



The Biologist (Lima)



COMMENTARY / COMENTARIO

THE HEALTH OF FISHES IN THE URBAN LAGOON OF ILUSIONES, TABASCO, MÉXICO

LA SALUD DE LOS PECES EN LA LAGUNA URBANA DE LAS ILUSIONES, TABASCO, MÉXICO

Lenin Arias-Rodríguez^{1*}, Adriana Osorio-Pérez¹ & Javier Hernández-Guzmán¹

¹ División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), Villahermosa, C.P. 86150, Tabasco, México.

* Corresponding author: leninariasrodriguez@hotmail.com

Lenin Arias-Rodríguez:  <https://orcid.org/0000-0002-8025-5569>

Adriana Osorio-Pérez:  <http://orcid.org/0000-0002-6757-6827>

Javier Hernández-Guzmán:  <https://orcid.org/0000-0002-8001-5178>

ABSTRACT

Water is an important element for almost all biological processes and several living organisms like fishes, have their habitat in such a kind of aquatic ecosystem. In the city of Villahermosa, Tabasco Mexico is located the Lagoon of las Ilusiones, which is the habitat of several taxonomic groups like fishes. Unfortunately, the imminent pollution of the water body has been documented and recently evaluated the water's well-being by cytological and genetics studies through the use of naïve fish species which are common. The results of several studies show the terrible conditions of water quality and the effects it manifests on the hematopoietic genetic/cellular components; due to the presence of intracellular damage and various atypical levels of chromosome counts.

Keywords: cell damage – Fishes – lagoon – pollution

RESUMEN

El agua es un componente importante para casi todos los procesos biológicos y muchos organismos vivos como los peces, tienen su hábitat en tales ecosistemas acuáticos. En la Ciudad de Villahermosa Tabasco en México, se ubica la Laguna de las Ilusiones que es el hábitat de varios grupos taxonómicos como los peces. Desafortunadamente, la inminente contaminación del cuerpo lagunar ha sido documentado y actualmente las condiciones de salud de sus aguas, está siendo valorada con estudios de citología y genética empleando algunas especies nativas de peces que allí habitan. Los resultados de varios estudios evidencian, las pésimas condiciones de la calidad del agua, los efectos que manifiesta

Este artículo es publicado por la revista *The Biologist (Lima)* de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.

DOI: <https://doi.org/10.62430/rtrb20242221859>



sobre los componentes genéticos/celulares hematopoyéticos; debido a la presencia de daño intracelular y diversos niveles atípicos de conteos cromosómicos.

Palabras clave: contaminación – daño celular – laguna – peces

Una de las joyas naturales de la Ciudad de Villahermosa, Capital del estado de Tabasco en México es la Laguna urbana de las Ilusiones, cuyo nombre evoca un lugar de ensueño, y alberga una gran biodiversidad de organismos acuáticos y terrestres. Entre sus habitantes acuáticos tenemos a los microorganismos, camarones, caracoles, aves, iguanas, lagartijas, lagartos, manatíes (SERNAPAM, 2015); los peces juegan un papel crucial en la cadena alimenticia y el equilibrio ecológico (Figura 1).

El equilibrio de los ecosistemas naturales, como es el caso de la citada laguna urbana de las Ilusiones, son tesoros invaluable que sustentan la vida en nuestro planeta. Sin embargo, a medida que avanzamos como sociedad en términos de crecimiento antropogénico, dejamos huellas o consecuencias que no siempre favorecen el equilibrio natural del ambiente (Cámara & Santero-Sánchez, 2019). En dicho sentido, la contaminación de los cuerpos de agua es una creciente preocupación ambiental, con serias consecuencias en la salud, la genética y fisiología de todos los organismos vivos, incluyendo a los peces y a la salud humana, especialmente para las comunidades que dependen de la pesca como fuente principal de sustento y alimentación (Cámara & Santero-Sánchez, 2019; Mustafa *et al.*, 2024).

En los ecosistemas naturales, siempre han tenido la idea de que estos de modo natural o silvestre, mantienen las mejores condiciones del hábitat en el que los organismos están interactuando con la biosfera, es decir, con el resto de organismos con los cuales conviven. Entre ellos podemos encontrar, aquella biodiversidad que se encuentran en los ecosistemas terrestres, acuáticos o subterráneos; y así alternativamente cada tipo de organismo en correspondencia con el tipo de hábitat en el cual están conviviendo (Mejía-Ortíz *et al.*, 2021). Desafortunadamente, dado el tipo o grado de desarrollo que tienen las sociedades humanas actuales, se ha encontrado una relación recíproca, básicamente por los tipos de desechos que estas sociedades están depurando en sus actividades cotidianas (Ricárdez-De la Cruz *et al.*, 2016); por ejemplo, en las sociedades humanas rurales, donde el acceso a bienes y servicios, está restringido por

diversas razones de tipo geográfico, económico, social y político, se tiene la idea errónea de que estas viven en condiciones naturales, y el equilibrio que estas mantienen con los ecosistemas naturales es armonioso. Sin embargo, la realidad actual es otra, pues la producción pecuaria (agrícola, ganadera, silvícola, etc.) está altamente ligada al empleo de insumos para el control de plagas, como insectos y maleza, así también, a la deforestación para el establecimiento de monocultivos (Angon *et al.*, 2023; Abdollahzadeh *et al.*, 2024) (Figura 1).

