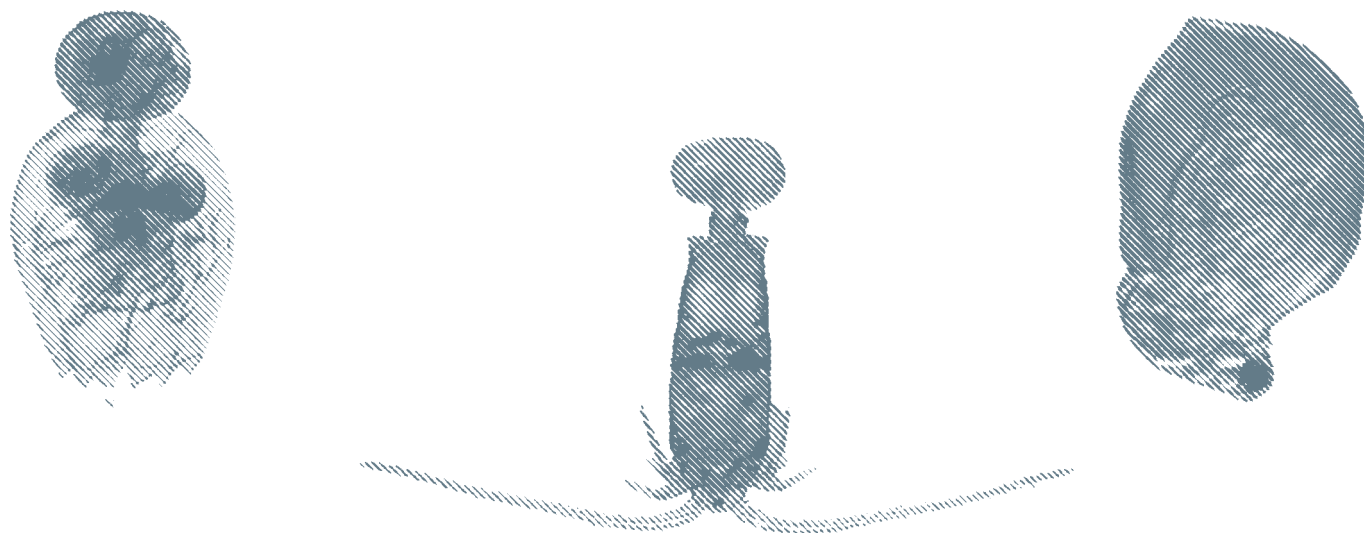




# CRÓNICA DE UNA EXTINCIÓN A LA VISTA.

UNA OPORTUNIDAD PARA HABLAR DE  
LAGOS Y ZOOPLANCTON EN EL ESCENARIO  
ACTUAL

/// OMAR A. BARRERA MORENO<sup>1,2</sup>



<sup>1</sup>Colección de Vertebrados, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California.

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Limnología Tropical, Laboratorio de Biología Evolutiva del Plancton, FES Iztacala, UNAM.



## RESUMEN

Los lagos localizados en la Cuenca Oriental, en el centro del México, son un laboratorio natural que alberga una alta biodiversidad, especialmente de zooplancton, la cual se encuentra amenazada en todos sus niveles por el impacto de las actividades humanas en los cuerpos de agua, como lo demuestra la introducción de especies exóticas, la contaminación y acumulación de desechos, el calentamiento global y la sobreexplotación de recursos. A través de la entrevista a una especialista en Biogeografía de la Conservación y la crónica de un recorrido por estos cuerpos de agua, el presente ensayo trata de visualizar a los lagos mencionados como un modelo de estudio que permita explicar procesos y analizar patrones que ocurren a escalas mayores, considerando lo que se ha denominado la “sexta extinción masiva” y su impacto sobre la biodiversidad y la humanidad en el futuro.

## ABSTRACT

The lakes located in the Oriental Basin, central Mexico, are a natural laboratory that harbors high biodiversity, especially zooplankton, which is threatened at all levels by the impact of human activities on these bodies of water, as evidenced by the introduction of exotic species, pollution and waste accumulation, global warming, and the overexploitation of resources. Through an interview with a specialist in Conservation Biogeography and a chronicle of a journey into these environments, this essay attempts to envision these lakes as a study model that allows us to explain processes and analyze patterns that occur on larger scales. The afore mentioned are relevant regarding the commonly named “sixth mass extinction” and its impact on biodiversity and humankind in the future.



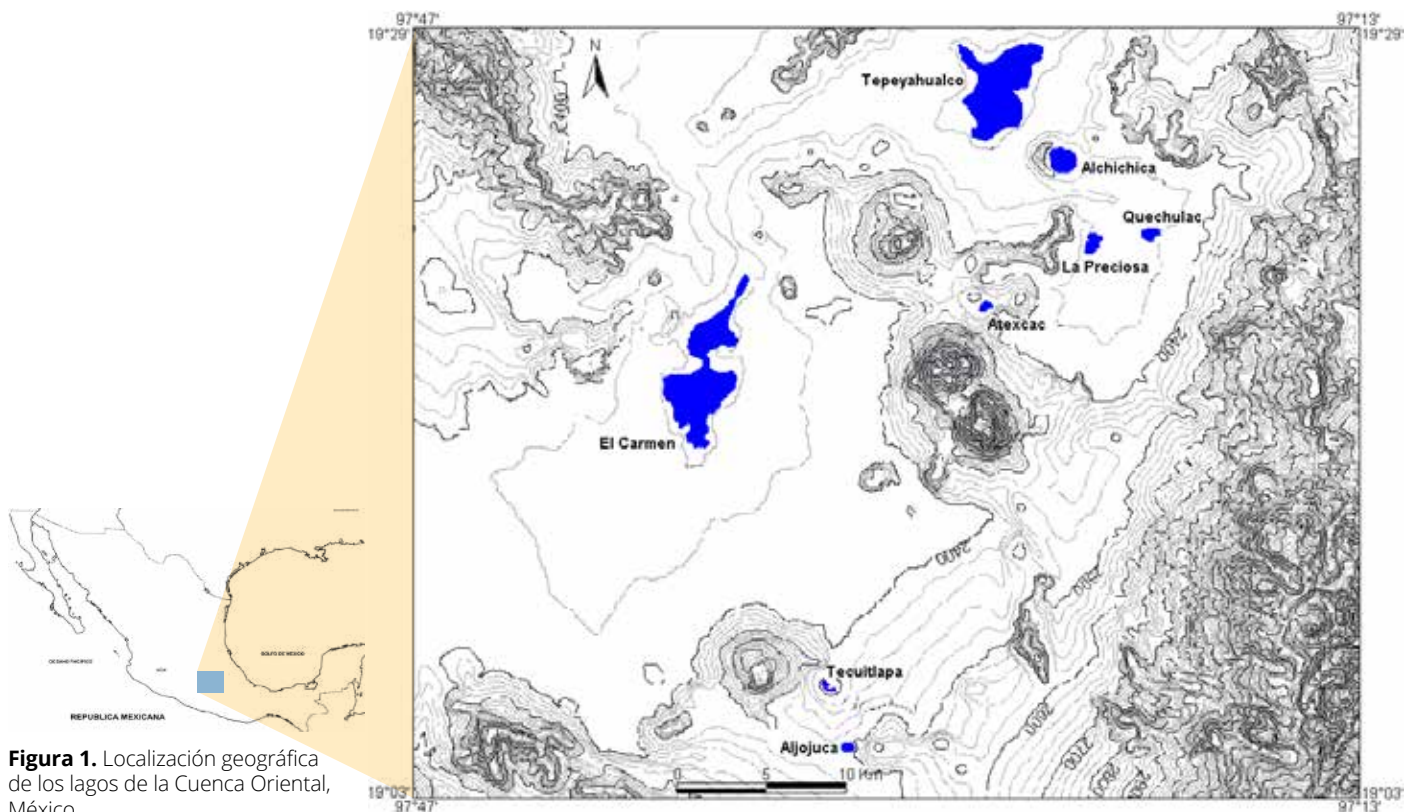
**Palabras clave:** lagos cráter, limnología, microinvertebrados,  
Cuenca Oriental

