

Los peces como indicadores biológicos

Fishes as biological indicators

Julio Alberto González Acosta

Biol., Esp., MSc, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad De La Salle, Bogotá (Colombia)..

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7669-2507>.

Autor de correspondencia: jagonzaleza@unisalle.edu.co.

Resumen

El presente documento abarca una rápida revisión sobre estudios e investigaciones, en donde se resalta la importancia actual del uso de peces como indicadores biológicos. Dentro del grupo de los peces, la familia Poeciliidae parece ser un taxon apropiado para este tipo de estudios, por tener especies sensibles a tensores ambientales, de amplia distribución geográfica, de fácil identificación taxonómica y práctica evaluación bajo cautiverio de los tensores ambientales. Otras características deseables en peces para que se usen como bioindicadores, son su apropiado y pequeño tamaño y su fácil manejo para estudios a nivel de laboratorio.

Palabras clave: ecosistema, tensor ambiental, peces, bioindicador.

Abstract

This document covers a quick review of studies and research, where the current importance of the use of fish as biological indicators is highlighted. Within the group of fish, the Poeciliidae family seems to be an appropriate taxon for this type of study, as it has species that are sensitive to environmental stressors, have a wide geographic distribution, are easy to identify taxonomically, and can evaluate environmental stressors in captivity. Other desirable characteristics in fish to serve as bioindicators are their appropriate small size and ease of handling for laboratory studies.

Keywords: Ecosystem; Environmental Stressor; Fish; Bioindicator.

Introducción

Los ecosistemas acuáticos continentales, figuran entre los más amenazados del planeta, pues frecuentemente se ven expuestos a escorrentías que llevan trazas de fertilizantes y plaguicidas a sus aguas, residuos domésticos e industriales sin tratamiento alguno y son expuestos a la introducción de especies que se han convertido en invasoras y a los efectos del cambio climático global. Hoy día se hace necesario disponer de un método de evaluación que permita identificar tempranamente la evidencia de impactos ambientales que hacen peligrar la salud ambiental de estos ecosistemas.

Actualmente, el uso de los peces como bioindicadores ha cobrado importancia debido a diferentes motivos, entre los que se pueden mencionar: su alta sensibilidad a los estresores ambientales, que los hace responder rápidamente a trastornos en su entorno; su amplia distribución geográfica que posibilita comparar los resultados obtenidos con los de otras poblaciones; su presencia en casi toda la cadena trófica, que permite conocer el impacto de los estresores ambientales en cada nivel alimenticio; su relativa sencillez para identificarlos y poder estimar de manera confiable su abundancia y diversidad en ecosis-

temas de interés y su facilidad de adaptación en condiciones controladas, lo que permite evaluar el efecto de los estresores ambientales bajo condiciones de cautiverio.

Desarrollo del tema

Para evaluar la contaminación y el efecto de factores como la salinidad y la temperatura, en la Facultad de Química de la UNAM en México, se han utilizado especies acuáticas como bioindicadoras, entre ellas peces y moluscos como los pulpos. Los investigadores de la universidad mexicana detallaron que su interés era medir el efecto de los estresores químicos, como los contaminantes o la salinidad, en organismos endémicos o asociados a la península de Yucatán.

Según López (2020), durante el experimento se emplearon tres modelos de estudio basados en igual número de especies, a saber, un pez que está en los cenotes (pozos de agua de gran profundidad, que se alimentan por la filtración de lluvia y por corrientes de ríos), otro pez que está en la zona marina y un pulpo. En los cenotes, se trabajó con el guayacón yucateco, al que usan como centinela de la calidad del agua al que está expuesto; también se investigó con el pez guppy de velo, los expertos hicieron muestreos en el labo-

ratorio para ver la sensibilidad a los contaminantes. Se utilizaron plaguicidas y un biomarcador reactivo y se observó que, a concentraciones ambientales relevantes, se dio un efecto en el biomarcador del pez, y que éste cambió con la salinidad, lo cual fue muy importante en los sistemas de la zona costera, porque fluctuó a lo largo del año.

En el mismo estudio, se evidenció que el pulpo fue sensible a la temperatura y ante este cambio climático, no se busca que los pulpos realicen este tipo de migraciones. Se observó si los modelos para la península de Yucatán, donde se prevén algunos incrementos de temperatura, afectarían a la población de pulpos. En el laboratorio, se evaluó el efecto de la temperatura en los pulpos y se esperaba llevar a nivel de poblaciones naturales y de pesquerías, donde sin duda, estaría la repercusión, tanto a nivel ecosistémico como a nivel económico.