Por otro lado, en las sociedades humanas en las cuales se ha permitido el desarrollo urbano e industrial, se ha impulsado toda clase de beneficios en los cuales los habitantes están inmersos. Estos beneficios; se podrían entender como todas aquellas facilidades que garantizan un mejor bienestar, tan sólo para los humanos. Ese bienestar realmente está vinculado al empleo de bienes y servicios, que desafortunadamente han dado pauta a la generación de desechos de tipo antropogénico, como sería el caso de las aguas residuales, entre otros desechos orgánicos e inorgánicos (Gayoso-Morales & González-Pérez, 2021). Tales desechos, no son dispuestos o colocados en los espacios en los cuales deberían estar, con el fin de evitar que estos pudiesen tener algún tipo de perjuicio, no sólo para los propios humanos, sino para todos aquellos organismos con los cuales conviven. En tal sentido, involucra todos aquellos organismos que están conviviendo en el mismo ecosistema, por dar un ejemplo, todos los organismos acuáticos de una laguna continental, desde plantas, animales y microorganismos (Flores *et al.*, 2018; Estrella-Jordan *et al.*, 2021). En México, no ha sido la excepción en términos de desarrollo y todas aquellas necesidades de las sociedades modernas. En el estado de Tabasco, específicamente en la ciudad de Villahermosa, capital del estado, tenemos como ejemplo contrastante del desarrollo urbano y la contaminación acuática, representada en la Laguna urbana de las Ilusiones, caso del que estaremos hablando en este manuscrito, específicamente todo aquello relacionado con la salud de los peces que allí habitan.



Figura. 1. Panorama natural de los márgenes de la Laguna urbana de las Ilusiones en Villahermosa Tabasco (A) y un predio rural en deforestación masiva por cambio de cultivo en la comarca ganadera y agrícola de la Villa Luis Gil Pérez, municipio del Centro, Tabasco, México (B).

La Calidad y Salud del Agua

El agua, es un componente natural muy abundante en el estado de Tabasco y por ello se ha considerado que el estado alberga alrededor del 30% de los recursos hidrológicos de México. Dicha particularidad es permitida por las escorrentías de agua que traen los ríos Grijalva y Usumacinta desde el vecino estado de Chiapas y de Guatemala, respectivamente. Las masas de agua acarreadas, han dado la posibilidad de crear a lo largo de su recorrido a lagunas, arroyos o riachuelos y con ello, toda una inmensa biodiversidad de organismos asociados al ambiente acuático, terrestre y subterráneo (González-Herrera *et al.*, 2022). Lamentablemente, a lo largo de su recorrido las aguas atraviesan áreas naturales, comunidades rurales y urbanas, arrastrando con ello componentes naturales y otros de origen no natural (xenobióticos), que modifican lo que en términos químicos y biológicos representa el agua, un componente limpio y vital (Espina & Vanegas, 2005; Ahmad *et al.*, 2024). No cabe duda, que los cambios en la calidad natural del agua o la contaminación del agua, tienen efectos negativos y desastrosos para todos los organismos que de ella dependen; por ejemplo, en la salud y sobrevivencia de los peces como son las mojarra (de la familia Cichlidae como *Petenia splendida* (Günther, 1862), *Mayaheros urophthalmus* (Günther, 1862), *Vieja melanura* (Günther, 1862), etc), sardinas (de la familia Characidae como *Astyanax aeneus* (Günther, 1860), etc), topotes (de la familia Poeciliidae como *Poecilia mexicana* (Steindachner, 1863), *Gambusia sexradiata* (Hubbs, 1936) etc), robalos (de la familia Centropomidae como *Centropomus parallelus* Poey, 1860, *C. undecimalis* (Bloch, 1792), etc) y juiles *Rhamdia* es un género zoológico de peces en la familia de las Pimelodidae. Efectivamente, la salud, el bienestar y la propia sobrevivencia de los organismos acuáticos, es un reflejo directo de la calidad del agua y en los cuales están involucrados factores como la temperatura, el pH, los niveles de oxígeno disuelto y los contaminantes orgánicos/inorgánicos (Espina & Vanegas, 2005; Mustafa *et al.*, 2024).

Desafortunadamente, el aumento de los desechos antropogénicos o aquellos compuestos generados por las actividades humanas, representan una amenaza muy seria y constante para estos sistemas acuáticos. Así tenemos, como evidencia basada en estudios recientes el estado de salud del cuerpo lagunar urbano de Las Ilusiones en Villahermosa, Tabasco, que ha sido ampliamente ignorado. Un esfuerzo serio por saber el estado de salud de las aguas de la laguna de las Ilusiones, fue mediante el estudio realizado por Hansen *et al.* (2007) y Ricárdez-De la Cruz *et al.* (2016) quienes exponen que la calidad del