**Keywords:** crater lakes, limnology, microinvertebrates,  
Oriental Basin

**E**s día de trabajo en el campo, salimos de la Facultad de Estudios Superiores (FES) Iztacala de la UNAM a las siete de la mañana y después de cinco horas en carretera y una escala para comer tacos en San Martín Texmelucan, llegamos a una pequeña playa en el lago Atexcac, localizado en la Cuenca Oriental, la cual comprende parte de Puebla, Tlaxcala y Veracruz (Figura 1). El recorrido hasta aquí incluye una caminata por la ladera de este volcán muerto, subiendo y bajando casi tres kilómetros con quince kilos de equipo a la espalda, aunque yo siento que pesa más pues me tocó cargar la mochila con la lancha inflable. La vista desde la orilla y el color turquesa del agua valen la pena el esfuerzo, pero pensar en el camino de regreso no es algo que todos disfruten, sobre todo con esas nubes negras encima, "este lago tiene un microclima propio" decimos siempre. Atexcac y otros cinco lagos localizados en la cuenca (*i.e.*, Alchichica, Tecuitlapa, Aljojuca, La Preciosa y Quechulac) se conocen como axalapascos, que significa en náhuatl "ollas de barro rellenas de agua", su origen es producto de explosiones ocurridas hace al menos 33 mil años, cuando el líquido del subsuelo y el magma del interior de la Tierra se encontraron violentamente y formaron un cráter que se llenó posteriormente de agua. Imaginar la escena del nacimiento de estos lagos, ahora tan tranquilos y relativamente solitarios, es simplemente espectacular.

Sin embargo, al ver más allá de la belleza escénica, se puede distinguir los principales problemas que

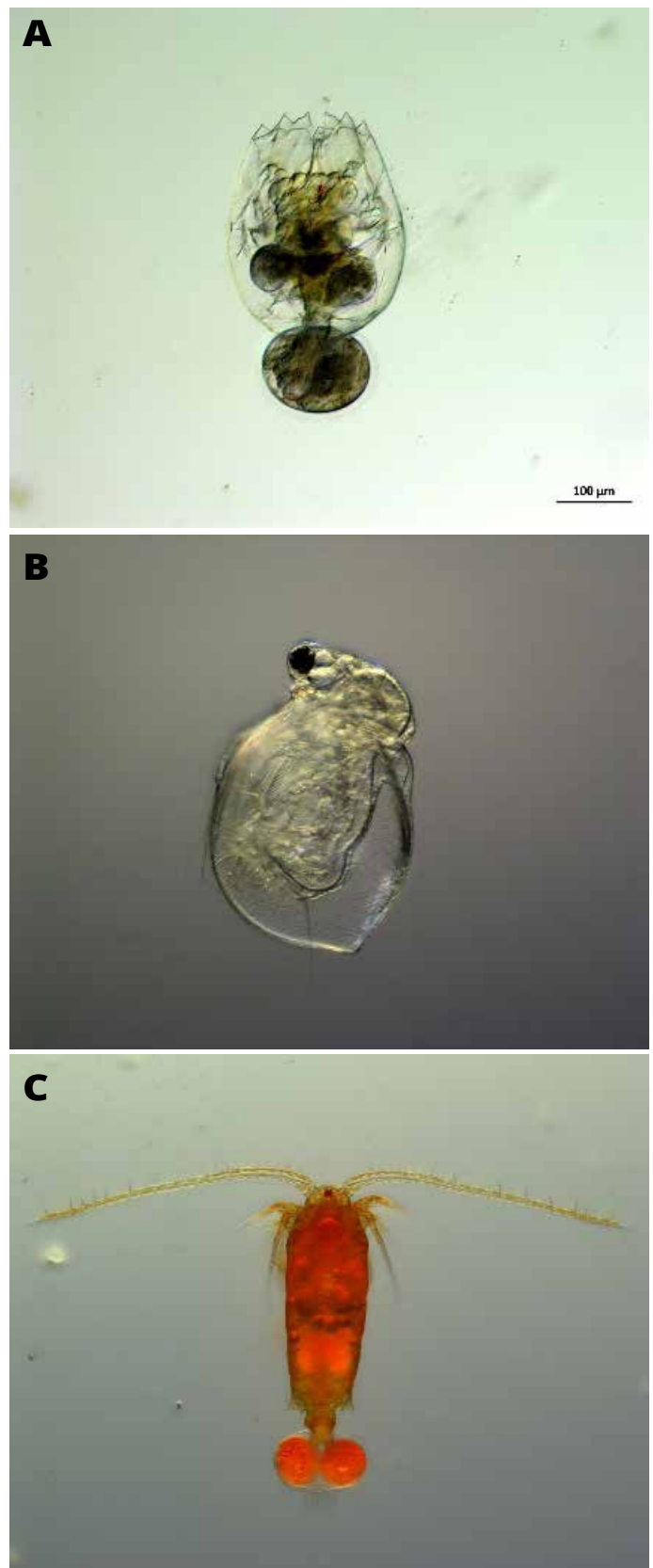
sufren estos cuerpos de agua, los cuales están ligados a la actividad humana: sobreexplotación del recurso, desertificación, contaminación, modificación del hábitat, eutrofización, introducción de especies exóticas y la inevitable reducción de la diversidad biológica. Cada lago es independiente, esto es, no están conectados por ríos o corrientes subterráneas y muestran condiciones bióticas y abióticas particulares (Arredondo, 1995), así como distintas presiones antrópicas bajo las cuales viven diferentes especies de peces, anfibios y pequeños invertebrados que son parte del zooplancton, como copépodos, cladóceros y rotíferos (Figura 2), entre otros grupos taxonómicos interesantes (Thorp y Rogers, 2015). De hecho, además del trabajo limnológico, el zooplancton es la razón de nuestra presencia aquí, pues tratamos de saber qué organismos hay en cada sitio y, sobre todo, cómo fue posible que colonizaran estos ambientes: ¿migraron desde otros lugares, se instalaron y adaptaron exitosamente, pero continúan siendo parte de una misma especie distribuida en diferentes lagos? o ¿se originaron aquí a partir de un linaje ancestral que se diversificó dando lugar a nuevas especies? Estas preguntas han generado diversas investigaciones en el laboratorio, llevándonos a considerar el área como un escenario natural ideal para probar hipótesis sobre procesos de diversificación biológica. Pero hoy, caminando de regreso a la camioneta, creo que también es posible relacionar la repercusión de las actividades humanas sobre los lagos y la biodiversidad a diferentes escalas, en un momento en el que el término extinción es cada vez más mencionado.



