

CAPÍTULO VIII

Comportamiento animal como indicador de la calidad de cuerpos de agua dulce

Morelia Camacho-Cervantes¹, *Constantino Macías García²

¹Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, Mexico City, Mexico.

²Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, Mexico City, Mexico.

*maciasg@unam.mx

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-07-6-08>

RESUMEN

Los ecosistemas de agua dulce son importantes reservorios de biodiversidad y provisorios de servicios ecosistémicos. Al ser típicamente ecosistemas inmersos en una matriz de ambientes terrestres, constituyen islas de las que no pueden escapar fácilmente los organismos que los habitan, los cuales por ello particularmente vulnerables a las alteraciones del hábitat. El comportamiento es la primera herramienta con que cuentan los animales para lidiar con estos cambios, ya que ocurren de manera inmediata, y al ser evidente para los observadores resulta útil como bioindicador de alerta temprana. En este capítulo discutimos algunas metodologías para el estudio del comportamiento con fines de monitorear la calidad de los cuerpos acuáticos. Concluimos que el comportamiento es una herramienta de bioindicación útil y de bajo costo que favorece prácticas tanto de prevención como de monitoreo.

Palabras-clave: Conducta animal; Bioindicadores; Registro de conducta; Conservación biológica; Degradación ambiental

ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE Y SUS AMENAZAS

Los ecosistemas de agua dulce están entre los más alterados del mundo. Estos proveen importantes servicios ecosistémicos, como la provisión de agua o comida (Brauman et al., 2007) y el control del clima (Krinner, 2003; Samuelsson et al., 2010). Debido a ello están sujetos a constante e intensa presión antropogénica (García-Berthou et al., 2015). A nivel global, solamente el 0.01% del agua es dulce, y los ecosistemas que conforma cubren el 0.8% de la superficie de la Tierra. Sin embargo su riqueza biológica es desproporcionadamente grande: en los cuerpos de agua dulce se encuentran por lo menos 100.000 especies, lo que representa el 6% de todas las especies descritas (Dudgeon et al., 2006). Por ejemplo, México alberga en su territorio el 6% de las especies de peces de agua dulce del mundo, lo que equivale al 60% de las especies de América del Norte; es decir, 506 especies pertenecientes a 47 familias (De La Vega-Salazar et al., 2003). Los cambios y perturbaciones en la calidad del agua ponen en riesgo la supervivencia y condición de las comunidades que habitan en ellos (Vorosmarty et al., 2010). Cuando los ecosistemas de agua dulce se ven alterados en su equilibrio no solo se afecta la conservación de su biodiversidad sino que también disminuye su capacidad de proveer los servicios ecosistémicos a las especies que los rodean, incluidos los humanos. En la actualidad, los ecosistemas de agua dulce están perdiendo biodiversidad más rápidamente que los ecosistemas terrestres, lo que es coincidente con la presión que los humanos ejercen sobre ríos y lagos (Dudgeon et al., 2006). En el último siglo, la contaminación química debida a las actividades humanas es uno de los principales factores de estrés en los sistemas de agua continentales (Gutierrez et al., 2012).

Al igual que las islas, los cuerpos de agua dulce son particularmente vulnerables al cambio debido a que las comunidades que viven en ellos están aisladas por la barrera natural que representan los sistemas que los rodean, y no pueden aprovechar directamente los recursos que están fuera de los ríos o lagos. Esto es de particular importancia para las especies con alta endemidad, que son características de los cuerpos de agua dulce (Moyle & Light, 1996). Las amenazas a la biodiversidad dulceacuícola se pueden agrupar en cinco grandes categorías: sobre explotación, contaminación del

agua, modificación de los cauces, degradación o destrucción de hábitat, e invasión por especies exóticas (Dudgeon et al., 2006). Mientras que la sobre explotación afecta principalmente a los vertebrados que pueden ser para consumo humano o que son de interés como mascotas, el resto de las categorías tienen consecuencias para todas las especies que cohabitan en cuerpos de agua dulce. Por ejemplo, la contaminación debida al constante vertedero de aguas negras o residuos industriales, cuando provoca cambios drásticos en la química del agua, puede generar zonas muertas (áreas con muy poco o nada de oxígeno donde prácticamente ningún organismo puede sobrevivir). Por su parte, las especies invasoras son la segunda causa más importante de extinción de peces en Norte América (Clavero y Garcia-Berthou, 2005) y los peces dulceacuícolas están entre los vertebrados invasores más frecuentes. La introducción de estas especies generalmente conlleva a desequilibrios ecológicos que también pueden ser catastróficos e irreversibles (Gesundheit y Macías-García, 2018).