agua en este ecosistema urbano no cumple con diversos parámetros de la normativa nacional e internacional, especialmente en el Vaso Cencali, que es una de las zonas acuáticas de la citada laguna de Las Ilusiones. Esta situación pone en riesgo la salud de la flora y fauna de la laguna, así como, la de las personas que dependen de ella para actividades recreativas y de pesca para alimentarse. La contaminación del agua, se debe principalmente a la descarga de aguas residuales sin tratamiento y a la escorrentía de las zonas urbanas. En este contexto, resulta alarmante destacar que investigaciones como las de Hansen *et al.* (2007) y Ricárdez-De la Cruz *et al.* (2016) revelan el preocupante estado de salud de la Laguna Urbana de las Ilusiones. En dicho sentido, Hansen *et al.* (2007) evidencian la presencia en los sedimentos del Vaso Cencali de la Laguna de las Ilusiones, de altos niveles de "Contaminantes Altamente Peligrosos", como plaguicidas organoclorados (en concentraciones desde 0,009-8,98 µg/kg) como el reconocido y muy citado 4,4'-DDD, bifenilos policlorados (PCBs) (en concentraciones desde ≤15-20 µg/kg), hidrocarburos poliaromáticos (en concentraciones desde 163-0,5 µg/kg de sedimento), metales como el arsénico, bario, cadmio, cobre, plomo, zinc, mercurio, etc (en concentraciones desde 398-0,00002 µg/kg de sedimento), los cuales en algunos casos y en congruencia con los resultados de los autores (Hansen *et al.*, 2007), superan ampliamente los límites establecidos por la normativa nacional e internacional.

Efectos en la salud y el bienestar de los peces

Es indudable que la óptima calidad del agua o buena salud, de tan importante fluido, es esencial para la sobrevivencia y bienestar ecológico de los organismos que dependen de los ecosistemas acuáticos. En dicho sentido, uno de los aspectos más alarmantes de la contaminación es su capacidad para dañar los organismos vivos, es por ello que cambios importantes o fuera de lo normal en los parámetros de la calidad del agua (o contaminación del agua) y la exposición prolongada a contaminantes en el agua no solo afecta la salud y sobrevivencia de todos los organismos, incluyendo a los peces, reduciendo sus poblaciones (Dimas-Mojarro *et al.*, 2019). También, puede causar cambios perjudiciales en el material genético o ADN, lo que resulta en modificaciones en la anatomía celular y hasta la generación de mutaciones genéticas (Arce-Urbe & Olivares-Rubio, 2021). Estas mutaciones no sólo afectan la capacidad de supervivencia de los peces, sino también su capacidad de reproducción, lo que puede tener efectos espontáneos (mortandad repentina) y dev-

astadores en las poblaciones de peces a largo plazo. Los contaminantes como metales pesados, organoclorados, hidrocarburos, plásticos y productos químicos industriales pueden interferir en los sistemas endocrinos de los peces, alterar sus funciones fisiológicas y comprometer sus sistemas inmunológicos, haciéndolos más susceptibles a enfermedades. Estos cambios no solo afectan a los peces, sino que pueden tener impactos en cascada en toda la cadena alimenticia acuática y terrestre (Cámara & Santero-Sánchez, 2019; Ahmad *et al.*, 2024) (Figuras 2 y 3).

Varios estudios han demostrado, que los contaminantes presentes en el agua pueden inducir cambios genéticos en los peces, lo que podría tener efectos perjudiciales no sólo para las generaciones actuales sino también para las futuras. Estos cambios genéticos pueden resultar en una disminución de la diversidad genética, vital para la adaptación y supervivencia de las especies frente a los cambios ambientales (Belfiore & Anderson, 2001).

En congruencia con lo anterior, en el informe técnico por Arias-Rodríguez (2024), sobre el estado de salud de tres especies de peces nativos de la laguna de las Ilusiones que involucró al charal tropical o *Atherinella alvarezii* Díaz-Pardo, 1972, la mojarra boca de fuego o *Thorichthys meeki* Brind 1918 y la sardina amarilla o *Dorosoma petenense* Günther 1867, basado en estudios citológicos; reportó para la mojarra boca de fuego variación altamente significativa en los porcentajes promedio de células eritrocitarias (69,8%, 90,1% y 98,3%) y leucocitarias (1,70%, 9,89% y 30,2%), en relación con el sitio de recolecta. Tales resultados, manifiestan la alta sensibilidad que tienen las células que integran el tejido hematopoyético en relación con los escenarios que ofrece el hábitat, principalmente el de las células leucocitarias ya que se encargan de la protección somática en el caso de estar inmerso el organismo ante agentes desfavorables (Seibel *et al.*, 2021). Comparativamente, tales resultados fueron equivalentes a los reportes de Águila-Hernández (2019) y Silván-Osorio (2022) en la misma especie y sitio de estudio. Recientemente, Rivera-Díaz (2024) en especímenes de la sardina amarilla de la laguna de las Ilusiones, reportó valores atípicos en la proporción de células sanguíneas siendo equivalentes a lo publicado por Arias-Rodríguez (2024), Águila-Hernández (2019) y Silván-Osorio (2022). Las frecuencias de glóbulos rojos y blancos, son un indicador de las condiciones ambientales a las que están expuestos los organismos. La circulación y mezcla de las masas de agua, junto con sus componentes químicos, modulan estas frecuencias debido a la alta sensibilidad de las células sanguíneas a su entorno (Figura 3).