Hoy día, el uso de algunas especies de peces como bioindicadores, ha cobrado importancia por razones ambientales, ecológicas, etológicas y de manejo en cautiverio. La conducta en peces puede ser alterada por numerosos estresores ambientales debido a su variabilidad. La importancia de tales alteraciones, radica en que reflejan de manera confiable la condición fisiológica de los organismos e inciden directamente en su sobrevivencia y adecuación. Existen ventajas y desventajas de utilizar la conducta de los peces como biomarcadores de la presencia de estresores ambientales (González et al., 2015).

Según el ISM (2018), es imperativo observar la degradación de los ecosistemas acuáticos, para saber qué tan alterados se encuentran estos ambientes, debido al uso industrial, recreativo, domiciliario o agropecuario; es aquí donde el uso de indicadores biológicos, como especies que pueden ser utilizadas para interpretar el ambiente, su evolución y sus modificaciones; debido a que requieren de ciertos requerimientos ambientales para reproducirse y crecer. Algunos peces son indicadores ideales, pues son abundantes en ecosistemas acuáticos, fáciles de capturar, de identificar y han sido bien estudiados; además pueden acumular ciertas sustancias a nivel de hueso y músculo, lo que puede ser evidente para los niveles de contaminación.

Existen algunos requisitos a tener en cuenta para el uso de peces como indicadores, en aspectos como su composición y riqueza de especies (número de especies, presencia de especies sensibles a cambios, número de especies sensibles a cambios, número de especies bentónicas, número de especies que migran, número de especies endémicas y número de especies exóticas). También se debe tener en cuenta la composición trófica (proporción de omnívoros, proporción de detritívoros y proporción de carnívoros); igualmente la abundancia y condición de los peces (número de individuos y proporción de peces con anomalías).

Entre las modificaciones ambientales que se pueden inferir a partir del estudio de los peces como indicadores biológicos, figuran: cambios en variables químicas como el oxígeno disuelto OD, cambios de variables físicas como la transparencia, cambios en la composición biológica, fluctuaciones en el suministro de alimentos, cambios en la velocidad de la corriente, cambios en el sustrato y cambios en la cuenca hidrográfica. Se deduce entonces que, todo cambio en el ecosistema acuático puede verse reflejado en la composición y estructura de las poblaciones de peces, siendo excelentes indicadores del estado de salud de los ecosistemas acuáticos.

En otro estudio desarrollado por la UNAM en México (Arceo, 2017), fueron evaluados algunos peces como indicadores, para ponderar la restauración de manglares y la repercusión de la dinámica trófica en ciénagas y lagunas de la península de Yucatán, tanto en aspectos ecológicos como pesqueros. Una de las líneas de investigación fue la “trofodinámica de peces costeros”, que estudia la forma, medios y sitios en que los organismos acuáticos se alimentan de sus diferentes presas, generando un intercambio de materia y energía entre los diversos niveles tróficos. Se puede estudiar cómo los productores primarios como fitoplancton, macroalgas y pastos acuáticos, así como toda la materia orgánica generada dentro de las lagunas o ciénagas, son base de las redes tróficas; así los peces herbívoros se alimentan directamente de pastos y fitoplancton, peces carnívoros se alimentan de otros peces y crustáceos de menor tamaño.

El estudio resultó interesante, pues surgieron inquietudes, como: ¿cómo cambian y de qué se alimentan las comunidades de peces en un día? Para conocer de qué se alimentan los peces durante un determinado periodo, se debió revisar los contenidos estomacales para identificar a sus presas mediante claves taxonómicas. Se puede identificar hasta nivel de especie y saber cuándo se alimentan de zooplancton, fitoplancton o detritus; si se alimentan de crustáceos u otros peces, se puede llegar a la especie, para saber cuál recurso se está explotando y qué repercusión tiene sobre el ecosistema o sobre los recursos pesqueros, muchos de importancia comercial.