**Figura 1.** Localización geográfica de los lagos de la Cuenca Oriental, México.

De los aproximadamente 11 millones de especies de arqueas, bacterias, protistas, plantas, hongos y animales que se calcula habitan el planeta, se han descrito cerca de 1.5 millones (Mora *et al.*, 2011). Considerando las altas tasas de extinción que se presentan en la actualidad (Ceballos y Ehrlich, 2023), muchas se perderán en el anonimato antes de que podamos encontrarlas, describirlas, nombrarlas, clasificarlas y hallar su lugar en un árbol de la vida cada día más mutilado como resultado de lo que ya ha sido considerado el sexto evento de extinción masiva en la historia del planeta. Perder algo que todavía no conoces debe considerarse algo bastante triste. Sobre todo, porque gran parte de estas especies desconocidas sucumbirán ante acciones que son nuestra responsabilidad como seres humanos, además ¿cómo tomar medidas si no sabemos qué es lo que hay que conservar? Suena ideal, pero es imposible preservar cada rincón y especie del mundo. En entrevista, la Dra. Tania Escalante, Jefa del Laboratorio de Biogeografía de la Conservación en la Facultad de Ciencias de la UNAM, nos dice algunos criterios para tomar decisiones de conservación “las especies tienen una distribución diferencial sobre la superficie terrestre, eso las relaciona con la vulnerabilidad que pueden tener hacia los cambios ambientales, en particular los antropogénicos. Hay especies más vulnerables hacia procesos de extinción y, por tanto, las estrategias de conservación deberían priorizar a especies que son raras: tienen áreas de distribución pequeñas, el número de individuos es reducido, o son muy particulares de ciertos hábitats. Otras especies, las endémicas, se encuentran en un solo lugar del planeta, por lo que una vez que se pierde su área de distribución original, se pierde la especie completamente” En esta situación de rareza y endemismo se encuentran muchas especies de zooplancton, como es el caso del rotífero *Brachionus* sp. y los copépodos *Leptodiptomus garciai* y *Cletocamptus gomezi*, que solamente se encuentran en algunos o un solo lago de Cuenca Oriental.

Contrario a la evidencia de que existen especies raras, es común pensar que muchas especies son tan abundantes que nunca desaparecerán. El caso más extremo de este razonamiento es el de la paloma viajera (*Ectopistes migratorius*), la cual se distribuía en el norte de México y parte este y central de Estados Unidos de América. Esta especie fue considerada el ave más abundante del mundo hasta inicios del s. XIX, con parvadas de al menos mil millones de individuos ennegreciendo los cielos a su vuelo. Debido a su cantidad, a su carne comestible y al bajo precio de ésta, fueron cazadas hasta su extinción en 1900. La anécdota de un tren descarrilado lleno con 200 mil palomas deja en claro lo absurdo que puede llegar a ser el final de una especie debido al ser humano y su falta de visión a largo plazo (Arita, 2011). La última paloma viajera, Martha,



**Figura 2.** Algunos integrantes del zooplancton de los lagos de la Cuenca Oriental: A) el rotífero *Brachionus* sp., B) el cladócer *Ceriodaphnia lacustris* y C) el copépodo *Leptodiptomus* grupo *sicilis* (fotografías: Cristian Alberto Espinosa Rodríguez).

murió en 1914 en un zoológico, pero de manera práctica su linaje había desaparecido mucho antes. Otro caso es el de muchas especies de murciélagos, podríamos pensar que una cueva llena de individuos indicaría que la especie se encuentra en buen estado, pero estos organismos necesitan poblaciones grandes para existir, pues no es lo mismo calentar una cueva con 50 o con 50 mil individuos. O como los rinocerontes blancos del norte (*Ceratotherium simum cottoni*), de poco sirve contar con individuos si no tienen pareja para procrear. A pesar de que sobrevivan en zoológicos, la reintroducción de especies es difícil, como lo comenta la Dra. Escalante “las especies tienen una relación muy estrecha con el ambiente en el que evolucionaron. Aunque las intentemos reproducir *ex situ*, en los zoológicos, las condiciones de los lugares nativos son difíciles de recuperar. También, las poblaciones reintroducidas a veces no tienen éxito porque, igualmente, el ambiente ya cambió. Las acciones que permitan mantener a las poblaciones y sus ambientes *in situ* serán las mejores”. Por lo que vemos, parte del problema actual es implementar acciones que permitan mantener los ambientes de manera adecuada, en los lagos donde ahora estamos esto parece complicado.

Cada vez que visito Atexcac (Figura 3) pienso en cómo ha cambiado desde la primera vez que vine, hace 15 años. Dependiendo de la época del año, el agua tiene cambios de color debido a crecimientos de bacterias y algas. Pero ¿estos cambios pueden estar relacionados con la gran extinción de especies que tanta alarma ha causado en los medios de comunicación y en libros que en ocasiones quitan el sueño, como el escrito por la periodista Elizabeth Kolbert (2015), quien menciona diferentes ejemplos de especies y procesos involucrados en este evento? Es importante recordar que todos los organismos, desde una bacteria de media micra de largo hasta la ballena azul de 25 m, estamos conectados de una u otra manera en el árbol de la vida, donde cada rama cuenta una historia evolutiva exitosa hasta nuestros días y, por consecuencia, es igual de valiosa. A veces es difícil explicar que el humano, con su intelecto y civilización tiene el mismo éxito evolutivo que una babosa de mar, pero así es. Además, cada especie interactúa con otras y con las condiciones ambientales a su alrededor. Por ejemplo, la agricultura intensa con fertilizantes, los residuos de la industria y el desagüe de aguas negras en mares, ríos y lagos dan como resultado el incremento en los nutrientes y el crecimiento de microorganismos nocivos (como algunas cianobacterias), los cuales pueden generar toxinas que afectan la supervivencia y con ello las redes tróficas donde se involucran productores primarios, invertebrados del zooplancton, peces y aves, llegando a causar además problemas de salud en la población humana al consumir agua contaminada. Son cosas

que no pensamos cuando utilizamos fertilizantes para el aumento en la producción agrícola, aplaudimos la construcción de fábricas que “traerán” progreso con sus productos y empleos, o jalamos la cadena del inodoro.