Adicionalmente, Arias-Rodríguez (2024), en su reporte señala que las células eritrocitarias de *T. meeki* muestran amplia diversidad de anomalías en la estructura extracelular e intracelular, desde pérdida de simetría, presencia de micronúcleos de ADN y células binucleadas, todas ellas en diferentes frecuencias en dependencia del sitio de estudio en la Laguna de las Ilusiones (Figura 2). En dicho sentido, Águila-Hernández (2019) y Silván-Osorio (2022), también identificaron en estudios tempranos presencia de anomalías en la estructura de las células eritrocitarias de especímenes de la mojarra boca de fuego recolectados en Laguna de las Ilusiones de la ciudad de Villahermosa en Tabasco, México. En congruencia con los hallazgos anteriores, Rivera-Díaz (2024) en la sardina amarilla *D. petenense* registró frecuencia atípica de anomalías en la estructura extracelular e intracelular de los eritrocitos de la citada especie. Los cambios en la estructura extracelular e intracelular de los eritrocitos, han sido reportados en estudios realizados “*in vivo*” con la tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758 expuesta a diferentes concentraciones de cadmio, Özkan *et al.* (2011) quienes encontraron un incremento significativo en eritrocitos con micronúcleos y diversas anomalías nucleares, incluyendo núcleos lobulados, ampollados y con muescas. Así también, Prieto *et al.* (2008), quienes constataron que la exposición a diversas concentraciones de dicromato de potasio induce una alta incidencia de daño celular en los eritrocitos de la mojarra tilapia *O. niloticus*, manifestándose en la formación de micronúcleos cuyo origen fue la ruptura del ADN nuclear. Sorprendentemente, Galarza-Hernández (2017), al estudiar juveniles de esta misma especie, registro también una frecuencia significativa de anomalías nucleares y micronúcleos en los eritrocitos junto con la baja sobrevivencia de los especímenes expuestos al ácido 2,4-diclorofenoxiacético, que es el componente principal de herbicidas agrícolas con amplio uso en México. La presencia de metales pesados y organoclorados en las aguas de la Laguna Urbana de las Ilusiones fueron reportados por Hansen *et al.* (2007), lo que indica que el origen de los hallazgos de Arias-Rodríguez (2024), Águila-Hernández (2019), Silván-Osorio (2022) y Rivera-Díaz (2024); son probablemente el resultado de la interacción negativa de los componentes que circulan en las aguas de la emblemática laguna urbana de las Ilusiones con los componentes biológicos que en ella habitan (Figura 3).