Observaciones realizadas en manglares de poca cobertura vegetal y con especies de origen marino y origen dulceacuícola, consideraron parámetros a nivel de comunidad, como abundancia, densidad, biomasa y diversidad; referente a la alimentación, la cantidad de presas y los diferentes niveles tróficos que puedan observarse en la comunidad de peces, se pudo revelar el grado de restauración de las redes tróficas en determinadas zonas del manglar. El Estudio sobre trofodinámica se hizo en peces endémicos y de importancia ecológica, como *Poecilia velifera*, *Fundulus persimilis* y *Fundulus grandissimus*, que permitieron conocer la comunidad íctica de la costa norte de Yucatán y determinar la importancia ecológica que tienen como alimento principal para otras especies tipo aves. Usualmente en los sitios restaurados, se crea un tipo de zanjas por donde se logra que fluya el agua, formando canales durante todo el año. En los bordes de esos canales, las plántulas de manglares encuentran su estrato, empiezan a germinar y a crecer, esto permite que posteriormente lleguen peces, permanezcan y creen allí su propio hábitat.

En el mismo estudio, en peces con potencial para ser bioindicadores, se evaluó la presencia espontánea de micronúcleos en sangre periférica de especies ícticas que habitan el lago La Alberca en Michoacán, México, para proponerlas como posibles bioindicadoras de agentes genotóxicos. Se colectaron muestras de sangre periférica de 56 organismos de 10 especies diferentes las cuales se analizaron con microscopía de fluorescencia (100X), obtenido datos de cantidad de eritrocitos micronucleados (EMN) espontáneos en 10,000 eritrocitos, la proporción de eritrocitos policromáticos (EPC) en 1,000 eritrocitos y la relación citoplasmanúcleo (RC/N) de los eritrocitos. Por el número de EMN espontáneos y la RC/N que se encontró en *Xenotoca melanosoma* y en *Oreochromis aureus*, se determinó que estas especies son potencialmente indicadoras biológicas de agentes genotóxicos (Torres-Bugarín et al., 2007).

Investigaciones realizadas para evaluar los peces como indicadores de la calidad ecológica del agua, se han desarrollado viendo la degradación de los ecosistemas acuáticos en algunos países industrializados, lo que ha conllevado a la definición de las normas de nueva generación sobre calidad del agua. Éstas incluyen componentes biológicos, entre los cuales están los peces, considerados como herramienta para monitorear, caracterizar y definir la calidad del agua en ríos y lagos. La investigación presentó las aplicaciones de los peces como indicadores del uso sostenible del agua en cuencas hidrográficas. Se sintetizaron las principales consideraciones prácticas para establecer programas efectivos de monitoreo, entre las que destacan los muestreos piloto, los sitios de referencia, la escala de estudio y la heterogeneidad del paisaje; finalmente, se identificaron los retos y perspectivas de la utilización de los peces como indicadores.

Se pudo concluir que para saber si una sociedad tiene un uso sustentable de sus cuencas hidrográficas, se debe tener una medida del nivel de degradación de la calidad ambiental de las mismas. Una manera de medirlo es por medio de indicadores ecológicos del ambiente acuático, entre los cuales se encuentran los peces. Su aplicación puede ser llevada a cabo bajo monitoreos, que cumplan con requisitos como la claridad de objetivos, la consideración de los límites presupuestales, la aplicación de muestreos piloto y la atención hacia la escala de estudio y la heterogeneidad de las cuencas. Para que un proyecto de esta naturaleza tenga efectividad, se necesita que la sociedad tenga una percepción alta de la calidad ambiental. Pero si ciudadanos y autoridades no cobran conciencia sobre la degradación de los ecosistemas acuáticos, ningún programa de monitoreo o ningún indicador ecológico servirá para lograr un uso sustentable del recurso hídrico (Aguilar, 2005).

Otro interesante estudio, evaluó el uso de peces y plantas macrófitas como indicadores biológicos, en particular, la condición de las comunidades ícticas que ha sido propuesta como un indicador sensible de la integridad de los ecosistemas acuáticos (Amiard et al., 2015). La articulación con peces es usada a veces, como herramienta de comunicación útil para sensibilizar al público y a las autoridades sobre la necesidad de preservar los ambientes acuáticos (Tagliaferro, 2004). Muchas veces, el uso de especies de importancia socioeconómica, turística, o deportiva, generan en algunas personas un sentido de conservación, aun cuando los peces sean especies exóticas.

Como ejemplos de esta apreciación en la Patagonia Austral, la presencia/ausencia de salmónidos tiene mayor importancia social y económica que la especie nativa puyen (*Galaxias maculatus*), de baja talla y poca importancia económica (Tagliaferro et al., 2014). De esta manera, muchas veces se utilizan especies “paraguas” (en este caso la trucha steelhead o trucha marrón) para lograr medidas en la conservación de otras especies de peces.

