://doi.org/f8jd9x>
- Stapp, Bill 1978. "Modelo de enseñanza para la educación ambiental", en *Perspectivas*, París, Francia, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura 4(3): 542-555.
- Stawski, C. (2015). *Gente del Agua: Etnoarqueología del Modo de Vida Lacustre en Michoacán*. E. Williams 2014. El Colegio de Michoacán, Zamora, Michoacán, México. 416 pp., ISBN 978-607-8257-76-8. *Latin American Antiquity*, 26(4), 579-580.
- Toledo, V. M. & Barrera-Bassol, N. (2008). *La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. Icaria editorial.
- Toledo, V.M, P. Alarcón-Chaires, P. Moguel, A. Cabrera, M. Olivo. E. Leyequine y A. Rodríguez Aldabe. (2001). *El Atlas Etnoecológico de México y Mesoamérica*. *Etnoecológica* 8: 7-41.
- Toledo, V., Carabias, J. C., y Gonzáles-Pacheco, C. (1989). *La producción rural en México: alternativas ecológicas*. Prensa de Ciencias, UNAM y Fundación Universo Veintiuno: Colección Medio Ambiente, 6.
- Toledo, V. M. (2003). *Ecología, espiritualidad y conocimiento*. México D.F.: PNUMA.

Torres Flores J. W. C. (2005). Estructura de una comunidad tropical de murciélagos presente en la cueva “El Salitre”, Colima, México. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. Tesis de maestría. 132 pp.

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) y PNUE (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). (1978). “Final Report, Intergovernmental conference on environmental education, Tbilissi (USRR), 14-16 oct., 1977”.

UNESCO. (1980). La educación ambiental. Las grandes orientaciones de la conferencia de Tbilisi (1977). París, Francia.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y Comisión de Supervivencia de Especies. (2013). “Guidelines for Reintroductions and Other Conservation Translocations.” Informe.

Valera Mejía, F. y Silva Naranjo, E. (2012). Guía de capacitación en educación ambiental y cambio climático. USAID, CDCT y The Conservancy Santo Domingo.

Valero-Pacheco, E., Abarca-Arenas, L. G., Condado-Salazar, B., y Franco-López, J. (2016). Relación longitud-peso y dieta de Poblana letholepis, una especie endémica de México central. Revista mexicana de biodiversidad, 87(4), 1391-1394.

Viera Torres, Trilce 2003. El aprendizaje verbal significativo de Ausubel. Algunas consideraciones desde el enfoque histórico cultural. Unión de Universidades de América Latina y el Caribe (26): 37-43.

Viesca González, F. C., y Romero Contreras, A. T. (2009). La entomofagia en México. Algunos aspectos culturales.

Verreth, J. (1994). Nutrition and related ontogenetic aspects in larvae of the african catfish, *Clarias gariepinus*. PhD Thesis. Wageningen Agricultural University. 205 p.

Weelie, Daan van, y Arjen E. J. Wals. (1999). “Steppingstones for making biodiversity meaningful through education.” *Environmental Education and biodiversity*: 49-78.

Weelie, Daan van, y Arjen E. J. Wals. (2002). “Making biodiversity meaningful through environmental education.” *International Journal of science education* 24 (11): 1143-1156. doi.org/10.1080/09500690210134839.

Werbach, Kevin. y Hunter, Dan 2014. *Gamificación*. Pearson Educación. Madrid España. 146 p.

World wild life (WWF). (2022). ¿Qué es la sexta extinción masiva y qué podemos hacer al respecto? Reproducido con la autorización de WWF Centroamérica ©.

Zabala, Ildebrando, y Margarita García. (2008). “Historia de la Educación Ambiental desde su discusión y análisis en los congresos internacionales”. *Revista de investigación* 32 (63): 201-218.