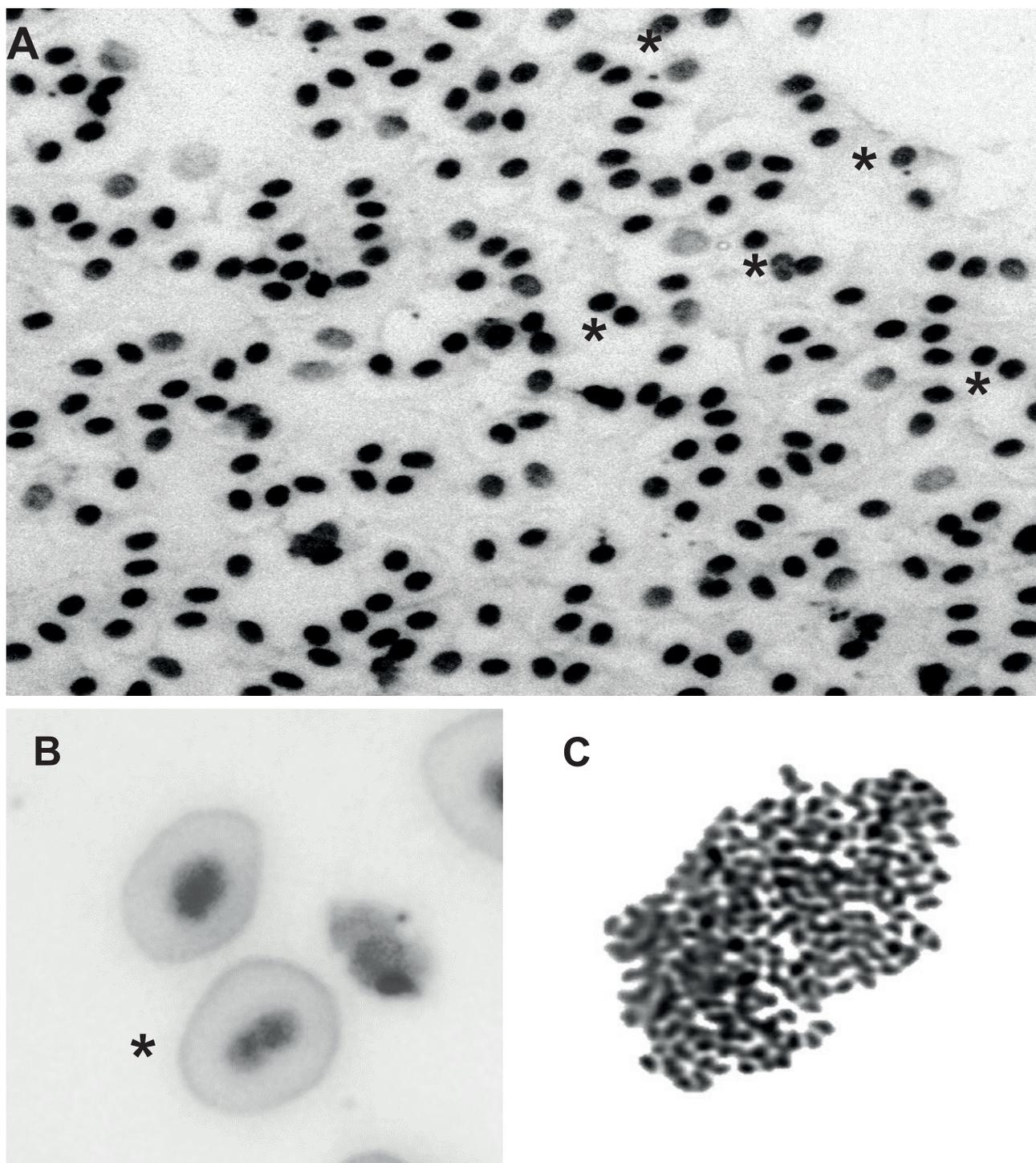


Figura. 2. Panorama típico del tejido hematopoyético que contrasta la presencia de células sanguíneas normales y anormales en la mojarra boca de fuego *T. meeki* (A), células normales y anormal binucleada en la sardina amarilla *D. petenense* (B) y metafase poliploide meiótica anormal en el charal tropical *A. alvarezii* con $6n=144$ cromosomas (C). Los asteriscos (*), muestran la anomalía celular.

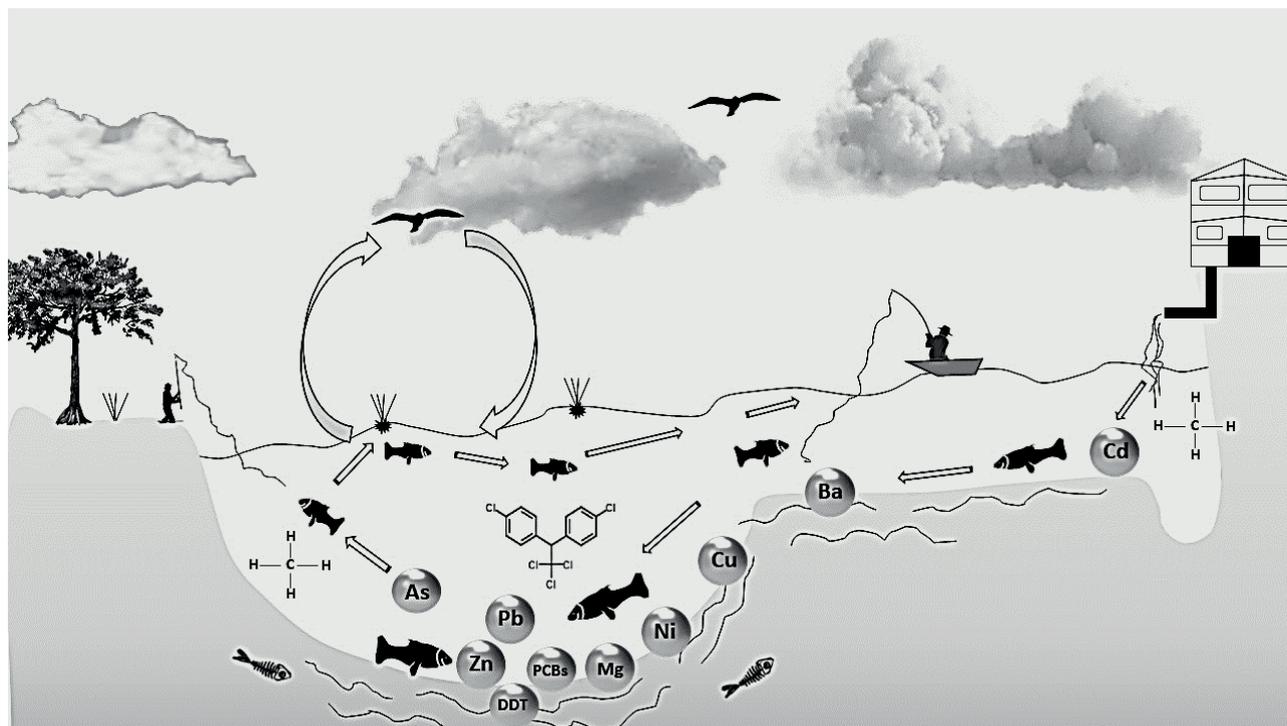


Figura. 3. Representación teórica que muestra el ingreso de contaminantes como metales pesados, hidrocarburos y organoclorados, todos de origen antropogénico a la laguna continental de las Ilusiones, y como estos contaminantes interactúan mediante bioacumulación con los organismos acuáticos-terrestres como las aves, plantas, peces y los humanos a través de la cadena alimenticia.

La poliploidía (o múltiplo del número de cromosomas) y las aneuploidias (reducción o incremento en uno o más cromosomas), son modificaciones atípicas y poco frecuentes en el número de cromosomas de los organismos eucariontes sanos. Sin embargo, cuando ciertas condiciones químicas del hábitat y del propio entorno ambiental de los organismos están alteradas, por compuestos nocivos o tóxicos como los contaminantes ambientales, como es el caso del agua de la laguna de las Ilusiones (Hansen *et al.*, 2007; Ricárdez-De la Cruz *et al.*, 2016). Se han observado alteraciones en los componentes del contenido del material genético como fue reportado por Arias-Rodríguez (2024), Hernández-Sagastume (2009), Silván-Osorio (2022) en la mojarra boca de fuego y en la sardina amarilla por Arias-Rodríguez (2024) y Rivera-Díaz (2024). Así también, en especímenes del charal tropical *A. alvarezii* y de la mojarrita azul *T. passionis* que fueron recolectados en la Laguna Urbana de las Ilusiones por Morales-García (2011) y Hernández-Sagastume (2009). Tales anomalías nucleares, son correspondientes con diversos conteos cromosómicos atípicos como son células con contenido genético triploide (3N), tetraploides (4N), pentaploides (5N), hexaploides (6N), heptaploide (7N), octaploide (8N),