Igualmente se cita la importancia de las plantas macrófitas como indicadores de la calidad ambiental, pues son consideradas como indicadores biológicos de relevancia en el diagnóstico de los ecosistemas acuáticos; estas plantas poseen propiedades únicas que permiten un rápido muestreo y análisis de la condición de un cuerpo de agua (Beck & Hatch, 2009). También para este grupo, se han desarrollado diferentes índices adaptados a las condiciones de las distintas regiones mundiales de trabajo (Suárez et al., 2005); así, se presentan dos alternativas tan distantes como los peces

y las macrófitas pero ambas de bajo costo de estudio. Se verifica una tendencia a migrar desde índices univariados o con pocas métricas, a los índices de integridad biótica, cuya construcción requiere de varias métricas dependientes del sistema y región. Existen ventajas y desventajas del uso peces y macrófitas y se enmarca el potencial de uso en conjunto de ambos índices (Tagliaferro, 2020).

(García et al., 2017), utilizaron bioindicadores en ríos de alta montaña, y de acuerdo con (Chovanec et al., 2003), la técnica ha sido extendida por la utilidad de estos, al aportar información acerca del ambiente natural donde se encuentran y de la facilidad que ofrecen para medir impactos antrópicos. Las comunidades de peces brindan información sobre los cambios espaciales y reflejan el estado morfológico trófico y térmico en el que se encuentra un curso de agua. Adicionalmente los peces permiten realizar estudios ecotoxicológicos y fisiológicos, que, gracias a su tamaño, brindan la posibilidad de realizar procedimientos analíticos que permiten la obtención de patologías que relacionan los efectos de la contaminación con el ambiente, la administración de recursos y afectaciones a la salud humana.

Los mecanismos de acumulación en los tejidos de los peces permiten el análisis de información obtenida directamente de los individuos. El uso de macroinvertebrados bentónicos y de peces, se ha vuelto común, integrando el uso de diferentes índices como el WQI y el BMWP. En algunos estudios estos son utilizados, determinando cambios en la calidad del agua que alteran la diversidad de especies de peces (Mahazar et al., 2013). El incremento en la presencia de especies y el aumento de las poblaciones de macroinvertebrados benthicos, muestran una mejora en la calidad del agua, utilizando diferentes especies como indicadores biológicos (Li et al., 2010).

Peces de la familia Poeciliidae, fueron utilizados como indicadores biológicos en la cuenca del río Suquia (Córdoba, Argentina). Sus aguas corren a través de importantes ciudades y zonas urbanas, estando sujeta a un fuerte impacto antropogénico, debido a que recibe contaminantes de diversas fuentes. El objetivo del estudio fue evaluar la calidad del agua de la cuenca del río Suquia a través de la utilización de la especie nativa *Cnesterodon decemmaculatus*, para ello evaluaron la actividad natatoria, la actividad de la enzima acetilcolinesterasa, los índices somáticos y características histológicas de hígado, branquia y piel, en individuos recolectados en sitios con diferente calidad ambiental. Esta última fue estimada a través de la aplicación de un índice de calidad del agua (ICA), que permitió evidenciar diferentes condiciones de calidad del agua entre los sitios muestreados (Macagno, 2018).

Todos los parámetros biológicos fueron evaluados en hembras adultas recolectadas en tres sitios, durante las estaciones seca y de lluvia. Los resultados obtenidos permitieron caracterizar las condiciones ambientales en la cuenca estudiada, confirmando el gradiente de calidad del agua a lo largo del curso y como la degradación del medio afecta a los individuos estudiados a través de los biomarcadores seleccionados para tal fin. La actividad natatoria y la actividad de la AChE, fueron los biomarcadores que respondieron positivamente, ante el cambio en la calidad del agua que presentó el río.

Otra investigación afirmó que, los helmintos en peces, pueden ser usados como bioindicadores de la salud de los

ecosistemas; se exploró el potencial que tienen los parásitos y en especial los helmintos que parasitan a peces, como indicadores de las condiciones existentes en los ecosistemas donde se establecen los sistemas parásito-hospedero. Se revisó la literatura de las dos últimas décadas, donde se hace uso de los helmintos como indicadores de la salud de los ecosistemas y a partir de éstos, se planteó los conceptos generales sobre el uso de éstos como bioindicadores del efecto de los contaminantes que el ser humano vierte a los ambientes acuáticos. Se señalaron métodos de estudio particulares que evaluaron la presencia/ausencia de especies y los valores de prevalencia, abundancia y diversidad de los parásitos en las poblaciones y comunidades de hospederos. Se presentaron datos empíricos (estudios de caso) realizados en México, que utilizaron parásitos helmintos en peces cíclidos del sureste), como indicadores de contaminación o de cambio climático. Se señalan algunas perspectivas de esta disciplina en el futuro, resaltando el valor de los parásitos como centinelas de la salud de los ecosistemas acuáticos (González et al., 2014).