En otros lagos de la cuenca, como la Preciosa (Figura 4), Quechulac y Alchichica, o en lugares como los canales Xochimilco, la introducción de peces exóticos para el consumo humano ha generado la pelea por los recursos con los peces endémicos, los cuales son mucho más pequeños y han sido desplazados, afectando toda la red trófica natural. Un ejemplo de lo grave que puede llegar a ser esta situación se ha estudiado en el lago Victoria en África, donde en un tiempo corto, de unos pocos miles de años, una especie ancestral dio origen a 500 especies distintas de peces cíclidos, cada una con características físicas y ecológicas distintas. A mediados del s. XX se introdujo de manera deliberada la perca del Nilo (*Lates niloticus*), un pez de casi dos metros de largo que ha desplazado y llevado en conjunto con la contaminación del lago, el aumento en nutrientes y disminución del oxígeno- a la extinción a cerca de 200 de las especies nativas y mermado en gran medida las poblaciones de las restantes ¿el humano ha tenido la culpa de ese proceso de extinción? A simple vista parece ser que sí.

Para las especies invasoras que ya se encuentran en los lagos mexicanos, como es el caso de algas, plantas, parásitos, invertebrados del zooplancton y peces (Mendoza y Koleff, 2014), el papel del ser humano en la expansión de su distribución ha sido realmente catastrófico. De manera natural, luego de generaciones de acumular cambios genéticos, conductuales o ecológicos, los mecanismos evolutivos dan lugar a una especie a partir de otra en un sitio particular del globo. Desde su lugar de origen, ésta nueva especie coloniza nuevas áreas dispersándose por su propio pie, aletas o alas, con ayuda del agua (aprovechando las corrientes marinas, ríos o la lluvia para llegar a lugares lejanos), del viento (el polen, las esporas y huevos de resistencia pueden volar cientos de kilómetros) o utilizando a otros organismos (como lo hacen las semillas con los murciélagos o los moluscos pegados a las patas de los patos como lo comprobó Darwin, usando extremidades de estas aves para comprobar su capacidad para transportar por grandes distancias a organismos adheridos a ellas). Así, cada especie ocupa un lugar en el mundo, teniendo que algunas se encuentran solo en un área tan pequeña como una hectárea entre la selva chiapaneca (*Lacandonia schismatica*) o el litoral de un lago (*Cletocamptus gomezi*), o tan extendidas como las orcas (*Orcinus orca*) y nosotros (*Homo sapiens*), que habitamos gran parte del mundo marino y terrestre, respectivamente. En cualquier caso, para llegar a tener las distribuciones que vemos actualmente, las especies



**Figura 3.** Lago Atexcac, Cuenca Oriental (fotografía: Omar A. Barrera-Moreno).

**Figura 4.** Lago La Preciosa, Cuenca Oriental (fotografía: Arturo Alcántara Rodríguez).

han necesitado miles de años en los que sus linajes han cruzado barreras y competido por el territorio y los recursos con sus semejantes.

Sin embargo, en un tiempo relativamente corto, la acción humana ha cambiado de manera drástica estos procesos. Al salir del centro de África y colonizar nuevos territorios, el ser humano tuvo contacto con especies de plantas y animales que domesticó y aprendió a aprovechar, llevándolas consigo (de manera consciente o no) en su peregrinaje, modificando las distribuciones originales, interviniendo también en el camino de selección natural. A su paso y con la explotación de los recursos a su alcance, el humano también modificó el entorno con la construcción de pueblos y ciudades que requieren espacio, madera, metales, agua y alimento para existir. Podemos pensar que las hormigas también afectan su entorno al crear colonias y túneles, o los castores al construir presas y cambiar el curso de un río, pero la escala de impacto global del humano no tiene comparación con otra especie.

Con la invención de los medios de transporte como el barco, el automóvil y el avión, se han acelerado procesos que, de existir, deberían tardar milenios. Imaginemos a Cristóbal Colón hace más de 500 años ante Isabel la Católica después de volver de “Las Indias”, mostrándole a la reina la planta del tabaco hasta ese momento desconocida en el Viejo Mundo y que actualmente se cultiva en varias partes del planeta. O un crucero que va de Londres a Nueva York, trayendo además de turistas felices, miles de organismos zooplanctónicos en el agua de lastre, los cuáles pueden competir y eliminar a las especies nativas, como ocurre con *Cercopagis pengoi*, un cladóceros invasor que llegó desde el Mar Negro a los Grandes Lagos en Norteamérica, causando estragos en las redes tróficas de los sitios donde se ha establecido, las cuales incluyen a otras especies de cladóceros rotíferos y copépodos de las que se alimenta. El caso de Australia es especial, fue poblada desde hace unos 40 mil años por aborígenes y luego repoblada con presos desterrados de Inglaterra durante parte del s. XIX. En este segundo evento, los barcos llevaron, entre otras especies exóticas, a los gatos

domésticos, peces carpa, conejos y hasta camellos, que en muy poco tiempo contribuyeron a la extinción de varias especies endémicas a la isla. De hecho, actualmente los gatos son considerados una plaga y hay programas para exterminarlos.