Comportamiento animal y el medio ambiente

El comportamiento juega un papel clave en la supervivencia de los organismos; es más flexible, e incluso reversible, y por lo tanto más fácil de ajustar a las nuevas condiciones ambientales que, por ejemplo, los rasgos morfológicos o de historias de vida, que requieren más tiempo y tienden a ser permanentes (Magurran, 1999; Krause y Ruxton, 2002). Además, incluso si las adaptaciones morfológicas se dan a tiempo, estas pueden ser ineficaces si no van acompañadas del comportamiento adecuado (Magurran, 1999). El comportamiento se ve afectado por factores antropogénicos, y estos cambios generan modificaciones en las dinámicas poblacionales; Fig. 1. Entonces la supervivencia, establecimiento y dispersión de las especies están ligados a su manera de interactuar con el medio.

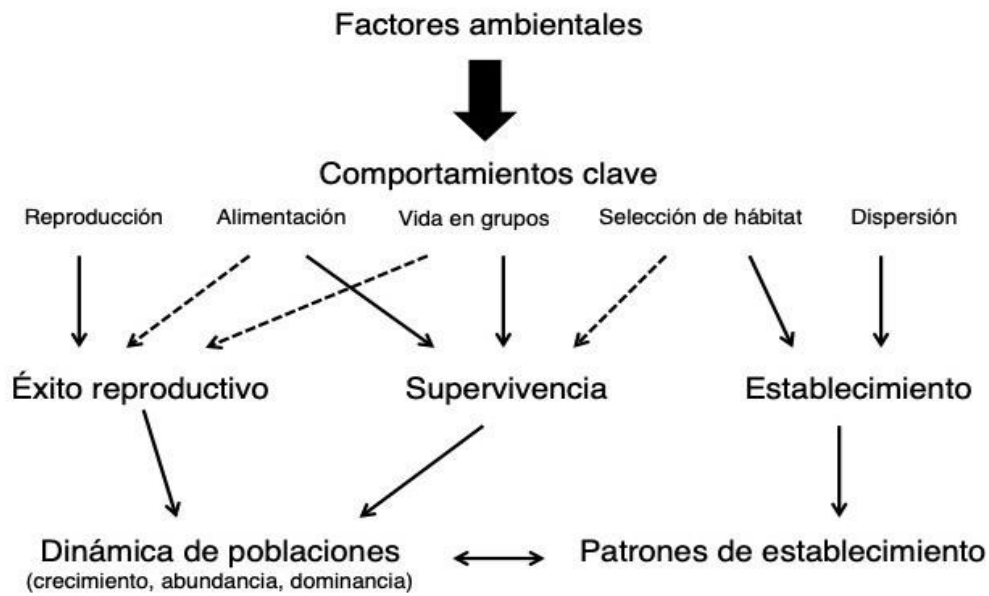


Fig. 1. Diagrama de interacciones entre comportamientos clave que se ven afectados por factores ambientales y la dinámica de poblaciones y patrones de establecimiento (modificada de Bessa Gomes y Sarrazin, 2016).

El comportamiento animal, no es solo una herramienta de interacción con el medio; además permite la comunicación entre individuos mediante señales que tienen como propósito transmitir un mensaje. En el proceso de la emisión y recepción de mensajes a través del comportamiento se generan patrones de conducta como pueden ser movimientos del cuerpo, expresiones faciales, sonidos, cambios de coloración, entre otros (Mathur, 2010). Estos patrones de conducta pueden verse alterados si el medio que rodea a los individuos cambia. Es por esto que el estudio directo e indirecto del comportamiento puede ser de gran valor para prevenir más pérdida de biodiversidad (Araújo et al., 2018; Silva et al., 2018).

Los umbrales en la toma de decisiones de un individuo con respecto a cómo reaccionar ante situaciones vitales, tales como la elección de pareja o la evasión de depredadores, se ven afectados por las condiciones ambientales locales, y los errores que cometa tendrán repercusiones en su adecuación (Robertson et al., 2013). Producto de la contaminación en los cuerpos de agua, las especies pueden llegar a invertir menos en su reproducción o a invertir de manera errónea. Para las especies que seleccionan pareja a través de cortejos o evaluación de ornamentos, la comunicación visual es indispensable y en el