Estudios sobre toxicidad del Zinc en hembras del pez *Poeciliopsis gracilis* (Pisces: Poeciliidae), determinaron el efecto tóxico del zinc sobre indicadores biológicos y fisiológicos de hembras maduras de *P. gracilis* separadas de los machos durante 60 días y expuestas por 30 días posteriores a concentraciones subletales (0, 0.10, y 0.20 mg Zn/L). Al final de la exposición se observó la modificación en el balance hídrico de las hembras ($p < 0.05$) por efecto del Zinc, con $1064 \pm 60.31 \mu\text{g}$ polisacáridos g⁻¹ B, para el grupo control. Los 3 indicadores biológicos evaluados fueron Factor de condición (K), índice hepatosomático (IHS) e índice gonadosomático (IGS), los cuales no presentaron cambios significativos. A pesar de estar separadas de los machos, la mayoría de las hembras se mantuvieron grávidas, los ovocitos, óvulos y embriones se presentaron en todas las condiciones. Como se observó y luego de 30 días de exposición, el zinc afectó el balance hídrico y el metabolismo aerobio de las hembras, sugiriendo un incremento en el gasto relacionado con mecanismos compensatorios, que permite regular el metal aún en estado de gravidez (Gutiérrez et al., 2018).

Sobre el desarrollo y la bioacumulación de metales pesados en el pez *Gambusia punctata* (Poeciliidae), ante los efectos de la contaminación acuática, se emplearon organismos acuáticos como indicadores precoces de la calidad toxicológica del medio en que habitan se ha acentuado en los últimos tiempos. Los peces fueron uno de los primeros en ser utilizados en los protocolos de evaluación ecotoxicológica y aún siguen siendo de elección como especies centinelas. El objetivo del trabajo fue evaluar el desarrollo y bioacumulación por metales pesados en la especie *G. punctata*, en los ríos Cobre y San Juan en Santiago de Cuba. Fueron seleccionadas dos estaciones de estudios, realizándose los muestreos durante los doce meses del año 2010. Se consideró el Factor de Condición K como desarrollo de los peces, donde solamente se escogieron los individuos de ambos sexos, que biométricamente midieron entre 2.1 a 3.2 cm. de longitud total, estableciéndose dos intervalos de clases.

Los metales analizados fueron cobre y zinc, los cuales se determinaron en las muestras por vía húmeda y cuantificándose a través de la técnica de Espectrometría de Plasma Inductivamente Acoplado con vista axial (ICP-AES). Los peces que habitaron en el río San Juan presentaron mayor factor de condición biológico ($0.068 > 0.038$), aunque menor contenido promedio por ambos sexos en la bioacumulación de metales ($\mu\text{g/g}$) que los del cobre respectivamente: ($\text{Cu} 22.04$

$\pm 4.41 > 33.94 \pm 8.48$; $\text{Zn} 36.83 \pm 9.22 > 60.54 \pm 16.34$). Dado los valores del Factor K de condición como las concentraciones bioacumuladas de metales pesados, se considera que la calidad ambiental de los ecosistemas es limitada (Argota et al., 2012).

Un estudio similar se realizó en Cuba y analizó las alteraciones de indicadores biológicos en el pez *Gambusia punctulata*, en sitios muy contaminados del río Almendares. Cabrera (2022), planteó como objetivo, evaluar las alteraciones de los procesos biológicos en los peces que viven en sitios muy contaminados. Se aplicó una metodología basada en los efectos acumulativos de agentes estresantes múltiples a nivel de individuo en la especie *G. punctulata*. Este estudio se efectuó en tres sitios del río Almendares, a saber, El Rodeo (sitio de referencia) y dos sitios altamente contaminados, El Bosque de La Habana y El Puente 23. Se encontró un incremento en la longitud y el peso de las hembras, y en el Factor de Condición K para ambos sexos en los sitios más impactados. Este resultado se atribuye a la mayor disponibilidad de alimento debido a la eutrofización. El índice gonadosomático, el índice de fecundidad específica y el número de embriones por hembra, tuvieron valores significativamente más altos en el Rodeo. El largo relativo del gonopodio no mostró diferencia significativa entre los sitios.

