



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
División Académica de Ciencias Biológicas



**“MICROPLÁSTICOS EN EL TRACTO GASTROINTESTINAL DEL
BAGRE ARMADO (*Pterygoplichthy spp.*) RECOLECTADOS
EN UNA LAGUNA URBANA DE LA LLANURA DE
INUNDACIÓN DEL RÍO GRIJALVA”**

Trabajo recepcional, en la modalidad de:

Tesis de Maestría

Para obtener el grado en:

Maestría en Ciencias Ambientales

Presenta:

Gabriela Guadalupe Angúlo Olmos

Directores:

Dr. Nicolás Álvarez Pliego
Dr. Arturo Garrido Mora

Villahermosa, Tabasco, México

Febrero, 2022



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN

FEBRERO 17 DE 2022

C. GABRIELA GUADALUPE ANGULO OLMOS
PAS. DE LA MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES
P R E S E N T E

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales titulado: **"MICROPLÁSTICOS EN EL TRACTO GASTROINTESTINAL DEL BAGRE ARMADO (*Pterygoplichthy spp.*) RECOLECTADOS EN UNA LAGUNA URBANA DE LA LLANURA DE INUNDACIÓN DEL RÍO GRIJALVA"**, asesorado por el Dr. Nicolás Álvarez Pliego y Dr. Arturo Garrido Mora sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado integrado por la M. en C. Rosa Amanda Florido Araujo, Dr. Miguel Ángel Salcedo Meza, Dr. Nicolás Álvarez Pliego, Dr. Alberto de Jesús Sánchez Martínez y Dr. Everardo Barba Macías.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR

C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo

U.J.A.T.
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **“MICROPLÁSTICOS EN EL TRACTO GASTROINTESTINAL DEL BAGRE ARMADO (*Pterygoplichthy* spp.) RECOLECTADOS EN UNA LAGUNA URBANA DE LA LLANURA DE INUNDACIÓN DEL RÍO GRIJALVA”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el día 17 de febrero del dos mil veintidós.

AUTORIZO



GABRIELA GUADALUPE ANGULO OLMOS



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División
Académica
de Ciencias
Biológicas

Jefatura de Posgrado



Villahermosa, Tabasco a 24 de enero de 2022

C. GABRIELA GUADALUPE ANGULO OLMOS
EST. MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
PRESENTE

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad, y por instrucciones de la Dirección de Posgrado, se implementó la revisión de los documentos recepcionales (tesis), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad, el Reglamento General de Estudios de Posgrado, el Código Institucional de Ética para la Investigación y con los requerimientos para los posgrados en el PNPC-CONACyT.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones y el reporte de originalidad de su documento de tesis. Con el objetivo de fortalecer y enriquecer el programa de posgrado, el Coordinador Académico de la Maestría en Ciencias Ambientales, realizó la revisión del documento en la plataforma iThenticate, obteniendo el reporte de originalidad, el índice de similitud y emitió las siguientes sugerencias y recomendaciones para dar seguimiento en el documento de tesis del proyecto de investigación: "**Microplásticos en el tracto gastrointestinal del bagre armado (*Pterygoplichthys* spp.) recolectados en una laguna urbana de la llanura de inundación del río Grijalva**".

OBSERVACIONES:

1. Se demuestra el nivel de originalidad del documento y la investigación. El índice de similitud obtenido fue de 0%, el cual se ubica dentro del estándar de tolerancia de acuerdo a las Políticas y Lineamientos para el uso y manejo del Software Antiplagio de la UJAT
2. Se adjunta el informe de originalidad de la tesis de la C. Gabriela Guadalupe Angulo Olmos a través de la herramienta Turnitin iThenticate.

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

DR. ALLAN KEITH CRUZ RAMÍREZ
JEFATURA DE POSGRADO

C.C.P. Dr. Nicolás Álvarez Pliego. Director de tesis.

C.c.p. ARCHIVO

KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALICHA

Tel. (993) 358-1500 Ext. 6407. Correo e: posgrado.dacbiol@ujat.mx



DIVISION ACADÉMICA
CIENCIAS BIOLÓGICAS
JEFATURA DE POSGRADO

RESUMEN

La ingesta de microplásticos (MP) en los peces dulceacuícolas ha sido escasamente estudiado y aún no es claro sí la cantidad de partículas ingeridas por estos vertebrados puede estar asociada con las estrategias de alimentación de estos organismos. En el presente estudio se utilizó al bagre armado (*Pterygoplichthys* spp.) bajo la hipótesis de que debido a sus hábitos detritívoros y distribución demersal podría evidenciar la presencia de contaminantes MP localizados en el sedimento de una laguna ubicada en el Área Metropolitana de Villahermosa. Los 21 organismos analizados, registraron MP extraídos del tracto digestivo, los cuales fueron tratados con tres soluciones (Peróxido de hidrógeno, Hidróxido de Potasio e Hipoclorito de sodio) para la obtención de los MP. En todos los especímenes fueron encontradas 147 partículas en dos categorías: microfibras (MF: 92%) y fragmentos (8%). De acuerdo con estos resultados y a la evidencia que existe en la literatura, estas especies pueden ser un indicador global de la incorporación a la cadena trófica de los MP depositados en el sedimento de los ecosistemas acuáticos dulceacuícolas.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN	2
ANTECEDENTES.....	3
Biología de <i>Pterygoplichthys</i> spp.	5
HIPÓTESIS.....	6
OBJETIVO GENERAL.....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
METODOLOGÍA	7
Área de estudio.....	7
Análisis de datos	9
RESULTADOS.....	9
Capítulo 1	9
Title: Microfibers in the gut of invasive armored catfish (<i>Pterygoplichthys</i> spp.) in an urban lake in the floodplain of the Grijalva river basin.....	10
Introduction.....	11
Materials and methods	13
Results.....	15
Discussion.....	15
Conclusion	18
Declarations	19
Acknowledgements.....	19
References.....	20
DISCUSIÓN GENERAL/CONSIDERACIONES FINALES.....	33
LITERATURA CITADA	34

LISTA DE CUADROS

Table 1. Individuals of suckermouth catfishes (*Pterygoplichthys* spp.) collected in La Pólvara Lake, Total length (TL); Sex: Female (F), Male (M); Pigmentation patterns: Spots (S), Vermiculations (V), Spots with Vermiculations (SV) and types and number of microplastic (MP). Gut weight (WG). 30

Table 2. Freshwater fish detritivorous with MP records in the digestive tract (gut). The superscript number in each species, corresponds to Reference ID. 31

LISTA DE FIGURAS

Figure 1. Microplastics found in the digestive tract of armed catfish (*Pterygoplichthys* spp.) And other elements detected. A and B) Fiber, C) Fragment, D) Copepod, E) Remains of vegetation and organic matter. 32

Figure 2. Comparison of the mean weight (g) of the intestine with MP between males and females, of the genus *Pterygoplichthys* in an urban lagoon..... 32

INTRODUCCIÓN

Las estrategias para la disminución de la contaminación por plásticos han incluido el reciclaje, y la erradicación parcial o total mediante la participación de todos los niveles de gobierno y las ONGs. No obstante, los resultados no han sido los esperados debido a la falta de información, educación y cultura en numerosos sectores tanto públicos como privados. Los plásticos, como objetos primarios identificables o piezas fragmentadas secundarias, comprenden el mayor grupo de desechos tanto en masa como en número y estos ingresan a los ecosistemas acuáticos a través de las descargas de aguas residuales, escorrentía y derrames entre otros (Moore, 2008; Barnes et al., 2009; Andrady, 2011). Específicamente los microplásticos (MP) son partículas sintéticas, fácilmente ingeribles, pero sin valor nutricional, que varían desde unos pocos micrómetros hasta 5 mm en cualquier dimensión (Alomar et al., 2016; Abbasi et al., 2017; Turner, 2017). Se pueden clasificar en MP primarios que incluyen microperlas abrasivas en cosméticos para el lavado de cara y pasta de dientes, fibras sintéticas y píldoras de resina de preproducción, mientras que los MP secundarios se generan *in situ* por la descomposición mecánica y oxidativa de plásticos más grandes (Browne et al., 2008; Hidalgo-Ruz et al., 2012; Yang et al., 2021).