agua la comunicación visual depende de las propiedades de transmisión de luz de la misma (Lythgoe, 1984). Como consecuencia de la contaminación una de las primeras propiedades que cambian en el medio acuoso es la turbidez y esta puede limitar e incluso llegar a impedir del todo la comunicación visual entre organismos (Lythgoe, 1984; Candolin et al., 2007). Por ejemplo, en el Lago Victoria cohabitan diferentes especies de cíclidos que son muy parecidos entre sí, las hembras de estas especies distinguen a los machos de su especie a través de la identificación de sus patrones de colores; un estudio llevado a cabo por Maan y colaboradores en 2010 demostró que la turbidez en el agua enmascara los ornamentos de los machos de la familia Pundamilia. En este estudio se demostró que debido al cambio en la turbidez del lago las hembras de *Pundamilia pundamilia* y *Pundamilia nyererei* incurren en reproducción híbrida debido a que no logran distinguir los patrones de coloración de los machos de su especie. Al interferir con señales químicas, otras formas de contaminación han conducido a la hibridación entre especies del género *Xiphophorus* (los peces vivíparos llamados cola de espada; Fisher et al., 2006). Aún cuando no conduzca a la hibridación, la contaminación puede conducir a apareamientos desventajosos al devaluar el costo de las señales, lo que facilita que individuos de baja calidad fenotípica produzcan señales que normalmente indicarían alta calidad (Candolin, 2009).

La conducta como indicador

Los bioindicadores son organismos que por su presencia, abundancia o comportamiento pueden revelar el estado del ecosistema en el que son encontrados (Metcalf, 1989). Esto es, podrían indicar si este ecosistema está funcionando de manera “normal” o si está sucediendo algo que no es común. Estos bioindicadores funcionan de manera bidireccional, tanto para indicar si el ecosistema está deteriorado como para indicar si está mejorando. Por ejemplo, el arroyo Maroaga, en el Amazonas Brasileño, fue monitoreado por Uherek y Pinto Gouveia en 2014 para evaluar su estado de conservación utilizando macroinvertebrados acuáticos suficientemente grandes para verse sin la ayuda de un microscopio. Tomando en cuenta el número de individuos encontrados y los taxa a los que pertenecen se concluyó que el arroyo Maroaga tiene un

estado de conservación bueno, que se traduce como limpio o no alterado significativamente (Uherek y Pinto Gouveia, 2014).

Como consecuencia de las actividades agropecuarias, farmacéuticas e industriales en general, los cuerpos de agua continentales están aumentando cada vez más sus concentraciones de xenobioticos. Los efectos de estas sustancias se pueden ver reflejados en todos los aspectos de la biología de los organismos acuáticos, dependiendo de las concentraciones. Su influencia en el comportamiento es lo que resulta aparente inicialmente. Por ejemplo, la presencia de herbicidas en el medio acuático provoca cambios en los patrones de nado de los peces, pérdida de balance y espasmos, mientras que las larvas de mosquito son más tolerantes pero en altas concentraciones del herbicida las larvas tienden a nadar en la superficie en grupos, lo que denota un problema respiratorio (Farah et al., 2004). Existen diferentes métodos en laboratorio para evaluar las concentraciones de contaminantes en el agua, pero estos pueden llegar a ser costosos o no estar disponibles oportunamente. El comportamiento de los organismos dulceacuícolas, en cambio, puede ser un indicador temprano del estado del ecosistema que tiene un costo muy bajo y es eficaz. Los microcrustaceos (aquellos solo pueden observarse con ayuda del microscopio), por ejemplo, son uno de los grupos reconocidos como más sensibles a la contaminación en el agua, particularmente se les ha estudiado para identificar su reacción a la presencia de metales pesados (e.g., Bossuyt y Janssen, 2005; Lopes et al., 2004) y pesticidas (e.g., De Lorenzo et al., 2002; Rosa et al., 2008). Un ejemplo puntual es el estudio que llevaron a cabo Gutierrez y colaboradores en 2012, quienes evaluaron el comportamiento de escape de microcrustáceos (copépodos y cladóceros) del Río Paraná cuando están expuestos a insecticidas (endosulfán organoclorado) y sales metálicas (sulfato de cobre y dicromato de potasio). En este estudio los autores reconocieron dos tipos de respuesta en los organismos expuestos a bajas concentraciones de estos xenobioticos: hiperactividad y mayor estado de alerta o completa perdida de la habilidad de escape. Como los microcrustáceos tienen la capacidad de controlar explosiones algales a través de la presión de forrajeo que ejercen sobre éstas, el que pierdan del todo la capacidad de evadir depredadores representa una amenaza al equilibrio del sistema (Gutierrez et al., 2012).

Estudios como éste que contemplen otras especies y otros contaminantes tienen el potencial de complementar y algunas veces hasta reemplazar las herramientas de laboratorio en las valoraciones de riesgo y el monitoreo de ecosistemas.