nonaploide (9N), decaploide (10N), etc (xN) (Figura 2C). En acuerdo con los resultados de la presente revisión, el estado de salud del ecosistema acuático de la Laguna Urbana de las Ilusiones, es inapropiado para mantener en idoneidad todos aquellos procesos biológicos a nivel celular y genético de modo apropiado. Por lo anterior, es muy posible que se puedan estar dando mortalidades masivas de peces y otros organismos asociados al ecosistema acuático, cuyo origen no es necesariamente el decremento de la concentración de oxígeno y otros parámetros de la calidad del agua como el pH y el amonio; pero si puede ser el resultado de niveles críticos de toxinas y otros contaminantes en los órganos y tejidos de los organismos acuáticos que están sobreviviendo en constante agonía en el citado cuerpo lagunar.

Efectos en la Salud Humana

Mientras la infraestructura urbana se expande y el consumo humano incrementa, también lo hace la producción de desechos. Estos residuos, si no se gestionan adecuadamente, terminan en cuerpos de agua como

la Laguna de las Ilusiones. Los elementos tóxicos y los nutrientes excesivos generan fenómenos negativos como la eutrofización, que puede degradar la calidad de agua y afectar la supervivencia de los peces. El impacto de la contaminación del agua se extiende más allá de la vida acuática, alcanzando directamente a las comunidades humanas, en particular, aquellas que dependen de los peces como fuente principal de proteínas. A lo largo de los años, ha habido numerosos informes de comunidades pesqueras afectadas por la contaminación de sus aguas (Mesa-Pérez *et al.*, 2021). Un ejemplo particularmente inquietante involucra la acumulación de metales pesados en los cuerpos de agua dulce y marina, lo que ha resultado en peces con altos niveles de contaminantes, haciendo que su consumo no sea seguro para los humanos (Figura 3) (Bashir *et al.*, 2020; Mustafa *et al.*, 2024). La laguna urbana de las Ilusiones en la ciudad de Villahermosa Tabasco, manifiesta de modo alarmante indicadores de contaminación (Villanueva & Botello, 1992; Van-Afferden *et al.*, 2008; Ricárdez-De la Cruz *et al.*, 2016; Flores *et al.*, 2018; Águila-Hernández, 2019; Silvan-Osorio, 2022; Arias-Rodriguez, 2024), y, debido a los niveles altos de hidrocarburos poliaromáticos (HPAs) y metales pesados potencialmente tóxicos, con concentraciones que superan los límites establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-252-SSA1-2011 (2011), la Guía Provisional de Calidad del Sedimento (por sus siglas en inglés, Interim Sediment Quality Guideline:ISQG) y el nivel de efecto probable (por sus siglas en inglés, Probable Effect Level:PEL), y la US Environmental Protection Agency (1997) (Hansen *et al.*, 2007). Estos contaminantes por metales pesados (Alengebawy *et al.*, 2021; Argumedo, 2021; Mesa-Pérez *et al.*, 2021) y otros como el fenantreno y el mercurio, representan una amenaza para la salud del ecosistema y pueden bioacumularse en la cadena trófica (Argumedo, 2021; Mesa-Pérez *et al.*, 2021) (Figura 3). Lo anterior es preocupante para las comunidades residentes a los alrededores de la laguna, ya que pueden enfrentarse a riesgos para la salud y también a desafíos económicos (Alengebawy *et al.*, 2021), debido a que la pesca, es una fuente principal de ingresos y sustento, que se ve drásticamente afectada debido a la falta de oportunidades laborales. El consumo de peces contaminados puede exponer a las personas a toxinas y metales pesados como el mercurio (Argumedo, 2021), que se acumulan en el organismo a través de la dieta y representan riesgos significativos para la salud, incluyendo enfermedades neurológicas y disminución de la función cognitiva, entre otros (Londoño-Franco *et al.*, 2016).

Hacia el desarrollo sostenible y conservación

Ante este escenario, es imperativo implementar medidas de conservación y tratamiento de aguas residuales, así como de fomentar prácticas sostenibles en los negocios y vecindarios cercanos a los márgenes de la Laguna Urbana de las Ilusiones en la Ciudad de Villahermosa, Tabasco. La educación sobre los riesgos de la contaminación y el establecimiento de regulaciones más estrictas, son pasos cruciales hacia la protección a largo plazo de nuestros recursos hídricos y la salud de las poblaciones dependientes de estos. Como población global, debemos asumir un papel activo en la reducción de la contaminación y apoyar las iniciativas que buscan restaurar y proteger nuestros cuerpos de agua de tipo urbanos, rurales y silvestres, garantizando así la salud y bienestar de todas las formas de vida, incluidas las nuestras. Es nuestra responsabilidad como sociedad, adoptar estrategias de desarrollo sostenible que minimicen el impacto ambiental y promuevan la conservación de ecosistemas como la Laguna de las Ilusiones. Esto incluye no solo políticas de manejo de residuos y agua mediante prácticas de responsabilidad de las instituciones ambientales; sino también, una conciencia colectiva sobre las repercusiones de nuestras acciones. La riqueza de vida bajo las aguas de la Laguna de las Ilusiones, es un indicador de la salud ambiental de la región y, a una escala mayor, de nuestro comportamiento hacia el medio ambiente. Para preservar este hábitat esencial y asegurar una convivencia armónica en nuestra biosfera, debemos actuar con diligencia y respeto por la naturaleza que nos rodea.