Debido a que los polímeros plásticos presentan una degradación biológica mínima, persisten en los ecosistemas por cientos o miles de años, donde su fragmentación se atribuye a la radiación ultravioleta, las fuerzas físicas y la hidrólisis (Moore, 2008). La ingestión de los fragmentos de plástico puede afectar a los organismos en su morfología y fisiología con efectos subletales como la alimentación y la reproducción e incluso puede ocasionar mortalidad directa por enredos y asfixia, así como los efectos subletales (Gregory, 2009; Rochman et al., 2013; Mattsson et al. 2015; Vendel et al., 2017; Kuśmierk y Popiołek, 2020). La ingestión de MP puede inducir toxicidad física y química, bloquear o dañar el tracto digestivo, o disminuir el estado físico individual, resultando en la muerte del organismo (Wright et al., 2013; De Sa et al., 2015; Luís et al., 2015). Además, se ha reportado en moluscos y peces, que los MP pueden llegar a trasladarse desde el intestino a otro tipo de tejidos u órganos como el sistema circulatorio o el hígado,

donde pueden acumularse y permanecer hasta por 48 días (Browne et al., 2008; Collard et al., 2017).

En este contexto, el intervalo de tamaño de las partículas plásticas se puede superponer con el de numerosos organismos planctónicos o con parte de la materia orgánica en el sedimento, por lo que son comúnmente ingeridos por organismos planctívoros y detritívoros (Wright et al., 2013); o involuntariamente, si los MP ya estaban presentes dentro o adheridos a la presa. Esta ingesta de MP por especies de peces, ha sido documentada desde el comienzo de la década actual (Boerger et al., 2010; Davison y Asch, 2011). Los MP son una preocupación emergente y el conocimiento sobre su impacto en la vida acuática y los hábitats es limitado, por lo que es relevante demostrar la dinámica y la relación entre los MP y la biota (Rodrigues et al., 2018).

Los ecosistemas acuáticos ubicados en la planicie de la cuenca del río Grijalva, son ambientes con alta presión a causa de las actividades y prácticas antropogénicas (Palomeque et al., 2017), en consecuencia presentan una alta tasa de contaminación por el contacto directo con diversas actividades del ser humano (por ejemplo descarga de aguas negras, depósitos de basura, desechos industriales, entre otras (Moore, 2008; Barnes et al., 2009; Dris et al., 2016; Li et al., 2018; Zhang et al., 2019). En este sentido, los efectos secundarios ocasionados por esta alta presión y la forma en que los MP pueden estar presentes y dañar a los organismos acuáticos aún siguen sin ser revisados. La presente investigación propone detectar la presencia de estos contaminantes en el contenido estomacal del pez diablo o bagre armado, el cual presenta hábitos bentófagos, detritívoros y está distribuido ampliamente en las lagunas en la zona urbana de la cuenca del río Grijalva (Sánchez et al., 2019).

JUSTIFICACIÓN

Las lagunas ubicadas en la zona metropolitana de la ciudad de Villahermosa (ZMV), son ecosistemas con presión por actividades y prácticas humanas. Su degradación está asociada a diferentes fuentes de contaminantes, entre las cuales, los menos estudiados son los emergentes, como los microplásticos. En esta zona urbana, no existen estudios

que demuestran la presencia e ingreso de estos MP a las lagunas o en los organismos acuáticos.

En este contexto, la presente investigación propone determinar la presencia de microplásticos en el contenido estomacal del bagre armado (*Pterygoplichthys* spp.), el cual, es una especie invasora que se encuentra distribuido en gran número en la mayoría de los ambientes acuáticos de la ZMV y presenta una alta tolerancia a diversos contaminantes o bajas concentraciones de oxígeno. Además, esta especie se caracteriza por ser un organismo bentófago demersal de hábitos detritívoros, por lo que sus atributos biológicos permitirán identificar la presencia de MP en los sedimentos en una laguna urbana y su posible uso como bioindicador.

ANTECEDENTES

En las últimas décadas, la producción de plástico aumentó drásticamente junto con su acumulación y contaminación en el ambiente (Lima et al., 2014; Correa-Herrera et al., 2017). Las características, como la durabilidad, la flotabilidad y la resistencia, permiten que el plástico sea extremadamente duradero o persistente. Con la influencia del viento, la lluvia y la escorrentía, los plásticos pueden dispersarse a cualquier hábitat (Browne et al., 2010; Frías et al., 2014; Lima et al., 2014) y como consecuencia directa del uso masivo de plásticos en la sociedad moderna, los desechos plásticos se acumulan, especialmente en áreas urbanizadas, donde a menudo terminan en vías fluviales y finalmente se transportan al océano (Thompson et al., 2004; Browne et al., 2015).

Los MP comprenden plásticos fabricados de tamaño microscópico (< 5 mm), como depuradores (Gregory, 1996; Fendall y Sewell, 2009) y gránulos industriales que sirven como precursores para la industria del plástico (fuentes primarias), o fragmentos o fibras de plásticos derivados de la descomposición de productos del mismo material, pero de mayor tamaño (fuentes secundarias) (Arthur et al., 2009; Cole et al., 2011; Browne et al., 2015). Los registros que se refieren a problemas ambientales causados por los MP se han informado principalmente en ambientes marinos, y es menos frecuente para estuarinos y dulceacuícolas (Li et al., 2016).

Debido a que los ecosistemas acuáticos continentales están estrechamente asociados con el ambiente terrestre y su volumen es menor que el de los océanos, representan sitios importantes para el transporte y la concentración de partículas en los ríos y lagunas (McNeish et al., 2018). Sin embargo, en estos ambientes existen pocos estudios de las interacciones biológicas con los MP (Lambert y Wagner, 2018; McNeish et al., 2018). Debido a su tamaño, los MP pueden confundirse fácilmente con alimento para los peces, y su ingestión puede causar lesiones como abrasiones internas y bloqueos (Eerkes-Medrano et al., 2015; Rezaña et al., 2018). Además, los MP tienen la capacidad potencial de adsorber metales o contaminantes orgánicos persistentes del ambiente y, cuando se ingieren, pueden aumentar el riesgo de efectos negativos en el organismo (Fendall y Sewell, 2009; Frías et al., 2010; 2014; Cole et al., 2011).

En aguas continentales están claramente identificadas diversas fuentes de MP y los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas son las de mayor importancia (Dubaiish y Liebezeit, 2013) en particular las aguas residuales domésticas (Browne et al., 2011). Sánchez et al. (2014), proporcionaron las primeras evidencias de que los peces de agua dulce ingieren MP. En un estudio realizado en 11 arroyos de Francia, caracterizados por diversas presiones ambientales, encontraron MP en el tracto digestivo del 12% de los especímenes recolectados de la especie *Gobio gobio* (Linnaeus), un pez de hábitos zoobentófagos.