Otro ejemplo es el dodo (*Raphus cucullatus*) de la Isla Mauricio, exterminado en menos de 80 años por la intensa cacería por parte de los colonos europeos y la introducción de especies como perros y cerdos, que destruyeron sus nidos y huevos. Los aviones por su parte, han contribuido a la rápida propagación de algunos patógenos como el VIH (transportando individuos portadores del virus) o el hongo quitridial *Bathachochytrium dendrobatidis*, que ha causado la extinción de varias especies de ranas en América y con millones de víctimas mortales de estos anfibios en Australia y Europa. Si bien este hongo saprobio puede desplazarse por sus propios medios mediante esporas, es posible que haya sido transportado por el ser humano vía mercancías y organismos infectados, adaptándose a nuevos ambientes donde cambió su estrategia de descomposición por el parasitismo. Es claro que la acción humana ha propiciado su expansión desde África o Norteamérica (no se tiene claro su origen) a otras partes del globo. "Las especies introducidas pueden producir enfermedades que extinguen a una población. Además, cada caso es diferente, ese es el problema de la invasión, no sabemos cómo va a reaccionar un grupo de organismos, por lo que es difícil encontrar patrones" menciona la Dra. Escalante. ¿Podemos calcular el daño de las especies invasoras sobre la fauna y flora endémica? A pesar de su dificultad, parece que se pueden generar respuestas, como ella menciona "el estudio de las especies invasoras y su efecto es muy reciente. Estamos en una crisis porque tenemos muy pocos datos de campo para saber exactamente cómo una invasión está cambiando un ecosistema. Debido a esto, se están haciendo modelos a través de algoritmos que nos permiten saber cuáles son los sitios que pudieran ser invadidos con más probabilidad por una especie u otra, y predecir, con cierta confiabilidad el comportamiento geográfico de la invasión. Además, no sabemos bien si están totalmente desplazando a las otras especies (nativas), o que, a pesar de tener todas las capacidades de invadir, podrían no estar haciéndolo porque hay un depredador u otro competidor que está ocupando ese nicho ecológico". Sin embargo, si no hay un sitio para invadir, en algunos casos tal vez no sea necesario preocuparse por esta interacción.

En otros lagos que estudiamos, como La Preciosa y Tecuitlapa, ambos de agua dulce, el nivel del líquido ha bajado considerablemente debido a su uso para el riego de los cultivos de maíz y algunas hortalizas de los pueblos vecinos. En el perímetro que recorre La Preciosa, un lago de 36 m de profundidad, se puede ver la mancha de sales marcando hasta dónde llegaba antes el agua.

De Tecuitlapa (Figura 5) queda solo una pequeña poza remanente del lago original, aferrada a no secarse por completo pero que ya no permite que entremos con la lancha inflable como lo hacíamos hace unos años, por lo que ahora solo tomamos muestras desde la orilla. Ejemplos de extracción intensiva de agua y desaparición de grandes lagos -con su biodiversidad incluida- son amargamente comunes, no solo en México. El peor caso es el Mar Aral, situado en Asia Central y considerado uno de los cuatro lagos más grandes del mundo. Las fotografías aéreas que comparan su tamaño en las últimas décadas son escalofrantes, mostrando un decremento de la profundidad media original de 25 m hasta perder cerca del 90% volumen, con grandes extensiones totalmente secas. Barcos anclados en la arena y entre capas de sal acumulada por la evaporación son postales actuales del lugar. El aumento en la población aledaña en los últimos 50 años, el desvío del agua proveniente de los ríos que lo abastecían y el mal manejo de los recursos por parte de la agricultura de arroz y algodón -que requieren mucho líquido- han provocado un daño irreparable a este sistema, con efectos a la salud (por las tormentas de sal y arena mezclada con pesticidas) y al ambiente (al modificarse las temperaturas por la falta de agua). La crisis del agua es algo real y como en otras situaciones, la falta de empatía empeora cada vez más la situación. Hace un par de años, visité a mis tíos en Los Ángeles y a mi madre en Ensenada. Mientras mi mamá cuidaba cada gota que le llegaba por pipas, reutilizando el agua de la lavadora y el fregadero para regar su jardín, mi tío decía (mientras yo miraba cómo lavaba los trastes bajo el chorro intenso, dejando la llave abierta): "no te preocupes, aquí el agua sobra, no como en México". Olvidamos que el agua es la misma, durante su ciclo no le importan las barreras políticas que cruza como líquido, vapor o hielo. El agua es un bien común a todos los seres vivos ¿cuántas especies se han extinto o están en peligro debido a la pérdida de cuerpos de agua por sobreexplotación o contaminación?

A diferencia de los lagos cráter, en la zona se encuentra otro par de lagos con un origen distinto. Hace miles de años, existía un gran lago de varios kilómetros de largo, actualmente fragmentado en Tepeyahualco y El Carmen (Figura 6). Ambos son someros -no alcanzan el metro de profundidad- y efímeros, pues solamente se llenan de líquido en algunas zonas durante la temporada de lluvias, por lo que el resto del año actúan como grandes pastizales que aprovecha el ganado y donde en el sedimento se acumulan las estructuras de resistencia del zooplancton, que esperarán pacientemente durante meses o años hasta que las condiciones ambientales sean las ideales para "despertar" y continuar su ciclo de vida. En estos lagos habitan dos linajes de copépodos que, según los resultados de mi tesis de doctorado, pertenecen especies no descritas del género *Mastigodiaptomus*. Al analizar la situación actual

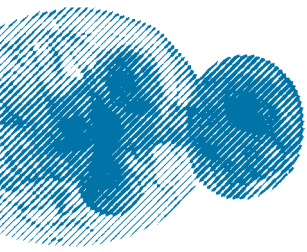


**Figura 5.** Lago Tecuitlapa, Cuenca Oriental (fotografía: Omar A. Barrera-Moreno).

del lugar, en la que cada vez la época sin agua es más extensa, pienso que cuando publique la descripción de estas nuevas especies ocurrirá lo que pasó con otra del mismo género en un lago cráter de la isla San Cristóbal, en las Galápagos: los investigadores la describieron recientemente estudiando muestras colectadas hace años, pero en la actualidad parece estar extinta a causa de diversas perturbaciones en el lugar derivada de la actividad humana (Elías-Gutiérrez *et al.*, 2023). En el caso de estos lagos, los habitantes históricamente han extraído agua y tequesquite, una sal utilizada todavía en la cocina, modificando también el ambiente mencionado. A veces, desde afuera, yendo una vez al mes, uno podría pensar que esas personas deberían dejar de consumir esa poca agua para proteger a las especies que sorprendentemente todavía viven ahí. Pero proponer acciones de conservación sin tomar en cuenta a las comunidades es un error, lo ideal es tomar decisiones en conjunto que ayuden a manejar de manera adecuada los recursos. Entonces ¿qué necesita la sociedad para participar en conservación a pequeña o gran escala? La Dra. Escalante nos contesta “Es indispensable un cambio en el pensamiento, concientización. Y eso únicamente podrá venir en las nuevas generaciones integrando en los planes de estudio esta forma de pensamiento a través de la sustentabilidad, el respeto, la apropiación de los recursos naturales dentro de nuestra cultura.

Posteriormente, comenzar a aprender en la escuela y en el seno familiar estrategias, quizás a escala pequeña pero que permitan aportar algo en el mantenimiento de la biodiversidad. Pueden ser desde pequeñas acciones como el reciclaje, reusar, reducir (las tres R), hasta acciones que tienen que ver con el uso de energías renovables y energías verdes”.