A partir de los indicadores reproductivos analizados, se pudo concluir que la reproducción de *G. punctulata* se encuentra comprometida en las zonas más contaminadas del río. El índice hepatosomático presentó valores más altos en las hembras provenientes de los sitios más contaminados. Las diferencias encontradas entre los sitios contaminados y el de referencia, sugieren que las fuentes de alimento no son las mismas. La metodología empleada permitió verificar la existencia de alteraciones notables de varios procesos biológicos, en peces que fueron colectados en sitios de alta contaminación.

Finalmente, otra investigación describió las características de *Gambusia punctata* (Poeciliidae), para su selección como biomonitor en ecotoxicología acuática. La utilización de organismos naturales en su condición de biomonitores, permitió evaluar las condiciones ambientales de los ecosistemas acuáticos. *G. punctata* fue seleccionada por ser representativa y monitoreada 8 años seguidos (2004 a 2012), con una frecuencia trimestral correspondiendo dos de ellos a los períodos de lluvia y seco, pertenecientes a la cuenca Hidrográfica Almendares-Vento en La Habana y San Juan, en Santiago de Cuba. La descripción de las características de la especie estuvo referida a considerar si se cumple con los siete criterios registrados para biomonitores, los cuales corresponden a: distribución cosmopolita, fácil identificación taxonómica, tamaño apropiado, movilidad limitada y ciclo de vida relativamente largo, tolerante a la contaminación, fácil manejo para estudios de laboratorios, y correlación entre el contaminante de interés y el resto de las matrices ambientales. Las características fueron cumplidas para cada uno de los siete criterios, donde dicha condición sugiere utilizarla como biomonitor en estudios de ecotoxicología, para los ecosistemas Almendares y San Juan (Argota et al., 2013).

Conclusiones

- Dentro de los peces más utilizados en bioindicación, figuran los gupys y las gambusias, por su fácil manejo a nivel de laboratorio y su alta sensibilidad a los contaminantes. Este grupo de peces son indicadores ideales, ya que son abundantes en los ecosistemas acuáticos, fáciles de capturar y de identificar; además acumulan sustancias en sus órganos, lo que se hace favorable para determinar niveles de contaminación.
- Algunas especies de peces son indicadores biológicos ideales y últimamente han cobrado importancia, gracias a su sensibilidad a los estresores ambientales, a su amplia distribución geográfica, a su presencia en toda la cadena trófica, a su fácil adaptación al cautiverio, lo que permite evaluar el efecto de los tensesores ambientales en condiciones controladas.
- Los estudios científicos para determinar la degradación de los ecosistemas acuáticos en países industrializados, ha conllevado a definir nuevas normas sobre la calidad del agua, estas incluyen a los peces como componentes biológicos, considerados una valiosa herramienta para monitorear, caracterizar y definir calidad del agua en sistemas lenticos y loticos.
- Igualmente, los peces permiten realizar estudios ecotoxicológicos y fisiológicos, gracias a su tamaño que brinda la posibilidad de realizar procedimientos analíticos, que permiten la obtención de patologías que relacionan los efectos de la contaminación con el ambiente y afectaciones a la salud humana.