Por su parte, Phillips y Bonner (2015) investigaron la ocurrencia de plástico en el contenido estomacal de 51 especies de peces de ríos que drenan al Golfo de México, en Texas, E.U.A. En sus resultados encontraron que el porcentaje de ingestión de plásticos en peces de ambientes acuáticos no urbanizados fue menor (5 %) que al de los ubicados en áreas urbanas (29 %). De este último porcentaje, se observó una mayor ocurrencia de MP en los organismos bentófagos (19 %) que en los de hábitat pelágico (7.7 %).

Peters y Bratton (2016) descubrieron que el 45 % de las especies de peces recolectados (*Lepomis macrochirus* y *L. megalotis*, ambas especies carnívoras habían ingerido MP en la cuenca central del río Brazos en Texas, E. U. A. Jabeen et al. (2017) estudiaron la contaminación micro y mesoplástica en peces marinos y de agua dulce de China,

encontrando MP en el 95.7 % de los peces de agua dulce (*Carassius auratus*, *Cyprinus carpio*, *Hemiculter bleekeri*, *Hypophthalmichthys molitrix*, *Megalobrama amblycephala* y *Pseudorasbora parva*).

Silva-Cavalcanti et al. (2017) evaluaron la ingestión de MP por *Hoplosternum littorale* (Hancock), un bagre de agua dulce de hábitos bentófagos y que es consumido comúnmente por las comunidades al noreste de Brasil. En el 83 % de los peces capturados observaron MP en su sistema digestivo. Esta proporción resultó superior a lo reportado para otros peces de agua dulce, estuarios o incluso marinos (Pinheiro et al., 2017). En Estados Unidos, en el Lago Michigan, (McNeish et al. (2018) encontró una mayor concentración de MP en el contenido estomacal de peces zoobentófagos en comparación con los omnívoros.

Los MP en el tracto digestivo de peces dulceacuícolas se han estudiado principalmente en especies carnívoras bentófagas: el 49% de las especies reportadas, (Sánchez et al., 2014; Phillips y Bonner, 2015; Biginagwa et al., 2016; Peters y Bratton, 2016; Jabeen et al., 2017; Horton et al., 2018; McNeish et al., 2018; dos Santos et al., 2020; Kuśmierk y Popiołek, 2020; Vidal et al. 2021). En contraste, solo el 13% de las especies estudiadas fueron detritívoras (Silva-Cavalcanti et al., 2017; McNeish et al., 2018; Adeogun et al., 2020; Vidal et al., 2021), de las cuales sobresalen especies de Siluriformes demersales como el coridoras *Hoplosternum littorale* (Hancock) o los loricáridos *Otocinclus arnoldi* Regan y *Hypostomus commersoni* Valenciennes (Vidal et al., 2021).

Biología de *Pterygoplichthys* spp.

El pez diablo o bagre armado de Sudamérica del género *Pterygoplichthys* está firmemente establecido en partes del sureste de México. Los registros de estas especies han sido bien documentados para la planicie de las cuencas Grijalva-Usumacinta (Sánchez et al., 2015; 2019). Estos peces de la familia Loricariidae son organismos exóticos caracterizados por un gran potencial de invasión, una alta tasa de dispersión y una significativa proliferación de sus poblaciones, que se maximiza debido a sus cuidados paternos (Mendoza et al., 2007). Tienen una gran adaptación a los ambientes con pobre calidad en el agua, sin embargo, no toleran las bajas temperaturas (Nico y

Martin, 2001). Tienen la capacidad de vivir en ambientes con bajo oxígeno disuelto y pueden absorber oxígeno atmosférico que le permite sobrevivir hasta 30 h fuera del agua (Nico y Martin, 2001; MacCormack et al., 2003; Armbruster, 2004). La dieta del pez diablo es detritívora, pero también llega a alimentarse de algas o pequeños invertebrados bentónicos (Hill, 2001; Nico y Martin, 2001; Hoover et al., 2004; Mendoza et al., 2009).

El pez diablo, por ser una especie invasora se le puede encontrar ampliamente distribuido en las lagunas ubicadas en la ZMV con diferentes tipos de conexión hidráulica y presión antrópica (Sánchez et al., 2019). Así mismo, su afinidad ecológica y hábitos alimentarios similares a la de otras especies detritívoras con registros frecuentes de MP en su tracto digestivo (Philips y Bonner, 2015; McNeish et al., 2018), podría representar una especie clave para la detección de estos contaminantes. Por otro lado, una de las estrategias para controlar la invasión de pez diablo es su uso o consumo, en este sentido al utilizar a esta especie con fines científicos es una alternativa útil para su erradicación.

HIPÓTESIS

En las lagunas ubicadas en la ZMV, los microplásticos ingresan y persisten en el sedimento y su ingesta se evidencia frecuentemente en el contenido estomacal de organismos bentófagos-detritívoros como el pez diablo (*Pterygoplichthys* spp.), por consiguiente, esta especie resultará un buen indicador global de este tipo de contaminantes presentes en el sustrato de los ecosistemas acuáticos urbanos.

OBJETIVO GENERAL

Determinar la presencia de microplásticos en el tracto digestivo del pez diablo (*Pterygoplichthys* spp.) en la laguna urbana del parque “La Pólvora”, en la Zona Metropolitana de Villahermosa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Cuantificar los MP observados en el tracto digestivo de los ejemplares.
2. Clasificar los MP hallados en los sistemas digestivos.
3. Valorar si el pez diablo puede considerarse como un bioindicador para la detección de MP en el sedimento de una laguna urbana.

METODOLOGÍA

Área de estudio

La laguna “La Pólvora” está localizada (17°58'56"-17°58'45" N; 92°55'30"-92°55'31" O) en el Zona Metropolitana de Villahermosa (ZMV) en la cuenca del río Grijalva. La laguna presenta un área de 4 ha y es una depresión ribereña aislada hidráulicamente del río Grijalva por infraestructura urbana y sin vegetación marginal por su rehabilitación como parque urbano desde 1985, por lo que su volumen se ha mantenido por escurrimientos o durante las inundaciones extremas o extraordinarias (Sánchez et al. 2012). La laguna está rodeada por edificios gubernamentales, escuelas, residencias, comercios y debido a esto recibe una fuerte presión por las actividades que ahí se realizan, lo que ha causado una condición de perturbación por la alta concentración de fósforo (0.116-0.126 mg/l) y clorofila a (69 a 101 µg/l) de acuerdo con Sánchez et al. (2012) y su contaminación por altos valores de coliformes fecales (7900 a 240 000 NMP/100mL) y una baja riqueza de especies acuáticas (Sánchez et al. 2012, Torres-Martínez et al. 2017, SEIACC, 2021).

Veintiún especímenes con un intervalo de talla entre 280 a 370 mm de TL, fueron capturados el 23 de marzo de 2015, utilizando una red agallera (50 m longitud, 2 m de caída, 6.5 cm de luz de malla) and una red de cuchara (1 cm de luz de malla). Los organismos se fijaron en una solución de formalina al 10% durante 15 días y posteriormente fueron lavados con agua corriente para eliminar el formol y se preservaron en alcohol al 70%. Se identificaron 13 hembras que presentaron gónadas en estadio de maduración III y IV (de acuerdo con los criterios de Núñez y Duponchelle 2009). En el caso de los ocho machos no fue posible determinar la etapa de maduración,

pues las gónadas se vieron afectadas por su preservación en formol y alcohol. En cuanto al patrón de pigmentación ventral, ocho especímenes registraron puntos, siete vermiculaciones y seis con pigmentación mixta (puntos y vermiculaciones) (Tabla 1). En el presente estudio, se tomó la decisión mantener la identificación de los especímenes a nivel género (*Pterygoplichthys* spp.) con referencia a las claves de Armbruster y Page (2006). Lo anterior se sustenta en los antecedentes de manejo, cultivo y posible hibridación de las especies de bagres armados, que si bien se han realizado estudios para dilucidar su incertidumbre taxonómica para la cuenca Grijalva-Usumacinta (Vargas-Rivas et al., *en Revisión*) se mantiene lo sugerido por Wu et al. (2011), Nico et al. (2012) y Álvarez-Pliego et al. (2015).