Métodos de estudio del comportamiento con fines de conservación

Los estudios de comportamiento generales sin duda son de uso en conservación, sin embargo, muchas veces están hechos pensando en una descripción etológica que complemente el entendimiento de la biología de una especie y no necesariamente están enfocados en resolver o identificar un problema ambiental. Para diseñar estrategias de manejo que tomen en cuenta el comportamiento como bioindicador y que además sean eficientes, es importante entender cómo el comportamiento alimenta los planes de manejo y además los retroalimenta, es decir, el comportamiento también puede indicarnos si una estrategia está funcionando o no; Fig. 2.

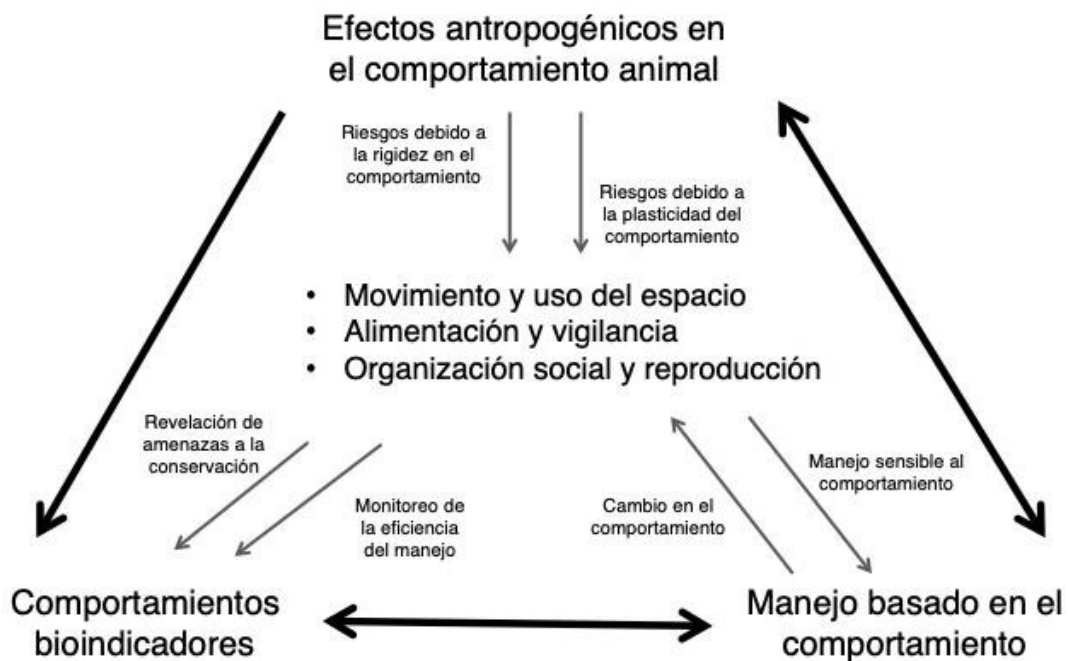


Fig. 2. Diagrama de interacciones entre el comportamiento y las estrategias de manejo. Los bioindicadores funcionan tanto para diseñar como para monitorear la efectividad (modificada de Swaddle, 2016).

Los estudios del comportamiento para conservación, de acuerdo con Buchloz (2007), tienen implícito un marco de referencia que se denomina “las cuatro preguntas de Tinbergen”. Estas preguntas son: (1) sobre mecanismos, ¿cómo un organismo lleva a cabo un determinado comportamiento?, (2) sobre ontogenia, ¿cómo adquieren los individuos estos mecanismos a través de su desarrollo?, (3) sobre funcionalidad, ¿para qué le sirve a un individuo llevar a cabo determinado comportamiento?, y (4) sobre filogenia, ¿cómo evolucionó este comportamiento? (Tinbergen, 1963). Nikolaas Tinbergen fue un zoólogo neerlandés que se hizo acreedor a un Premio Nobel por su trabajo en etología en 1973. Él propuso estas cuatro preguntas como una forma de guiar los estudios de comportamiento, y esto resulta útil ya que nos lleva a considerar explicaciones distintas y complementarias para el mismo comportamiento. Mientras que las primera y tercera responden al cómo, la segunda y cuarta responden al por qué. Estudiar cómo un organismo lleva a cabo una actividad es estudiar el sistema sensorial, motor y endocrino, y cómo el medio afecta estos sistemas. Estudiar por qué un organismo llegó a comportarse de cierta manera nos lleva a estudiar la historia reciente y evolutiva del mismo, ¿qué pasó internamente y en el medio que lo rodeaba para que en un momento puntual se comportara de cierta manera? En el contexto de la evaluación del ambiente, el estudio de las causas próximas o mecanismos nos informa sobre la manera en que las alteraciones del hábitat afectan a los organismos, mientras que el estudio de la funcionalidad nos indica las consecuencias de esas alteraciones para la supervivencia de las especies de interés (Burkhardt, 2005).