Tomando en cuenta las actividades humanas tanto en ambientes terrestres como acuáticos, ¿qué tipo de medidas podemos tomar? La Dra. Escalante nos comenta “Entre mayor número de áreas protegidas se decreten por parte de los gobiernos, así como mayor comunicación entre los sectores del gobierno, de la industria, de la población civil y los científicos, las acciones de conservación podrían ser más adecuadas. Podríamos proponer estrategias que nos permitan hacer uso de los recursos, pero de una manera sustentable. Hacer mancuerna entre el desarrollo económico con el mantenimiento de los recursos naturales no es una tarea fácil: Como científicos solamente usamos los aspectos biológicos para priorizar un área de conservación y nos estamos olvidando de la parte social. Esa no es una posición realista, necesitamos hacer un análisis multicriterio que nos permita incorporar los aspectos sociales y económicos en las estrategias de conservación, y así tomar las mejores decisiones. Si quisiéramos proponer un área de conservación en un sitio con altas presiones de deforestación, por donde



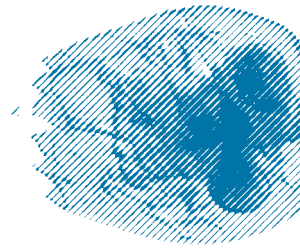
eventualmente va a pasar un camino o que tiene altas probabilidades de ser urbanizado, tampoco estaríamos haciendo bien nuestro trabajo. Necesitamos evaluar todos los factores para poder proponer sitios donde garanticemos el mantenimiento de la biodiversidad a largo plazo. Por otra parte, se necesitan más recursos económicos para poder enfrentar estos problemas ambientales, así como más financiamiento para producir estrategias de conservación. Siempre se necesita dinero”.

Antes de llegar al pueblo de Perote para pasar la noche, pasamos a Alchichica (Figura 7), uno de los cuerpos de agua más estudiados del país (Alcocer, 2019). Es un lago salino de unos 60 m de profundidad. Es un lugar de fácil acceso para turistas y los lugareños han aprovechado esto para colocar palapas y pequeños negocios en la orilla. Este lago cráter está lleno de leyendas que involucran ovnis y una conexión subterránea con el mar, pero para nosotros, parte de su importancia radica en la gran cantidad de especies endémicas que habitan aquí: un charal, microalgas, insectos, dos especies de copépodos –una de las cuales tuve la fortuna de describir como nueva - y los famosos microbialitos (estructuras formadas durante milenios por la interacción de minerales con microorganismos, como cianobacterias), que constituyen algo que podríamos definir como “arrecifes bacterianos”, los cuales años atrás se encontraban sumergidos, no como ahora, bañados por el sol y asomados a manera de paredes blancas cada vez más afuera del agua y en contacto con la actividad humana, como también sucede

en Cuatro Ciénegas Coahuila y Bacalar Quintana Roo. El linaje del que son parte los organismos formadores de microbialitos es considerado uno de los primeros que surgieron en nuestro planeta, sobreviviendo hasta ahora a cada una de las grandes extinciones ¿persistirá a este periodo en el que conviven con una especie que está acabando con su hábitat? Otro tipo de arrecife, mucho más famoso por sus colores y estructuras hermosas, es el formado por pequeños animales llamados pólipos, que viven en colonias y secretan -durante generaciones- estructuras de carbonato de calcio que conocemos como corales. Estos pólipos interactúan de manera estrecha con algunos microorganismos llamados zooxantelas, los cuáles reciben refugio del pólipo, alimentándolo en pago, además de ser responsables del color del coral. Para funcionar de manera adecuada y ser parte importante del hábitat de una gran variedad de especies marinas, esta relación necesita de aguas transparentes, así como condiciones químicas y de temperatura muy particulares, las cuáles han cambiado en los últimos años. Bajo esta presión ambiental, causada en parte por el aumento rápido en las temperaturas globales gracias a la actividad humana, se encuentran los corales que forman -a lo largo de 2,500 km- el Arrecife de la Gran Barrera en Australia y los que encontramos en las aguas del Caribe. Para ambos casos, se calcula que, de continuar estas condiciones, la tasa de extinción se incrementará al punto de que en algunas décadas solo podremos ver sus cadáveres en el mar, con un efecto bastante negativo sobre miles de especies que dependen de estos pequeños seres.



**Figura 6.** Lago El Carmen, Cuenca Oriental, durante la temporada de secas (fotografía: Omar A. Barrera-Moreno).



**Figura 7.** Microbialitos en el lago Alchichica, Cuenca Oriental (fotografía: Omar A. Barrera-Moreno).

Con el ejemplo anterior queda claro que lo único seguro al nacer es que un día vamos a encontrarnos con la muerte. Esta sentencia irrevocable incluye a cada ser sobre la Tierra y al planeta mismo, dentro de unos miles de millones de años. Pero no se preocupen, para ese momento seguramente los humanos ya seremos cosa del pasado. Se calcula que la vida surgió hace unos 3,500 millones de años, desde entonces, a partir de un ancestro común a todos los organismos actuales, se han originado y perdido millones de especies de distintas formas, tamaños y características. A veces la Tierra está rebotante de vida, pero en algunas ocasiones, al menos en cinco según los registros, diferentes acontecimientos la han dejado con bajas realmente considerables. Pero la vida encuentra de nuevo su camino, los sobrevivientes generan nuevas formas y linajes que se adaptan ante las circunstancias y sobreviven exitosamente, al menos hasta la siguiente gran prueba. De esta manera, si las condiciones en el planeta son relativamente estables en periodos de tiempo largos, una especie -después de originarse- tiene un periodo de vida de cientos de miles de años o más, tras los cuales se extingue o evoluciona dando lugar a otras variedades. En la historia de las grandes extinciones, las condiciones ambientales de la Tierra han cambiado de manera rápida y drástica, tanto que no permitieron que gran parte de los organismos pudieran adaptarse, dejando paso a otros linajes que bajo las condiciones anteriores no necesariamente eran los más favorecidos por la selección natural.