En cada organismo se le midió la longitud total (LT) and el peso (gr). Los MP fueron extraídos del tracto digestivo, mediante una disección en la cavidad visceral haciendo dos cortes en la zona ventral del organismo, desde el ano hasta el origen de la aleta pectoral derecha, repitiendo el proceso hacia la aleta pectoral izquierda. El peso del tracto digestivo (PTD) fue medido en gramos y con base en el protocolo de Abassi et al. (2018), los sistemas digestivos fueron sumergidos en soluciones de 30 ml de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 35 % y en 30 ml de Hidróxido de potasio (KOH) al 4 %, para disolver los tejidos y materia orgánica sin dañar o alterar la forma, color y tamaño de los MP. En las muestras en que la materia orgánica persistió se utilizó posteriormente Hipoclorito de sodio (NaClO) al 4% durante una semana adicional. Una vez disuelta la materia orgánica, la muestra fue filtrada a través de un tamiz de 2 µm y enjuagada con agua corriente para la separación y obtención de los MP.

El remanente se revisó con una lente 10x en un microscopio OLYMPUS BX41 para la identificación y clasificación de los MP de acuerdo con las categorías propuestas por Free et al. (2014): 1) gránulo o partícula (cubo de forma irregular con bordes lisos a dentados y sin ningún plano liso); 2) fibra (estructura delgada en forma de hilo); 3) fragmento (cubo de forma irregular con al menos un plano liso) and 4) película (transparente con dos planos lisos).

Análisis de datos

El número de MP fue contabilizado por espécimen y por el total de organismos revisados para obtener el promedio de MP por individuo (MP/Ind) siguiendo el protocolo de Vidal et al. (2021). Así mismo con la información de las medidas corporales, se obtuvo la relación entre el número de MP vs peso del tracto (MP/PTD). El peso del tracto digestivo entre hembras y machos fue evaluado por medio de un análisis no paramétrico de Wilcoxon ($p < 0.05$) (Legendre & Legendre 1998), ya que no se cumplieron con los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk; $p = 0.0045$) y homocedasticidad (Bartlett; $p < 0.05$) (Underwood, 1997), estos análisis se calcularon en el programa JMP v 8.0.2 (SAS Institute Inc. 2009). Por último, los resultados obtenidos se compararon con datos registrados en publicaciones previas donde se revisaron los MP en el contenido estomacal de peces dulceacuícolas, de hábitos detritívoros en ambientes acuáticos urbanos.

RESULTADOS

Capítulo 1

Fecha de envío: 07/enero/2022

Microplastic and Nanoplastic (E-ISSN: 2662-4966) es una revista de acceso abierto publicada por SpringerOpen y que tiene como objetivo publicar ciencia innovadora de alta calidad que proporcione una comprensión cuantitativa y mecanicista de los factores que impulsan las emisiones, el destino, los efectos, los riesgos y las respuestas sociales a la presencia de desechos plásticos en la naturaleza y la sociedad, así como nuevas opciones y tecnologías de remediación y mitigación de riesgos. Los manuscritos sometidos a esta revista son revisados por pares y la publicación de los artículos aceptados es continua. <https://microplastics.springeropen.com/>

Title: Microfibers in the gut of invasive armored catfish (*Pterygoplichthys* spp.) in an urban lake in the floodplain of the Grijalva river basin.

Gabriela Angulo-Olmos^{1*}, Nicolás Álvarez-Pliego², Alberto J Sánchez², Rosa Florido², Miguel Ángel Salcedo², Arturo Garrido-Mora², Allan K Cruz-Rámirez²

Author e-mails: gabygao225@gmail.com (GAO) nicolas.alvarez.pliego@gmail.com (NAP), alberthoj.sanchez@gmail.com (AJS), rosyflorido@gmail.com (RF), mzalcedo@gmail.com (MAS), garri5609@hotmail.com (AGM), ak.cruz.ramirez@gmail.com (AKCR)

¹ Maestría en Ciencias Ambientales, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 0.5 km carretera Villahermosa-Cárdenas, 86039 Villahermosa, Tabasco, México

² Diagnóstico y Manejo de Humedales Tropicales, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 0.5 km carretera Villahermosa-Cárdenas, 86039 Villahermosa, Tabasco, México

* Corresponding autor: gabygao225@gmail.com

Abstract

The intake of microplastics by freshwater fish has been scarcely studied, and it is not yet clear whether the amount of particles these vertebrates ingest is associated with their feeding strategies. This study focused on the suckermouth armored catfish (*Pterygoplichthys* spp.) under the hypothesis that, due to its detritivorous habits and demersal distribution, it may show evidence of the presence of microplastics in the sediments of a lake located in the Metropolitan Area of Villahermosa. The 21 organisms presented plastic microfibers throughout their digestive

systems. These were treated with three solutions (hydrogen peroxide, potassium hydroxide and sodium hypochlorite) to separate the microplastics. From the specimens were collected 147 particles of two categories: microfibers (92%) and fragments (8%). Considering these results, as well as evidence in the literature, these species may constitute a global indicator of the incorporation into the trophic chain of microfibers deposited in the sediments of freshwater ecosystems.

Key words: microfibers, demersal, detritivorous, cosmopolitan, non-native, invasive, dominant, freshwater, Loricariidae

Introduction

Plastics constitute the largest group of pollutants that enter freshwater ecosystems, mainly as discarded rubbish and via wastewater treatment plant discharges, runoff, rain and even air (1–5). Microplastics (MP), particles <5 mm, have been scarcely documented for limnetic environments and, according to Lambert and Wagner (6), less than 4% of publications on MP focus on this type of aquatic systems, and even less on lakes (7–10).

MP in freshwater environments are present in at least four forms: fibers, fragments, films and pellets (4, 7, 11, 12), and their origin may be determined depending on their form. For example, pellets come from personal care products (13), while microfibers result from the decomposition of larger plastic objects like bags, clothing and, at present, personal protection articles that have been increasingly used in response to COVID-19 (14–18). Microfibers have thus become the dominant form due to their numerical abundance in the digestive systems of fish and in freshwater ecosystem sediments (12, 16, 18).

It has been suggested that the distribution of MP in these aquatic ecosystems is markedly heterogeneous and is mixed with other natural particles (19). Their distribution in the water

column or in sediments is related to their density with respect to that of the water (20, 21). Due to their distribution in the water column and in sediments, MP may be easily ingested as prey, or incidentally by pelagic and demersal fish that employ different feeding strategies (22–25). In addition, the association between MP and microbial organisms, and their adsorption of organic matter, favour their settlement and accumulation on lentic ecosystem substrates (18, 25–27) which, in turn, could increase their presence in the digestive system of detritivorous demersal fish.

MP in the digestive system of freshwater fish have been recorded mainly in bottom-feeding carnivorous species (49% of the studied species), with an ample variation per species of the percentage of MP ingestion, varying from 12 to 100% of all organisms collected, and an average range of 0.4 to 1.05 MP per individual (12, 28–36). In contrast, only 13% of the species reported were detritivores (9, 12, 34, 37), of which outstanding species include demersal Siluriformes like the armored catfish *Hoplosternum littorale* (Hancock) with an 83% ingestion and 3.6 MP per individual in the Pajeú river, Brazil (37) and *Otocinclus arnoldi* Regan and *Hypostomus commersoni* Valenciennes with MP ingestion percentages of 80 to 100% and 1.4 to 2.5 MP per individual in Uruguayan streams of the Plata River basin (12).