En cuanto a los métodos que se pueden utilizar para investigar comportamiento, proponemos que pueden dividirse de manera general en dos categorías; directos e indirectos. Los métodos directos se caracterizan por el registro del comportamiento de un individuo en el momento en el que está sucediendo la acción, ya sea a través de un observador o mediante el uso de videocámaras. En los métodos indirectos, por otro lado, el comportamiento es descifrado a través de investigar los rastros que dejan los organismos, por ejemplo refugios o heces. En ambientes acuáticos los rastros que dejan los individuos son difíciles de identificar y salvo algunas excepciones, no

permanecen en el mismo lugar por la propia naturaleza del sistema; lo más eficiente entonces es utilizar métodos directos.

Antes de poder identificar una especie que pueda funcionar como indicador del estado del ambiente, es necesario conocer cómo se comporta de manera “normal”, para lo cual los estudios descriptivos básicos son indispensables. Luego, se pueden hacer pruebas de comportamiento en ambientes alterados de dos formas; in situ, es decir en el cuerpo de agua donde habita la especie, o en laboratorio. Los estudios de campo tienen el valor agregado de proveer información más realista debido a que el escenario es aquel al que se enfrentan los individuos, pero tienen la desventaja de que no se pueden controlar muchas variables (por ejemplo la precipitación, la temperatura, corriente, entre otros) que añaden variabilidad, o “ruido” a la respuesta de los comportamientos que se están registrando. Los estudios en laboratorio nos permiten controlar el ambiente casi por completo y determinar las concentraciones o combinaciones de variables a probar e incluso las interacciones con otros factores.

Un ejemplo de la combinación de estudios en campo y laboratorio para identificar especies con potencial de indicador es el del sistema de lagos del Parque Nacional Lagunas de Zempoala en el centro de México; donde hay un lago invadido por el pez poecílido invasor (*Pseudoxiphophorus bimaculatus*) y otro sin invadir. En ambos lagos habita el pez goodeido (*Girardinichthys multiradiatus*) que es endémico de la zona. En la tesis de Palomera-Hernandez (2019) se estudió cómo la presencia del poecílido invasor afecta el comportamiento del goodeido. En su estudio ella evaluó los efectos de la convivencia generacional (los individuos provenían o de un lago invadido o de un lago sin invasores), durante el desarrollo hasta la edad adulta, y de la convivencia inmediata durante las pruebas de forrajeo. El método incluyó siete escenarios de temperatura distintos buscando el posible efecto de una sinergia entre las variables (el posible efecto potenciado de las invasiones biológicas y del cambio global al actuar conjuntamente). Los resultados de esta tesis demuestran que los peces nativos provenientes de la población sin experiencia con los peces invasores son más eficientes al alimentarse cuando la temperatura aumenta, efecto que es neutralizado por la presencia de

invasores. Por su parte, Ramírez Carillo y Macias Garcia (2015) compararon la abundancia de los juveniles del goodeido mexicano y del poecílido invasor, encontraron que en el lago invadido el goodeido tiene dos picos reproductivos y únicamente es abundante en invierno cuando el poecílido invasor es escaso (Fig. 3). Destaca el hecho de que en el lago que no está invadido, el patrón es diferente; en invierno hay menor abundancia pero la especie se mantiene estable. Los resultados de estos dos estudios hacen posible percibir tempranamente si un lago que se piense sin invasores está siendo invadido a través de advertir los cambios en el comportamiento de especies nativas, sea el cambio en su comportamiento de forrajeo o sus patrones reproductivos.