Participando como un importante agente que modifica el escenario a su alrededor, como los lagos que visitamos hoy, parece ser que, a lo largo de 200,000 años y en especial en los últimos 200, el humano ha acelerado el cambio en las condiciones ambientales, así como en las distribuciones, en la competencia y en la tasa de extinción de muchas especies que de manera natural tendrían que seguir entre nosotros, al menos un rato más ¿Hemos causado estragos irreparables en la naturaleza? Hasta cierto punto no podemos negarlo, pero a su favor, la vida seguirá en el planeta después de nosotros, de nuestro egoísmo y malas decisiones. Sin embargo, creo que todavía podemos tomar medidas que permitan que el efecto de nuestra presencia aquí tenga un impacto menor sobre los procesos naturales y sobre los millones de especies con los que compartimos tiempo y espacio, y que como dije anteriormente, son tan valiosas como nosotros. Por otro lado ¿tiene caso seguir invirtiendo dinero para salvar a la vaquita marina, al lobo mexicano, a los carismáticos ajolotes de Xochimilco, o a los no tan famosos ajolotes de especie que vive Atexcac y Alchichica, a pesar de que sus poblaciones naturales son tan bajas? La Dra. Escalante responde: "todas las especies son importantes para ser conservadas, en los casos mencionados y otros más, hay que evaluar la historia natural de la especie, no para saber si vale la pena conservarla o no, más bien para entender cómo operan los procesos evolutivos, así como los factores antropogénicos. En un momento dado, hay

que dejar que la naturaleza siga su curso, con esto no quiero decir que no hay que conservar. Sin embargo, se ha demostrado que las acciones encaminadas para conservar una sola especie dejan desprotegidas a otras. Las tendencias actuales en la Biogeografía de la conservación intentan proteger los patrones y procesos de distribución que presentan muchas especies, y la biodiversidad total en su conjunto”.

¿Importa más una especie que otra? o ¿por qué nos gustan más unas en particular? En los lagos que he mencionado, estudio unos pequeños organismos zooplanctónicos llamados copépodos (Figura 8), nada agraciados ni con cara linda, vaya, apenas tienen un ojo -que ni es un ojo verdadero-, pero cuentan con más de 10 mil especies viviendo en ríos, lagos y mares, como parásitos o en vida libre (Reid y Williamson, 2010). Son muy importantes en las redes tróficas ya que conectan a los productores primarios con los consumidores secundarios, además, es bastante interesante tratar de explicar su historia evolutiva, así como las adaptaciones que han desarrollado desde su origen en el mar y su posterior colonización en ambientes de aguas continentales. A pesar de lo anterior, no abundamos los copepodólogos en el mundo. Cuando inicia un semestre y le pregunto a mis alumnos a qué tipo de organismos quieren dedicar sus investigaciones, no ha habido uno solo que los mencione. No son animales que uno se preocuparía por conservar o usarlos como bandera para que salvemos los cuerpos de agua donde se encuentran. Sin embargo, a todos nos encantan los pandas, los osos polares y no hay quien no se preocupe por las últimas diez vaquitas marinas que existen. Todos nos emocionamos con documentales de tiburones, gorilas, mariposas monarca y ballenas. En general, conocemos la importancia de las abejas, colibríes y murciélagos polinizadores. Nos da ternura la cara feliz de los ajolotes, la risa de los delfines o un koala mamá cuidando a su cría. Los ejemplos anteriores son especies “carismáticas” y en algunos casos funcionan como especies sombrilla, un término bastante útil para las políticas de conservación y sensibilización de la sociedad pues, se piensa que, al conservarlas, indirectamente cuidaríamos de otras especies del mismo hábitat que no son tan lindas, como mis copépodos, que claramente también podrían estar en peligro de extinción. Sin embargo, la Dra. Escalante considera que este tipo de estrategias no son suficientes “fueron muy exitosas en los años 1980’s, pero ya están en desuso. Se pensaba que tener a una especie emblemática podría permitir conservar toda la biodiversidad de un sitio, sin embargo, estas estrategias no permiten conservarla en sus diferentes niveles (taxonómico, genético de ecosistemas) ni todos los procesos. Aunque sí son útiles para obtener financiamiento”.



**Figura 8.** *Cletocamptus gomezi*, un copépodo harpacticóide endémico del lago Alchichica (fotografía: Omar A. Barrera-Moreno).

Entonces ¿la siguiente gran extinción es totalmente nuestra culpa? Como ya lo he mencionado, las extinciones a escalas planetarias son procesos naturales, azarosos y relativamente rápidos. No podemos negar que las modificaciones a nuestro entorno, el consumo desmedido de recursos, el aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub>, la tala de bosques, los incendios forestales, el cambio de uso de suelo para agricultura o ganadería, la contaminación de cuerpos de agua y políticas ambientales que no ven más allá de sexenios, son causantes de muchas extinciones nada naturales. Ahora, si bien somos culpables del aumento rápido de las temperaturas en los últimos años, también es cierto que estamos en una época en la que las temperaturas son relativamente altas de manera natural, así como hace 18 mil años las condiciones eran particularmente frías, y antes calientes de nuevo, en un ciclo en el que la vida se adapta o se extingue. ¿Qué tanto somos responsables del cambio climático global? “la Tierra siempre ha estado sujeta a estos ciclos de enfriamiento-calentamiento. El problema es que este aumento de temperatura en un corto tiempo es debido a la acción del hombre. Suponemos que esto se debe a que las emisiones de dióxido de carbono están generando el efecto invernadero que impide que la radiación solar salga de la Tierra, manteniendo el calor en la superficie terrestre. Una parte del calentamiento es un fenómeno natural, pero hay otra de la que somos responsables, sobre todo a partir de la revolución industrial” comenta la Dra. Escalante.

La Tierra y la vida dentro de ella evolucionan juntas, y lo seguirán haciendo con o sin nosotros interviniendo. Ahora nos preocupamos por las abejas y qué pasará con todas las plantas que polinizan -muchas de gran importancia para nosotros- si estos insectos llegaran a extinguirse por algo que nosotros provocamos, como la pérdida de hábitats, el uso de fertilizantes y plaguicidas, el aumento en las temperaturas, y las ya mencionadas especies invasoras.



**Figura 9.** Lago la Preciosa, Cuenta Oriental (fotografía: Omar A. Barrera-Moreno).

Es importante señalar que hay 20 mil especies de abejas en el mundo, no solo la melífera, africana y melipona. Se calcula que el 10% de ellas está en peligro de extinción ¡2,000! Si este porcentaje se perdiera en el corto plazo, ¿qué pasará? Las relaciones de planta-polinizador son tan estrechas que esperar a que lleguen otros polinizadores o hacerlo nosotros de manera manual parece imposible. Además de la pérdida de biodiversidad, debemos pensar en los costos económicos de perder cultivos o el aumento en precios de cosas tan comunes como una cerveza o una camisa de algodón. La vida sigue su camino, sin embargo, lo más sensato es pensar en medidas que permitan preservar a este linaje completo el mayor tiempo posible, por lo que nos conviene de muchas maneras conservar los ambientes y los recursos que pueden proveernos.