In the northern region of Middle America, non-native invasive species of the armored catfish *Pterygoplichthys* spp. have been recorded as demersal detritivores, and are numerically dominant in the urban and suburban aquatic ecosystems of the floodplain of the river Grijalva (38). Due to its cosmopolitan distribution (39), feeding and morphology, the armored catfish can be proposed as a global bioindicator to quantify the uptake into the trophic chain of microfibers accumulated in the sediments of lentic ecosystems or low hydraulic energy areas in rivers (meanders), such as the low-lying areas or lakes associated with rivers on coastal plains where environmental

conditions have negatively affected aquatic fauna (40, 41). In order to prove this hypothesis, the aim of this study was to quantify the microfibers ingested by armored catfish after having been deposited and fragmented on the substrate of a low-lying area or a riparian lake with environmental disturbance conditions similar to those recorded for other urban ecosystems (8, 9).

Materials and methods

La Pólvara lake is located (17°58'56''–17°58'45'' N; 92°55'30''–92°55'31'' W) in the Metropolitan Area of Villahermosa (MAV) in the Grijalva river basin. It has an area of 40,650 m². It is a riparian depression that is hydraulically isolated from the river Grijalva by urban infrastructure, and has no marginal vegetation due to its rehabilitation as an urban park since 1985. For this reason, its volume is maintained by runoff and extreme or extraordinary flood events (40). The lake is surrounded by government and commercial buildings, schools and houses. It is subject to strong pressure from activities that take place in the area, which have resulted in hypereutrophic conditions due to high concentrations of phosphorus (0.116-0.126 mg/l) and chlorophyll *a* (69-101 µg/l), according to Sánchez et al. (40), pollution due to high values of fecal coliforms (7900-240 000 NMP/100 ml) and a low number of aquatic species (40-42).

On 23 March 2015, 21 specimens measuring 280 to 370 mm TL were collected with a set gillnet (50 m long, 2 m depth, 6.5 cm mesh size) and a cast net (1 cm mesh size). The specimens were preserved in a 10% formalin solution for 15 days, after which they were rinsed in running water to eliminate the formaldehyde and kept in 70% alcohol. The identification included 13 females with gonads in stages III and IV of maturation (in accordance with Núñez & Duponchelle [43]), and eight males for which it was not possible to determine the maturation stage since the gonads were affected by the preservation in formaldehyde and alcohol. Regarding the ventral

pigmentation pattern, eight specimens presented spots, seven vermiculations and six mixed pigmentation (spots and vermiculations) (Table 1). In view of this, it was decided to keep the identification of the specimens at the genus level (*Pterygoplichthys* spp.) following the keys of Armbruster and Page (44) as, due to the history of management and cultivation of these organisms and the lack of genetic studies in the Grijalva basin, it has been suggested that the pigmentation patterns and the morphological characteristics are insufficient to identify species (45–47). Each organism was measured for total length (TL) and weight (gr). MP were extracted from the digestive tract through a dissection in the visceral cavity, making two cuts in the ventral area of the organism from the anus to the origin of the right pectoral fin and repeating the process towards the left pectoral fin. The weight of the gut (WG) was recorded in grams and, following the protocol of Abassi et al. (24), the digestive tract was submerged in solutions of 30 ml of 35% hydrogen peroxide (H₂O₂) and 30 ml of 4% potassium hydroxide (KOH) in order to dissolve tissues and organic matter without damaging or altering the forms, colours and sizes of the MP. A solution of 4% sodium hypochlorite (NaClO) was later added for an additional week to the samples in which organic matter persisted. Once the organic matter had dissolved, the sample was filtered through a 2 µm sieve and rinsed under running water to separate and obtain the MP. The remainder was observed with a 10x lens on an OLYMPUS BX41 microscope to identify and classify the MP following the categories proposed by Free et al. (7): 1) granule or particle (irregularly shaped cube with smooth to jagged edges and no smooth plane), 2) fiber (thin thread-shaped structure), 3) fragment (irregularly shaped cube with at least one smooth plane) and 4) film (transparent with two smooth planes).

The number of MP was counted per specimen and for all the organisms studied in order to obtain an average of MP per individual (MP/ind) following the protocol of Vidal et al. (12). The

relationship between the number of MP and the gut weight (MP/WG) was obtained using body measurements data. The gut weights of the females and males were evaluated with a Wilcoxon non-parametric analysis ($p < 0.05$) (48), since the assumptions of normality (Shapiro-Wilk; $p = 0.0045$) and homocedasticity (Bartlett; $p < 0.05$) (49) were not met. These analyses were carried out using the JMP v 8.0.2 programme (50). The results obtained were compared with data recorded in previous publications where the MP in the stomach contents of freshwater detritivorous fish in urban aquatic environments were studied.

Results

MP were found in the 21 analysed specimens, varying from two to up to 15 pieces in two animals (Table 1). A total of 147 particles of two categories were counted: microfibers (92%) and fragments (8%) (Figs 1a, b and c, Table 1). The average number of MP per individual was 7 ± 4.5 . The weights of the male and the female stomachs with MP were not significantly different (Wilcoxon, $p = 0.53$) (Fig. 2).

Also observed in some of the processed samples were remains of plant matter, microcrustaceans (harpacticoid copepods) and detritus (Figs 1d and e). It was also possible to see that some fibers were tied up among filaments of aquatic vegetation.

Discussion

The high percentage of microfibers (92%) identified in the stomach contents of the armored catfish is consistent with the predominance of this category of MP in freshwater demersal detritivores fish (12, 18, 21, 34, 36, 37), and in turn explains that one of the main sources of microfibres in La Pólvera lake is the decomposition of larger materials that are transported by different means (4, 5, 11, 51).

Related to the high environmental pressure caused by human activities, the hydraulic isolation of lakes around the world has generated hypereutrophic conditions, a low biological diversity, damage to organisms and the presence of dominant invasive species (52–54), where runoff and rainfall remained as the main contributions of water inputs as a result of the hydraulic isolation and the microtopography (51, 55). These conditions of hydraulic isolation are more marked during the dry season when runoff and rainfall are scarce and the volume and level of the water decrease, allowing the retention of materials and their settlement on the sediments (18, 56, 57). This condition has been frequently reported in urban and suburban lakes located on the coastal plain of the river Grijalva basin (38, 40, 57, 58).

In the case of La Pólvara lake, hypereutrophic conditions (40), fecal coliforms above the allowed limits regarding services to the public (42), a decrease in biodiversity that includes the absence of macrocrustaceans and the presence of non-native species like the armored catfish (38, 40), have been recorded. Also, histopathological alterations such as testicular degeneration in the threadfin shad *Dorosoma petenense* (Günther) and melanomacrophage centers in the ovaries of *D.*

petenense and *Thorichthys meeki* Brind (41) have been detected. Although the reason for this type of lesions has not been investigated in la Pólvara lake, background studies have reported that changes in the liver tissue of Japanese rice fish (*Oryzias latipes*) (59) are tied to the plastic chemical compounds being bioaccumulate and affecting fish metabolism (25, 36, 60, 61).

To these disturbance conditions are added the results of this study which show that the amount of microfibers recorded in the digestive systems of the armored catfish specimens is very similar to that recorded for other species of aquatic environments adjacent to urban centers (for example 12, 34). This proves the frequency of contributions of this type of particles that result from the decomposition of larger plastics (bags, clothing, consumer products) discarded by people that

then enter La Pólvera lake. This, together with the topographical characteristics and the above-stated human impacts, increases the concentration of MP in these aquatic ecosystems (7, 31).