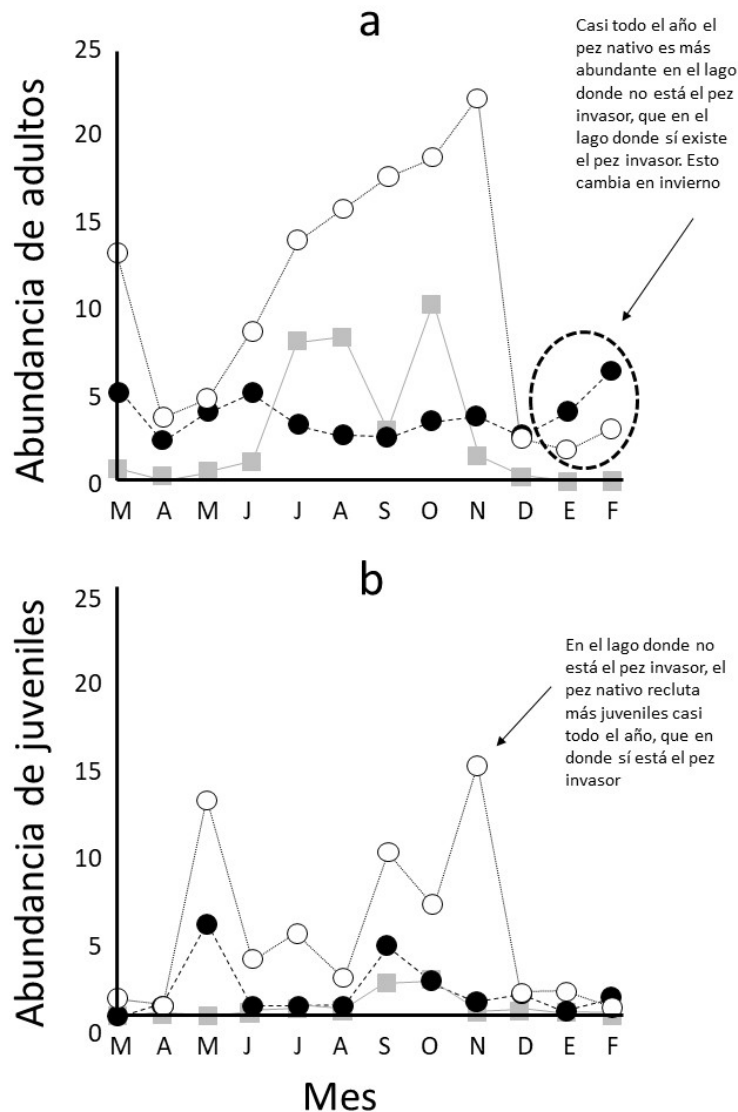


Fig. 3. a) La abundancia (número total de individuos por especie por número de puntos de muestreo en cada lago) de adultos de *G. multiradiatus* fue menor en el lago Zempoala (círculos negros) que en el lago Tonatiahua (círculos blancos) excepto en

los meses fríos. El invasor *P. bimaculatus* (cuadros grises) fue más abundante solo en el verano. b) Hay un efecto negativo en la abundancia de juveniles de *G. multiradiatus* en Zempoala (círculos negros) por la presencia del invasor *P. bimaculatus* (círculos grises) tomando como base la abundancia de juveniles nativos en Tonatiahua (círculos blancos) (modificado de Ramírez Carillo y Macías García, 2015)

Incluso si se controlan en laboratorio las variables importantes (concentración de contaminantes, fotoperiodo, estructura social, etc.), es posible agregar realismo a los estudios al enfocarse en conductas que sean naturalmente relevantes. Por ejemplo, podemos evaluar la supervivencia (y el crecimiento), o la motilidad (cantidad de movimiento) de peces expuestos a insecticidas o a especies invasoras (Arellano-Aguilar y Macías García, 2008a; Rueda-Jasso et al, 2014; Caballero-Viñas et al., 2017), o bien podemos evaluar el impacto de la exposición a, por ejemplo insecticidas o parásitos en la conducta de cortejo de los peces (Arellano-Aguilar y Macías García, 2008b; Ávila et al., 2011). La ventaja de esta última aproximación es que podemos detectar efectos potencialmente negativos para las poblaciones incluso cuando la concentración de contaminantes en el ambiente es subletal (Barbosa Valero et al., 2011).

CONCLUSIONES

Los ambientes acuáticos se caracterizan por cadenas tróficas fuertes que se ven fácilmente afectadas por el calentamiento global, fragmentación, introducción y establecimiento de especies invasoras, entre otros (Carpenter et al. 1985, Pace et al. 1999). Todas las investigaciones de ciencia básica que se han hecho son de utilidad en la selección de especies que funcionen como bioindicador, sin embargo, aún hay que promover la investigación enfocada a generar herramientas viables que contribuyan a la solución de problemas ambientales. Tenemos que reconocer que la pérdida de global de biodiversidad está sucediendo más rápido que nunca, además de encontrar mecanismos para prevenirla hay que adoptar políticas de manejo que reconcilien la fuerte presión que hay por el uso de agua para servicios a la sociedad y la imperante necesidad de preservar los ecosistemas que sustentan estos servicios. El comportamiento como bioindicador de la salud de un ecosistema es una

herramienta útil y de bajo costo que favorece políticas tanto de prevención como de monitoreo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, C.V.M., Silva, D.C.V.R., Gomes, L.E.T., et al., 2018. Habitat fragmentation caused by contaminants: Atrazine as a chemical barrier isolating fish populations. *Chemosphere*, 193, 24–31.