Aspectos éticos: Los autores garantizan el cumplimiento de todas las normativas éticas nacionales e internacionales.

Author contributions: CRediT (Contributor Roles Taxonomy)

LAR = Lenin Arias-Rodriguez

AOP = Adriana Osorio-Pérez

JHG = Javier Hernández-Guzmán

Conceptualization: LAR, AOP, JHG

Data curation: LAR, AOP, JHG

Formal Analysis: LAR, AOP, JHG

Funding acquisition: LAR

Investigation: LAR, AOP, JHG

Methodology: LAR, AOP, JHG

Project administration: LAR

Resources: LAR

Software: LAR, AOP, JHG

Supervision: LAR, AOP, JHG

Validation: LAR, AOP, JHG

Visualization: LAR, AOP, JHG

Writing – original draft: LAR, AOP, JHG

Writing – review & editing: LAR, AOP, JHG

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento parcial otorgado por el H. Ayuntamiento del municipio del Centro, Tabasco y a la UJAT por todas las facilidades para el desarrollo del proyecto. JHG y AOP agradecen profundamente el apoyo otorgado por el CONAHCYT para el desarrollo de los estudios de doctorado y maestría respectivamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdollahzadeh, G., Damalas, C.A., & Sharifzadeh, M.S. (2024). Integrated pest management adoption among citrus growers in Iran: an application of the protection motivation theory. *Pest Management Science*, 80, 6287-6297.
- Águila-Hernández, M. (2019). *Efectos del Ecosistema de la Laguna de las Ilusiones Sobre las Células Sanguíneas de la Mojarra Thorichthys meeki*. (Tesis de Licenciatura en Gestión Ambiental, Universidad Alfa y Omega-División Académica de Ciencias Biológicas-UJAT).
- Ahmad, Md.F., Ahmad, F.A., Alsayegh, A.A., Zeyauallah, M., AlShahrani, A.M., Muzammil, K., Saati, A.A., Wahab, S., Elbendary, E.Y., Kambal, N., Abdelrahman, M.H., & Hussain, S. (2024). Pesticides impacts on human health and the environment with their mechanisms of action and possible countermeasures. *Helivon*, 10, 1-26.
- Angon, P.B., Mondal, S., M., Jahan, I., Datto, M., Antu, U.B., Ayshi, F.J., & Islam, M.S. (2023). Integrated pest management (IPM) in agriculture and its role in maintaining ecological balance and biodiversity. *Advances in Agriculture*, 2023, 1-19.
- Alengebawy, A., Abdelkhalek, S.T., Qureshi, S.R., & Wang, M-Q. (2021). Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological Risks and Human Health Implications. *Toxics*, 9, 1-33.
- Arce-Urbe, E., & Olivares-Rubio, H.F. (2021). Contaminantes y su efecto en el comportamiento de peces cíclidos. *Inventio*, 17, 1-6.
- Argumedo, C.D. (2021). Bioconcentración de metales pesados (Zn, Hg, Pb) en tejidos de *Ariopsis felis* y *Diplodus annularis* en el río Ranchería, Norte de Colombia. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 6, 124-136.
- Arias-Rodriguez, L. (2024). *La salud de los peces de la Laguna urbana de las Ilusiones, mediante estudios básicos de citología y citogenética*. Informe de proyecto de vinculación e investigación al H. Ayuntamiento del municipio del Centro, Tabasco, México. División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Bashir, I., Lone, F.A., Bhat, R.A., Mir, S.A., Dar, Z.A., & Dar, S.A. (2020). Concerns and threats of contamination on aquatic ecosystems. *Bioremediation and Biotechnology*, 27, 1-26.
- Belfiore, N.M., & Anderson, S.L. (2001). Effects of contaminants on genetic patterns in aquatic organisms: a review. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 489, 97-122.
- Cámara, A., & Santero-Sánchez, R. (2019). Economic, social, and environmental impact of a sustainable fisheries model in Spain. *Sustainability*, 11, 1-16.
- Dimas-Mojarro, J.J., Ortega-Ramírez, G.O., & Dimas-García, D.L. (2019). Metales pesados en la laguna de Tres Palos con impacto en la fauna acuática y en la sociedad, (Acapulco, Guerrero). *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 10, 31-52.
- Estrella-Jordan, B.A., Ruiz-Reyes, C.I., Lango-Reynoso, F., & Castañeda-Chávez, M.R. (2021). De los macro a los microplásticos: Un contaminante emergente. *Impluvium*, 17, 34-40.
- Espina, S., & Vanegas, C. (2005). Ecotoxicología y contaminación. In: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2^{da} Edición. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología. pp. 79-120.