Likewise, some demersal freshwater fish species with similar feeding strategies to those of suckermouth armored catfish have registered high concentrations of MP, dominated by microfibers. For instance, in urban lake of 7.63 MP/ind (8), in urban rivers of 3.6-6.4 MP/ind (34, 37) and in suburban streams of 0.63-21.4 MP/ind (12) (Table 2).

At present, the geographical comparison of the quantification and description of MP in the digestive systems of fish is still inaccurate since the results has been reported in at least by three procedures: 1) the average number of particles and the categories determined in all the individuals reviewed (8, 12, 34 37); 2) the range of MP observed (8, 9, 37) and 3) the use of fluorescence techniques to count MP (9). However, the available information makes it possible to see that the intake of these pollutants by bottom-dwelling detritivorous fish in lentic environments is greater than that taken by fish in river environments where detritivorous fish recorded values <6.4 MP/ind, while average values are >7 MP/ind in the first case, including those reported in this study (Table 2).

The presence of MP in freshwater fish has been documented since 2014, and since then the number of studies related to these freshwater vertebrates has increased. However, more research is needed to better establish whether the type of feeding of each species is related to the amount and type of MP found in their guts. The present study documents the presence of microfibers in an invasive, bottom-feeding detritivorous loricariid fish that may be used as a global indicator of MP accumulated in sediments and their possible transfer to the trophic chain, as was observed in this study and in others that studied this type of species (12, 34, 37).

Conclusion

The proposal to use the armored catfish as an indicator of the dominant microfibers present on urban aquatic environment sediments is very feasible considering the results obtained in this study. Its use may also serve a dual purpose: 1) it may be used to detect these pollutants in urban lake due to its high tolerance and dominance in altered environments, and 2) as an invasive species in several regions of the five continents, its scientific use may constitute a method to regulate the populations of these non-native fish without affecting autochthonous species.

In addition, the predominance of microfibers found in the stomach contents of the armored catfish and other bottom-feeding species in urban aquatic environments suggests that the main source of pollutants is the weathering or fragmentation of plastic products of urban use. Related to this, the activation of sanitary measures (since 2019) in response to COVID-19 produced an exponential consumption of medical articles of personal use including facemasks, gloves, masks, and sanitising towels, several of them a main source of plastic microfibers (15–17) and, although there exist recommendations for their use, these are mostly not followed and the articles end up as rubbish or urban waste. In this context, an increase of these pollutants in aquatic organisms and environments may be expected, mainly those located within urban centers, and for this reason the armored catfish as a bioindicator may turn out to be a good detector of this type of pollutants.

The microfibers detected in the stomach contents of the *Pterygoplichthys* spp. specimens appear to have not been affected by the use of reagents (10% formaldehyde and 70% alcohol) in the preservation process, considering the high number of detected particles (147). However, Lusher et al. (62) indicated that synthetic polyamides such as nylon may be damaged by concentrations of 10% formaldehyde, and suggested that other preservation techniques like drying or freezing

be used in studies of MP in fish. In the case of not being able to preserve fish as is suggested, an alternative could be the dissection of the digestive tract and its preservation in 4% diluted formalin and a saturated solution of sodium borate to reduce acidity and maintain a neutral pH.

Declarations

Availability of data and materials

The dataset supporting the conclusions of this article is included within the article

Competing interests

Authors declare no competing interests

Funding

The first author received a master's degree scholarship from Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Authors' contributions

GAO- Execution of sampling, data analysis, interpretation, results, and writing. NAP- Collected fish, methodology; interpretation, writing, review and editing of figures and tables. AJS- interpretation, writing, review and editing. RF- Collected fish, statistical data analysis, writing, review & editing. MAS- Analysis and interpretation of results, writing and review. AGM- interpretation, results, and writing. AKCR- Collected fish, writing, review & editing.

Acknowledgements

We would like to thank Andrea Raz-Guzmán, PhD., UNAM, for editorial services and the translation into English.

References

1. Moore CJ. Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing long-term threat. *Environ Res.* 2008; 108(2):131–139. <http://doi.org/10.1016/j.envres.2008.07.025>
2. Barnes DKA, Galgani F, Thompson RC, Barlaz M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos Trans R Soc B: Biol Sci.* 2009; 364:1985–98. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
3. Dris R, Gasperi J, Saad M, Mirande C, Tassin B. Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment. *Mar Pollut Bull.* 2016; 104(1-2):290–293. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.006>
4. Li J, Liu H, Chen P. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Res.* 2018; 137:362-374. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>
5. Zhang Y, Gao T, Kang S, Sillanpää M. Importance of atmospheric transport for microplastics deposited in remote areas. *Environ. Pollut.* 2019; 254 Part A:112953 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.121>
6. Lambert S, Wagner M. Microplastics Are Contaminants of Emerging Concern in Freshwater Environments: An Overview. In Wagner M, Lambert S, editors. *Freshwater Microplastics, Emerging Environmental Contaminants. The Handbook of Environmental Chemistry vol 58.* Springer, Cham. 2018. p. 1-23. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5_1
7. Free CM, Jensen OP, Mason SA, Eriksen M, Williamson NJ, Boldgiv B. High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Mar Pollut Bull.* 2014; 85(1):156-163. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.001>

8. Yuan W, Liu X, Wang W, Di M, Wang J. Microplastic abundance, distribution and composition in water, sediments, and wild fish from Poyang Lake, China. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2019; 170;180-187. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.126>
9. Adeogun AO, Ibor OR, Khan EA, Chukwuka AV, Omogbemi ED, Arukwe A. Detection and occurrence of microplastics in the stomach of commercial fish species from a municipal water supply lake in southwestern Nigeria. *Environ Sci Pollut Res.* 2020; 27: 31035–31045. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09031-5>
10. Hurt R, O'Reilly CM, Perry WL. Microplastic prevalence in two fish species in two U.S. reservoirs. *Limnol Oceanogr Lett.* 2020; 5:147-153. <https://doi.org/10.1002/lol2.10140>
11. Dris R, Gasperi J, Tassin B. Sources and Fate of Microplastics in Urban Areas: A Focus on Paris Megacity. In Wagner M, Lambert S, editors. *Freshwater Microplastics, Emerging Environmental Contaminants. The Handbook of Environmental Chemistry vol 58.* Springer, Cham. 2018. p. 69-83. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5_1
12. Vidal C, Lozoya JP, Tesitore G, Goyenola G, Teixeira-de-Mello F. Incidence of Watershed Land Use on the Consumption of Meso and Microplastics by Fish Communities in Uruguayan Lowland Streams. *Water.* 2021; 13(11):1575. <https://doi.org/10.3390/w13111575>
13. Fendall LS, Sewell MA. Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Mar Pollut Bull.* 2009; 58(8):1225-1228. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.04.025>

14. Browne MA, Galloway TS, Thompson RC. Microplastic-an emerging contaminant of potential concern. *Integ Environ Assess Manag.* 2007; 3:559–66.
<https://doi.org/10.1002/ieam.5630030412>
15. Fadare OO, Okoffo ED. Covid-19 face masks: A potential source of microplastic fibers in the environment. *Sci Total Environ.* 2020; 737: 140279.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140279>
16. Wu M, Yang C, Du C, Liu H. Microplastics in waters and soils: Occurrence, analytical methods and ecotoxicological effects. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2020; 202: 110910.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110910>
17. Shruti VC, Pérez-Guevara F, Kutralam-Muniasamy G. Wet wipes contribution to microfiber contamination under COVID-19 era: An important but overlooked problem. *Environmental Challenges* 2021; 5:100267. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100267>
18. Yang L, Zhang Y, Kang S, Wang Z, Wu C. Microplastics in freshwater sediment: A review on methods, occurrence, and sources. *Sci Total Environ.* 2021; 754; 141948.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141948>
19. Klein S, Dimzon IK, Eubeler J, Knepper TP. Analysis, Occurrence, and Degradation of Microplastics in the Aqueous Environment. In Wagner M, Lambert S, editors. *Freshwater Microplastics, Emerging Environmental Contaminants. The Handbook of Environmental Chemistry* vol 58. Springer, Cham. 2018. p. 51-67. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5_1