A veces, estando en medio del lago, manejando la lancha y colectando organismos que después voy a ver en el microscopio, creo que es muy fácil ser feliz, a mi alrededor hay personas que quiero y me quieren, tengo salud, hago lo que me gusta. Pero al volver a la ciudad y sentir la contaminación en el aire, el ruido, la basura y las noticias de guerras, devaluaciones e incendios forestales, la utopía en mi mente se desvanece un poco ¿todavía tenemos oportunidad como humanidad? ¿estamos a tiempo de hacer algo por remediar la situación ambiental que hemos provocado? Parece que La Dra. Escalante es más optimista que yo “Todavía no es tan tarde. Pero la

conservación es una ciencia de crisis. Si no hubiera una crisis ambiental, del agua y de extinción de especies, no habría una ciencia de la conservación. Debemos que actuar ya, con la información que tenemos. No podemos esperar más. No nos queda mucho tiempo si quisiéramos que nuestros hijos y nietos pudieran todavía conocer una selva, un lago o un desierto en su estado natural, o conocer a las especies donde viven”. Se ha pronosticado que esta crisis terminará por afectar de manera irreversible a la biodiversidad en el año 2050 ¿Cómo se puede proponer una fecha en particular? La especialista lo explica “Esto se hace basado en dos cosas: las observaciones presentes y del pasado. La extinción es un proceso natural. El problema es que cuando comparamos el número de especies que se extinguen por unidad de tiempo en el presente, respecto al pasado, tenemos que la tasa de extinción (la velocidad a la que ocurre) es mucho más alta ahora. Nosotros hacemos curvas de estimaciones de cuántas especies se van extinguiendo y así podemos extrapolar hacia el futuro. Ahí es donde las predicciones son muy alarmantes, si seguimos la misma tendencia se estima que el 2050 será el punto de quiebre. Ahora, no es que ese año ya no vaya a haber especies, pero creo que los patrones van a estar tan modificados que algunos grupos sí se van a perderse completamente. Otros no, quizá los insectos, que han constituido durante millones de años un gran porcentaje de la biodiversidad, probablemente van

a seguir existiendo. Pero gran parte de otros grupos taxonómicos como los mamíferos, probablemente se extinguirán”.

Pienso en el año 2082. Un día muy caluroso de julio, el desayuno de mi cumpleaños 100 consiste en una masa grumosa sin sabor, pero con los nutrientes necesarios ¿en ese momento extrañaré el sabor del jitomate que odio ahora y que seguramente en esa fecha no existirá debido a que la especie de abeja que lo polinizaba se extinguió hace mucho? Pensar a largo plazo es algo que a los humanos no se nos da de la mejor manera. ¿Cuáles serán las consecuencias de esta sexta extinción? ¿cómo modificará la vida humana? La Dra. Escalante confirma mi sospecha “creo que lo primero que vamos a resentir va a ser la pérdida de diversidad ambiental y de especies, así como de la variabilidad genética, en un proceso que podemos denominar “homogeneización biótica” en el que quizá todos los alimentos y animales van a ser de un mismo tipo, sin variedades, y los ambientes también serán muy similares” finaliza.

Antes de partir de regreso a la ciudad, mientras esperaba sentado a la orilla de La Preciosa, viendo el Pico de Orizaba al fondo (Figura 9) y a la lancha acercándose lentamente con los alumnos y los frascos llenos del arrastre de zooplancton, rasqué con curiosidad un trozo de pared a un metro de altura sobre el nivel del agua. Ahí, quitando con cuidado la arena, encontré conchas secas de caracoles acuáticos, de unos pocos milímetros

de ancho, las observé detenidamente, puse un par sobre mi mano y el viento leve se las llevo sin problema ¿Hace cuánto tiempo vivieron estos organismos bajo el agua antes de secarse y perderse entre kilos de sedimento acumulados durante años? ¿Qué otras especies había en ese momento en el lugar y cómo interactuaban? Comparado con la historia de la Tierra y todo lo que ha ocurrido desde su formación, el paso de nuestra especie es casi insignificante pero no por ello pasará desapercibido. En un par de millones de años, nuestra huella podrá ser identificada en unos milímetros de sedimentos que contengan los restos de todos nuestros libros, edificios, tecnología y basura. Llegará el momento de extinguirnos como especie, pero que eso suceda en tres o trescientas generaciones y que en el proceso arrastremos a otras especies depende en gran medida de cambios en los hábitos de consumo y en un mejor aprovechamiento de los recursos naturales, en especial del agua, como la que llena todavía cada lago de la Cuenca Oriental, y donde se encuentra una composición de zooplancton única que vale la pena conservar por su papel ecológico en estos cuerpos de agua y por su valor como una rama más del árbol de la vida. Tal vez cuando los arqueólogos del futuro tengan curiosidad por estudiar los restos de nuestra civilización, tratarán de reconstruir el pasado y se preguntarán sobre nuestro papel en este momento de la historia, como nosotros hacemos ahora con los caracoles secos de La Preciosa o los amonites que existieron hace millones de años, creo que hay que dejarles una fina capa de tierra que valga la pena analizar.



- Alcocer, J. (ed.). 2019. *Lago Alchichica: Una joya de biodiversidad*. UNAM, FES Iztacala: Conabio. México. 244 p.
- Arita, H. 2011. *Del bestiario*. Antologías de la revista ciencias Vol. 1. Siglo XXI: UNAM, Facultad de Ciencias. México. 216 p.
- Arredondo, J.L. 1995. *Los axalapascos de la Cuenca Oriental, Puebla*. En: De la Lanza-Espino, G. y García-Calderón, J. L. (Eds.). *Lagos y Presas de México*. Centro de Ecología y Desarrollo. México, D. F. pp. 65-87.
- Ceballos, G., P.R. Ehrlich. 2023. Mutilation of the tree of life via mass extinction of animal genera. *PNAS* 120(39): e2306987120.
- Elías Gutiérrez, M., M. Steinitz Kannan, E. Suárez Morales, C. López. 2023. *Mastigodiptomus galapagoensis* n. sp. (Crustacea: Copepoda: Diaptomidae), a possibly extinct copepod from a cráter lake of the Galápagos archipelago. *PeerJ*. 11:1-18. E15807.
- Kolbert, E. 2015. *La sexta extinción, una historia nada natural*. Editorial Crítica, España. 344 p.
- Mendoza, R., P. Koleff (coords.). 2014. *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 555 p.
- Mora, C., D.P. Titterson, S. Adl, A.G.B. Simpson, B. Worm. 2011. How Many Species Are There on Earth and in the Ocean? *PLoS Biol.* 9(8): e1001127.
- Reid, J.W., C.E. Williamson. 2010. Copepoda. En J. H. Thorp y A.P. Covich (Eds.), *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. 3ª ed. Academic Press, Inc., San Diego. p. 829-899.
- Thorp, J.H., D.C. Rogers (eds.). 2015. *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates, Volume 1: Ecology and General Biology*. Freshwater Invertebrates. 4ª ed. Elsevier, 1148 p.