Arellano-Aguilar, O., Macías Garcia, C., 2008a. Exposure to pesticides impairs the expression of fish ornaments reducing the availability of attractive males. *Proc. R. Soc. B.* 275,1343-1350.

Arellano-Aguilar, O., Macías Garcia, C., 2008b. Effects of Methyl Parathion Exposure on Development and Reproduction in the Viviparous Fish *Girardinichthys multiradiatus*. *Env. Toxicol.* 24(2),178-186.

Ávila, E., Valero, A., Macías Garcia, C., 2011. Componentes conductuales del cortejo incrementan la exposición a parásitos en el pez vivíparo *Xenoporphus captivus*. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 14(2),75-81.

Barbosa Valero, I., Arellano-Aguilar, O., Macías Garcia, C., 2011. Organophosphorous Pesticides Exacerbate the Demographic Consequences of Intersexual Selection in Fish. En Margarita Stoytcheva, editora, *Pesticides - formulations, effects, fate*. InTech Publishers. ISBN 978-953-307-532-7.


Bessa Gomes, C., Sarrazin, F., 2016. From individual behavior to population viability: implications. En Berger-Tal O, Saltz D, editores, *Conservation Behaviour, applying behavioural ecology to wildlife conservation and management*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

Bossuyt, B.T.A., Janssen, C.R., 2005. Copper toxicity to different field- collected cladoceran species: intra- and inter-species sensitivity. *Environ. Pollut.*, 136, 145–154.

Brauman, K.A., Daily, G.C., Duarte, T.K., Mooney, H.A., 2007. The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services. *Ann. Rev. of Env. . Res.* 32, 67–98.

Burkhardt, R.W. 2005. *Patterns of behavior: Konrad Lorenz, Niko Tinbergen, and the founding of ethology*. University of Chicago Press, Chicago, U.S.A.

Caballero-Viñas, M.C., Garduño-Paz, M.V., Mendez-Sánchez, J.F., Macías Garcia, C., 2017. Indirect effects of the common carp on life history of the amarillo fish, *Girardinichthys multiradiatus*, an endemic species to the upper Lerma basin in Central México. *Bull. Lampetra*, 8, 144-165.

Candolin, U., Salesto, T., Evers, M., 2007. Changed environmental conditions weaken sexual selection in sticklebacks. *J. Evol. Biol.* 20, 233–239. 

Candolin, U., 2009. Population responses to anthropogenic disturbance: lessons from three-spined sticklebacks *Gasterosteus aculeatus* in eutrophic habitats. *J. Fish Biol.* 75, 2108–2121.

Carpenter, S.R., Kitchell, J.F., Hodgson, J.R., 1985. Cascading trophic interactions and lake productivity. *BioScience*, 35, 634–639.

Clavero, M., Garcia-Berthou, E., 2005. Invasive species are a leading cause of animal extinctions. *TREE*, 20, 110-110.

De La Vega-Salazar, M.Y., Avila-Luna, E., Macias-Garcia, C., 2003. Ecological evaluation of local extinction: the case of two genera of endemic Mexican fish, *Zoogoneticus* and *Skiffia*. *Biod. Cons.*, 12,2043-2056.

DeLorenzo, M.E., Taylor, L.A., Lund, S.A., Pennington, P.L., Strozier, E.D., Fulton, M.H., 2002. Toxicity and bioconcentration potential of the agricultural pesticide endosulfan in phytoplankton and zoo-plankton. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 42, 173–181.

Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O., Kawabata, Z.I., Knowler, D.J., Leveque, C., Naiman, R.J., Prieur-Richard, A.H., Soto, D., Stiassny, M.L.J., Sullivan, C.A., 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biol. Rev.* 81, 163-182.

Farah, M.A., Ateeq, B., Ali, M.N., et al., 2004. Studies on lethal concentrations and toxicity stress of some xenobiotics on aquatic organisms. *Chemosphere*, 55, 257–265.

Fisher, H.S., Wong, B.B.M., Rosenthal, G.G., 2006. Alteration of the chemical environment disrupts communication in a freshwater fish. *Proc. R. Soc. B.* 273, 1187–1193.

García-Berthou, E., Almeida, D., Benejam, L., Magellan, K., Bae, M.J., Casals, F., Merciai, R., 2015. Impacto ecológico de los peces continentales introducidos en la península ibérica. *Ecosistemas.* 24(1), 36-42.