20. Cole M, Lindeque P, Halsband C, Galloway TS. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar Pollut Bull.* 2011; 62(12):2588–97.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
21. Li C, Busquets R, Campos LC. Assessment of microplastics in freshwater systems: a review. *Sci Total Environ.* 2020; 707:135578. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135578>
22. Campbell SH, Williamson PR, Hall BD. Microplastics in the gastrointestinal tracts of fish and the water from an urban prairie creek. *FACETS.* 2017; 2(1):395–09.
<https://doi.org/10.1139/facets-2017-0008>
23. Lusher AL, Hollman PCH, Mendoza-Hill JJ. Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. *Fisheries and Aquaculture Technical No. 615.* Rome, Italy. 2017a.
24. Abbasi S, Soltani N, Keshavarzi B, Moore F, Turner A, Hassanaghahi M. Microplastics in different tissues of fish and prawn from the Musa Estuary, Persian Gulf. *Chemosphere.* 2018; 205:80–87. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.076>
25. Parker B, Andreou D, Green ID, Britto JR. Microplastics in freshwater fishes: Occurrence, impacts and future perspectives. *Fish Fish.* 2020; 22(3):467–488.
<http://doi.org/10.1111/faf.12528>
26. Claessens M, De Meester S, Van Landuyt L, De Clerck K, Janssen CR. Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Mar Pollut Bull.* 2011; 62(10):2199–04. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.030>

27. Galgani L, Tsapakis M, Pitta P, Tsiola A, Tzempelikou E, Kalantzi I, Esposito C, Loisel A, Tsotskou A, Zivanovic S, Dafnomili E, Diliberto S, Mylona K, Magiopoulos I, Zeri C, Pitta E, Loisel S. Microplastics increase the marine production of particulate forms of organic matter. *Environ Res Lett.* 2019; 14(124085). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab59ca>
28. Sanchez W, Bender C, Porcher J-M. Wild gudgeons (*Gobio gobio*) from French rivers are contaminated by microplastics: Preliminary study and first evidence. *Environ Res.* 2014; 128:98-100. <http://doi.org/10.1016/j.envres.2013.11.004>
29. Phillips MB, Bonner TH. Occurrence and amount of microplastic ingested by fishes in watersheds of the Gulf of Mexico, *Mar Pollut Bull.* 2015; 100(1):264-269. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.08.041>
30. Biginagwa FJ, Mayoma BS, Shashoua Y, Syberg K, Khan FR. First evidence of microplastics in the African Great Lakes: Recovery from Lake Victoria Nile perch and Nile tilapia. *J Great Lakes Res.* 2016; 42(1):146–49. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2015.10.012>
31. Peters CA, Bratton SP. Urbanization is a major influence on microplastic ingestion by sunfish in the Brazos River Basin, Central Texas, USA. *Environ. Pollut.* 2016; 210, 380–387. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.018>
32. Jabeen K, Su L, Li J, Yang D, Tong C, Mu J, Shi H. Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environ. Pollut.* 2017; 221:141-149. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.055>
33. Horton AA, Jürgens MD, Lahive E, van Bodegom PM, Vijver MG. The influence of exposure and physiology on microplastic ingestion by the freshwater fish *Rutilus rutilus*

- (roach) in the River Thames, UK. Environ. Pollut. 2018; 188-194.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.044>
34. McNeish RE, Kim LH, Barrett HA, Mason SA, Kelly JJ, Hoellein TJ. Microplastic in riverine fish is connected to species traits. Sci Rep. 2018; 8:11639.
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-29980-9>
35. dos Santos T, Bastian R, Felden J, Rauber AM, Reynalte-Tataje DA, Teixeira de Mello F. First record of microplastics in two freshwater fish species (*Iheringthys labrosus* and *Astyanax lacustris*) from the middle section of the Uruguay River, Brazil. Acta Limnol Bras. 2020; 32:e26. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X3020>
36. Kuśmierk N, Popiołek M. Microplastics in freshwater fish from Central European lowland river (Widawa R., SW Poland). Environ Sci Pollut Res. 2020; 27:11438–11442.
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-08031-9>
37. Silva-Cavalcanti JS, Silva JDB, De Franca EJ, Barbosa de Araújo MC, Gusmão F. Microplastics ingestion by a common tropical freshwater fishing resource, Environ. Pollut. 2017; 221:218-226. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.068>
38. Sánchez AJ, Álvarez-Pliego N, Espinosa-Pérez H, Florido R, Macossay-Cortez A, Barba E, Salcedo M.Á, Garrido-Mora A. Species richness of urban and rural fish assemblages in the Grijalva Basin floodplain, southern Gulf of Mexico. Cybium. 2019; 43(3):213-293.
<https://doi.org/10.26028/cybium/2019-433-005>
39. Orfinger AB, Gooding D. The Global Invasion of the Suckermouth Armored Catfish Genus *Pterygoplichthys* (Siluriformes: Loricariidae): Annotated List of Species, Distributional

- Summary, and Assessment of Impacts. *Zool Stud.* 2018; 57: 1–16.
<https://doi.org/10.6620/ZS.2018.57-07>
40. Sánchez AJ, Salcedo MA, Macossay-Cortéz AA, Fera-Díaz Y, Vázquez L, Ovando N, Rosado L. Calidad ambiental de la laguna urbana La Pólvara en la cuenca del río Grijalva. *Tecnol. y Cienc. del Agua.* 2012; 3:143-152.
41. Torres-Martínez AA, Sánchez AJ, Álvarez-Pliego N, Hernández-Franyutti A, López-Hernández JC, Bautista-Regil J. Gonadal histopathology of fish from La Pólvara urban lagoon in the Grijalva basin. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 2017; 33(4)713-717.
<https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.04.14>
42. SEIACC. Monitoreo de Calidad del Agua en lagunas del municipio Centro, Departamento de Monitoreo Ambiental de la Subsecretaría de Sustentabilidad y Cambio Climático, Gobierno de Tabasco, Villahermosa. 2021. <https://tabasco.gob.mx/boletines-pmca-lagunas> (Accessed 25 septiembre 2021).
43. Núñez J, Duponchelle F. Towards a universal scale to assess sexual maturation and related life history traits in oviparous teleost fishes. *Fish Physiol Biochem.* 2008; 35:167–180.
<http://doi.org/10.1007/s10695-008-9241-2>
44. Armbruster JW, Page LM. Redescription of *Pterygoplichthys punctatus* and description of a new species of *Pterygoplichthys* (Siluriformes: Loricariidae). *Neotrop Ichthyol.* 2006; 4:401-09. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252006000400003>
45. Wu LW, Liu CC, Lin SM. Identification of exotic sailfin catfish species (*Pterygoplichthys*, Loricariidae) in Taiwan based on morphology and mtDNA sequences. *Zool Stud.* 2011; 50(2):235-246. <http://zoolstud.sinica.edu.tw/Journals/50.2/235.pdf>