Bibliografía

1. Aguilar, A. (2005). Los peces como indicadores de la calidad ecológica del agua. *Revista Digital Universitaria*, Volumen 6 Número 8. ISSN: 1067-6079. <http://www.revista.unam.mx/vol.6/num8/art78/int78.htm>
2. Amiard-Triquet, C., J. C. Amiard, & C. Mouneyrac. (2015). *Aquatic ecotoxicology: advancing tools for dealing with emerging risks*. Amsterdam: Elsevier, Academic Press, p. 519.
3. Arceo, D. (2017). Los peces, indicadores biológicos de los ecosistemas acuáticos de Yucatán. *Boletín Club Iagua*.
4. Argota, G.; González, Y.; Argota, H.; Fimia, R.; Iannacone, J. (2012). Desarrollo y bioacumulación de metales pesados en *Gambusia punctata* (Poeciliidae) ante los efectos de la contaminación acuática. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, vol. 13, núm. 5, 2012, pp. 1-12. Veterinaria Organización Málaga, España.
5. Argota, G., Iannacone, J., Fima, R. (2013). Características de *Gambusia punctata* (Poeciliidae) para su selección como biomonitor en ecotoxicología acuática en Cuba. *The Biologist (Lima)*. Vol. 11, N°2, jul-dec 2013.
6. Beck, M. W. & L. K. Hatch. (2009). A review of research on the development of lake indices of biotic integrity. *Environmental Reviews*, 17: 21-44.
7. Cabrera, Y. (2022). Alteraciones de indicadores biológicos de *Gambusia punctulata* (Poey, 1854), en sitios muy contaminados del río Almendares. Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Biología Marina y Acuicultura con mención en Ecología Marina. Centro de investigaciones marinas, Universidad de La Habana, Cuba.
8. Chovanec, A., Hofer, R., & Schiemer, F. (2003). Fish as Bioindicators. En B. Markert, A. Breure, H. Zechmeister, B. Markert, A. Breure, & H. Zechmeister (Edits.), *Bioindicators and Biomonitoring Principles, Concepts and Applications* (Vol. 6, págs. 639-676). Elsevier.
9. García, J.M., Sarmiento, L.F., Salvador, M., Porras, L.S. (2017). Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña. *Revisión corta. UG Ciencia*, 23, 47-62.
10. González, C.A., Vallarino, A., Pérez, J., Jiménez, A., Low, M. (2014). *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). ISBN 978-607-8429-05-9 (edición digital) 978-607-8429-04-2 (edición impresa). México. 782p.
11. González, C., Vallarino, A., Pérez, J., Low, A. (2015). La conducta de los peces como bioindicadores de la presencia de estresores ambientales. *GACETA UNAM. Órgano Informativo de la Universidad Nacional Autónoma de México*.
12. Gutiérrez, I., Jiménez, H., Molina, R., Mangas, E., López, M., Fernández, A., Campos, V. (2018). Toxicidad del Zinc sobre indicadores biológicos y fisiológicos en hembras de *Poeciliopsis gracilis* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae). *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 9 (22): 90 – 109, 2018.
13. Instituto Superior del Medio Ambiente ISM (2018). *Boletín del sector medioambiental*. Madrid; España.
14. López, P. (2020). Utilización de especies acuáticas como bioindicadores. *GACETA UNAM. Órgano Informativo de la Universidad Nacional Autónoma de México*.
15. Li, L., Zheng, B., & Liu, L. (2010). Biomonitoring and Bioindicators Used for River Ecosystems: Definitions, Approaches and Trends. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 1510-1524.
16. Macagno, S. (2018). *Cnesterodon decemmaculatus* como especie bioindicadora de la calidad del agua en la cuenca del Río Suquia. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
17. Mahazar, A., Shuhaimi-Othman, M., & Kutty, A. (2013). Benthic Macroinvertebrate as Biological Indicator for Water Quality in Sungai Penchala. *AIP Conference Proceedings*, 1571, 602-607.
18. Suárez, M. L., A. Mellado, M. M. Sánchez-Montoya y M. R. Vidal-Abarca. (2005). Propuesta de un índice de macrófitos (IM) para evaluar la calidad ecológica de los ríos de la cuenca del Segura. *Limnetica*, 24: 305-318.
19. Tagliaferro, M. (2004). Comparison of habitat, macrofauna density, and fish length within and outside marine protected areas using a remotely operated vehicle. *Friday Harbor Laboratories, University of Washington Report*, p. 48.
20. Tagliaferro, M. (2020). Uso de peces y macrófitas como indicadores. En: *La bioindicación en el monitoreo y evaluación de los sistemas fluviales de la Argentina*. Centro Austral de Investigaciones Científicas. 14p.
21. Tagliaferro, M., A. Quiroga & M. Pascual. (2014). *Spatial Pattern and Habitat Requirements of Galaxias*

Maculatus in the last un-Interrupted large river of Patagonia: A baseline for management. *Environment and Natural Resources Research*, 4: 54–63.

22. Torres-Bugarín, O., J. L. Zavala-Aguirre, P. Gómez-Rubio, H. R. Buelna-Osbe, G. Zúñiga-González y M. García-Ulloa Gómez. (2007). Especies de peces con potencial como bioindicadoras de genotoxicidad en el lago “La Alberca”, Michoacán, México. *Hidrobiológica* 17 (1): 75-81.