Gesundheit, P., Macías-Garcia, C., 2018. The role of introduced species in the decline of a highly endemic fish fauna in Central Mexico. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 1-12.

Gutierrez, M.F., Paggi, J.C., Gagneten, A.M., 2012. Microcrustaceans escape behavior as an early bioindicator of copper, chromium and endosulfan toxicity. *Ecotoxicol.* 21(2), 428-438.

Krause, J., Ruxton, G.D., 2002. *Living in groups*. Oxford University Press, New York, NY, USA.

- Krinner, G. 2003. 2003. Impact of lakes and wetlands on boreal Climate. *J. Geophys. Res.* 108 (D16), 4520, doi:10.1029/2002JD002597, 2003.
- Lopes, I., Baird, D.J., Ribeiro, R. 2004. Avoidance of copper contamination by field populations of *Daphnia longispina*. *Env. Toxicol. Chem.* 23, 1702–1708.
- Lythgoe, J.N., 1984. Visual pigments and environmental light. *Vis. Res.* 24, 1539–1550.
- Maan, M.E., Seehausen, O., Van Alphen, J.J., 2010. Female mating preferences and male coloration covary with water transparency in a Lake Victoria cichlid fish. *Biol. J. Linn. Soc.* 99(2), 398-406.
- Magurran, A., 1999. The Causes and Consequences of Geographic Variation in Antipredator Behavior: Perspectives from Fish Populations. En Susan, J.A.E. y Foster, A., editores. *Geographic Variation in Behavior Perspectives on Evolutionary Mechanisms*. Oxford University Press, New York, NY, USA.
- Mathur, R., 2010. *Animal Behaviour*. Rastogi Publications. Meerut, Uttar Pradesh, India.
- Metcalfe, J.L., 1989. Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: history and present status in Europe. *Env. Poll.* 60,101–139.
- Moyle, P.B., Light, T., 1996. Biological invasions of fresh water: Empirical rules and assembly theory. *Biol. Cons.* 78, 149-161.
- Pace, M.L., Cole, J.J., Carpenter, S.R., Kitchell, J.F., 1999. Trophic cascades revealed in diverse ecosystems. *TREE.* 14, 483–488.
- Palomera-Hernandez, V., 2019. Efecto de la convivencia generacional, ontogénica e inmediata del pez goodeido nativo *Girardinichthys multiradiatus* con el pez poecílido invasor *Pseudoxiphophorus bimaculatus* en condiciones de temperatura distintas en el comportamiento de forrajeo. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ramírez Carrillo, E., Macías-García, C., 2015. Limited options for native goodeid fish simultaneously confronted to climate change and biological invasions. *Biol. Inv.* 17, 245-256. ^[L]_[SEP]
- Robertson, B.A., Rehage, J.S., Sih, A., 2013. Ecological novelty and the emergence of evolutionary traps. *TREE.* 28(9), 552-560.
- Rosa, R., Moreira-Santos, M., Lopes, I., et al., 2008. Development and sensitivity of a 12-h laboratory test with *Daphnia magna* Straus based on avoidance of pulp mill effluents. *Bull. Env. Cont. Toxicol.* 81, 464–469.

Rueda-Jasso, R.A. De los Santos-Bailón, A., Fuentes-Farias, A.L., Gutierrez-Ospina, G., 2014. Toxicidad letal y subletal del fosfato de sodio dibásico y efectos en branquias y conducta de las crías del pez goodeido *Skiffia multipunctata*. Hidrobiológica. 24(3), 207-214.

Samuelsson, P., Kourzeneva, E., Mironov, D. 2010. The impact of lakes on the European climate as simulated by a regional climate model. Boreal. Env. Res. 15, 113–129.

Silva, D.C.V.R., Araújo, C.V.M., Marassi, R.J., et al., 2018. Influence of interspecific interactions on avoidance response to contamination. Sci. Tot. Env. 642, 824–831.

Swaddle, J. P., 2016. Evolution and conservation behaviour. En Berger-Tal O., Saltz, D., editores. Conservation Behaviour, applying behavioural ecology to wildlife conservation and management. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

Tinbergen. N., 1963 On aims and methods of ethology. Z. Tierpsychol. 20, 410-433.

Uherek, C.B., Pinto Gouveia, F.B., 2014. Biological Monitoring Using Macroinvertebrates as Bioindicators of Water Quality of Maroaga Stream in the Maroaga Cave System, Presidente Figueiredo, Amazon, Brazil. International J. Ecol. 2014, 1–7.

Vorosmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M.O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S.E., Sullivan, C.A., Liermann, C.R., Davies, P.M., 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. Nature. 467, 555-561.