- Flores, C., Del Ángel, E., Frías, D., & Gómez, A. (2018). Evaluación de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en agua y sedimento superficial de la Laguna de las Ilusiones, Tabasco, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 9, 39-57.
- Galarza-Hernández, L. (2017). *Efectos del ácido 2,4-diclorofenoxiacético sobre la sobrevivencia y las células sanguíneas de juveniles de la tilapia Oreochromis niloticus*. (Tesis de Licenciatura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. Villahermosa, Tabasco, México).
- Gayoso-Morales, M.A., & González-Pérez, B.K. (2021). Contaminantes emergentes y su relación con el ambiente. *Impluvium*, 17, 28-33.
- González-Herrera, R., Cámara-Yamá, I., & Sánchez-Y Pinto, I. (2022). Hidrodinámica regional de los ríos, Tabasco, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 74, 1-15.
- Hansen, A., Afferden, M., & Torres-Bejarano, F. (2007). Saneamiento del Vaso Cencali, Villahermosa, Tabasco. I. Contaminación y reúso de sedimentos. *Ingeniería Hidráulica en México*, 22, 87-102.
- Hernández-Sagastume, M.A. (2009). *Preparaciones cromosómicas en organismos acuáticos (Cariotipo de Thorichthys pisonis) en el Laboratorio de Acuicultura, División Biológica de la Universidad de Juárez Autónoma de Tabasco, en Villahermosa, Tabasco, México*. (Informe final técnico en acuicultura). Universidad de San Carlos de Guatemala Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, Guatemala.
- Londoño-Franco, L.F., Londoño-Muñoz, P.T., & Muñoz-García, F.G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14, 145-153.
- Mejía-Ortiz, L.M., Sprouse, P., Tejeda-Mazariegos, J.C., Valladarez, J., Frausto-Martínez, O., Collantes Chávez-Costa, A.L., Ruíz-Cancino, G., & Yáñez, G. (2021). Tropical subterranean ecosystems in Mexico, Guatemala and Belize: A review of aquatic biodiversity and their ecological aspects. *Natural History and Ecology of Mexico and Central America*, 2021, 97694.
- Mesa-Pérez, M.A., Díaz-Rizo, O., García-Acosta, H., Alarcón-Santos, O.A., Tavella, M.J., Bagué, D., Sánchez-Pérez, J.M., Guerrero Domínguez, L., Hernández-Rodriguez, D., & Díaz Almeida, C.M. (2021). Heavy metals bioaccumulation and risk estimation in edible freshwater fish from Pedroso reservoir (Mayabeque, Cuba). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 37, 527-537.
- Morales-García, S. (2011). Caracterización citogenética del charal tropical *Atherinella alvarezii* (Pisces Atherinopsidae). (Tesis de Licenciatura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. Villahermosa, Tabasco, México).
- Mustafa, S.A., Al-Rudainy, A.J., & Salman, N.M. (2024). Effect of environmental pollutants on fish health: An overview. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 50, 225-23.
- Norma Oficial Mexicana NOM-252-SSA1-2011. (2011). Salud ambiental. Juguetes y artículos escolares. Límites de biodisponibilidad de metales pesados. Especificaciones químicas y métodos de prueba.
- Özkan, F., Gündüz, S.G., Berköz, M., & Hunt, A.Ö. (2011). Induction of micronuclei and other nuclear abnormalities in peripheral erythrocytes of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, following exposure to sublethal cadmium doses. *Turkish Journal of Zoology*, 35, 585-592.
- Prieto, Z., León-Incio, J., Quijano-Jara, C., Fernández, R., Polo-Benites, E., Vallejo-Rodríguez, R., & Villegas-Sánchez, L. (2008). Efecto genotóxico del Dicromato de Potasio en eritrocitos de sangre periférica de *Oreochromis Niloticus* (Tilapia). *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 25, 51-58.
- Ricárdez-De la Cruz, G., López-Ocaña, G., Bautista-Margulis, R.G., & Tórres-Balcázar, C.A. (2016). Laguna de las Ilusiones y su entorno urbano: aguas residuales, urbanas y sedimentos. *Kuxulkab*, 22, 27-38.
- Rivera-Díaz, J. (2024). *Evaluación de la dinámica hematopoyética intracelular y extracelular del pez Dorosoma petenense en un ecosistema lagunar urbano*. (Tesis de Licenciatura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. Villahermosa, Tabasco, México).
- Seibel, H., Baßmann, B., & Rebl, A. (2021). Blood will tell: What hematological analyses can reveal about fish welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 616-955.

- SERNAPAM. (2015). *Programa de manejo y conservación: Reserva Ecológica Laguna de las Ilusiones*. Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 194 p.
- Silván-Osorio, N.L. (2022). *Estudiando el núcleo mitótico del pez *Thorichthys meekei* (Brind, 1918): mediante el tamaño del genoma, estructura celular y niveles de ploidía*. (Tesis de Licenciatura, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. Villahermosa, Tabasco, México).
- US Environmental Protection Agency. (1997). *The incidence and severity of sediment contamination in surface waters of the united states*. Vols. 1–3. EPA 823-R-97-006. Science and Technology Office, Washington, DC. 302 p.
- Van-Afferden, M., Hansen, A.M., & Torres-Bejarano, F. (2008). Saneamiento del vaso Cencali, Villahermosa, Tabasco. II. Diseño del proceso. *Ingeniería Hidráulica en México*, 23, 57-70.
- Villanueva, S., & Botello, A.V. (1992). Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: una revisión. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 8, 47-61.

Received November 20, 2024.

Accepted December 25, 2024.