46. Nico LG, Butt PL, Johnston GR, Jelks HL, Kail M, Walsh SJ. Discovery of South American suckermouth armored catfishes (Loricariidae, *Pterygoplichthys* spp.) in the Santa Fe River drainage, Suwannee River basin, USA. *BioInvasions Rec.* 2012; 1(3):179-200.
<http://doi.org/10.3391/bir.2012.1.3.04>
47. Álvarez-Pliego N, Sánchez AJ, Forido R, Salcedo MA. First record of South American suckermouth armored catfishes (Loricariidae, *Pterygoplichthys* spp.) in the Chumpan River system, southeast Mexico. *Bioinvasions Rec.* 2015; 4:309–14.
<https://doi.org/10.3391/bir.2015.4.4.14>
48. Legendre P, Legendre L. *Numerical ecology*. 2nd English Edition, Elsevier, Amsterdam. 1998.
49. Underwood AJ. *Experiments in ecology: Their logical design and interpretation using analysis of variance*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 1997.
50. SAS Institute Inc. *JMP, SAS Proprietary Software Version 8.0.2*. SAS Institute Inc., Cary, NC. 2009
51. Allen D, Arthur S, Haynes H, Olive V. Multiple rainfall event pollution transport by sustainable drainage systems: the fate of fine sediment pollution. *Int J Environ Sci Technol.* 2017; 14:639–652. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1177-y>
52. Liu X, Wang H. Effects of loss of lateral hydrological connectivity on fish functional diversity. *Conserv Biol.* 2018; 32(6):1336-1345. <https://doi.org/10.1111/cobi.13142>.
53. Escalera-Vázquez LH, García-López JE, Sosa-López A, Calderón-Cortés N, Hinojosa-Garro D. Impact of the non-native locariid fish *Pterygoplichthys pardalis* in native fish community

- on a seasonal tropical floodplain in Mexico. *Aquat. Ecosyst. Health Manag.* 2020; 22(4): 462-472. <https://doi.org/10.1080/14634988.2019.1700343>
54. Jiang X, Li Z, Shu F, Chen J. Effects of river-lake disconnection and eutrophication on freshwater mollusc assemblages in floodplain lakes: Loss of congeneric species leads to changes in both assemblage composition and taxonomic relatedness. *Environ Pollut.* 2022; 1:292:118330. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118330>.
55. D'Arcy P & Carignan R. Influence of catchment topography on water chemistry in Southeastern Quebec Shield Lakes. *Can J Fish Aquat.* 2011; 54:2215-2227. <https://doi.org/10.1139/cjfas-54-10-2215>
56. Jeppesen E, Brucet S, Naselli-Flores L. et al. Ecological impacts of global warming and water abstraction on lakes and reservoirs due to changes in water level and related changes in salinity. *Hydrobiologia.* 2015; 750:201-227. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2169-x>
57. Cruz-Ramírez AK, Salcedo MA, Sánchez AJ, Mendoza JD, Barba E, Álvarez-Pliego N, Florido R. Intra-annual variation of Chlorophyll-a and nutrients in a hydraulically perturbed wetland in the floodplain of the Grijalva river basin. *Hidrobiológica.* 2019; 29(3):163-70. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2020v29n3>
58. Salcedo MA, Sánchez AJ, Cruz-Ramírez A, Álvarez-Pliego N, Florido R, Ruíz-Carrera V, Garrido A, Alejo-Díaz R. Aplicación del índice de calidad del agua (wqi-nsf) en lagunas metropolitanas y rurales. *Agroproductividad.* 2018; 11(7):81-86. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/919>
59. Rochman CM, Hoh E, Kurobe T, Teh SJ. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Sci Rep.* 2013; 3,3263;. <http://doi.org/10.1038/srep03263>

60. Mattsson K, Ekvall MT, Hansson LA, Linse S, Malmendal A, Cedervall T. Altered behavior, physiology, and metabolism in fish exposed to polystyrene nanoparticles. *Environ Sci Technol.* 2015; 49(1):553-561. <http://doi.org/10.1021/es5053655>
61. Qiang L, Cheng J. Exposure to Polystyrene Microplastics Impairs Gonads of Zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere*, 2021; 128161. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128161>
62. Lusher A, Welden N, Sobral P, Cole M. Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates. *Anal Method.* 2017b; 9(9):1346–1360 <https://doi.org/10.1039/c6ay02415g>

Tables and Figures

Table 1. Individuals of suckermouth catfishes (*Pterygoplichthys* spp.) collected in La Pólvara Lake, Total length (TL); Sex: Female (F), Male (M); Pigmentation patterns: Spots (S), Vermiculations (V), Spots with Vermiculations (SV) and types and number of microplastic (MP). Gut weight (WG).

TL (mm)	W (gr)	WG (gr)	Sex	Pigmentation patterns	Fiber	Fragment	MP/WG
280	261	19	M	SV	9	-	0.47
280	264	23	M	SV	2	-	0.09
290	200	19	F	S	4	-	0.21
293	239	12	M	S	5	1	0.50
300	238	9	F	S	6	-	0.67
300	297	21	M	V	15	-	0.71
305	342	25	F	V	2	-	0.08
305	296	12	M	V	6	-	0.50
308	264	20	F	V	11	-	0.55
310	294	6	M	SV	3	-	0.50
310	254	10	F	S	2	-	0.20
310	244	22	M	SV	8	7	0.68
315	370	31	F	SV	2	-	0.06
320	458	31	F	V	4	-	0.13
320	556	43	F	V	6	-	0.14
320	260	18	F	V	10	2	0.67
330	351	27	F	S	6	-	0.22
335	425	40	F	S	12	1	0.33
352	290	20	F	SV	12	1	0.65
355	502	32	M	S	7	-	0.22
370	482	70	F	S	3	-	0.04

Table 2. Freshwater fish detritivorous with MP records in the digestive tract (gut). The superscript number in each species, corresponds to Reference ID.

Especie	Familia/Orden	Hábitat	n	MP/Ind	No. MP	Fibers %	Environment
<i>Hoplosternum littorale</i> ¹	Callichthyidae/Siluriformes	Demersal	48	3.6	1-24	46.6	Urban river
<i>Catostomus commersonii</i> ²	Catostomidae/Cypriniformes	Demersal	16	6.4		97	Suburban river
<i>Carasius auratus</i> ³	Cyprinidae/Cypriniformes	Benthopelagic	11	7.63	1-18	46.8	Urban lagoon
<i>Sarotherodon melanotheron</i> ⁴	Cichlidae/Cichliformes	Demersal	19	-	1-34		Urban lagoon
<i>Chrysichthys nigrodigitatus</i> ⁴	Caroteidae/Siluriformes	Demersal	3	-	1-3		Urban lagoon
<i>Ancistrus taunayi</i> ⁵	Loricariidae/Siluriformes	Demersal	2	1	-	85	Suburban stream
<i>Otocinclus arnoldi</i> ⁵	Loricariidae/Siluriformes	Demersal	7	1.43	-		Suburban stream
<i>Hypostomus commersoni</i> ⁵	Loricariidae/Siluriformes	Demersal	5	2.4	-		Suburban stream
<i>Rineloricaria sp.</i> ⁵	Loricariidae/Siluriformes	Demersal	14	1.07	-		Suburban stream
<i>Steindachnerina biornata</i> ⁵	Curimatidae/Characiformes	Benthopelagic	8	0.63	-		Suburban stream
<i>Hisonotus nigricauda</i> ⁵	Loricariidae/Siluriformes	Benthopelagic	3	0.67	-		Suburban stream
<i>Pterygoplichthys spp.</i>	Loricariidae/Siluriformes	Demersal	21	7	1-15	92	Urban lagoon

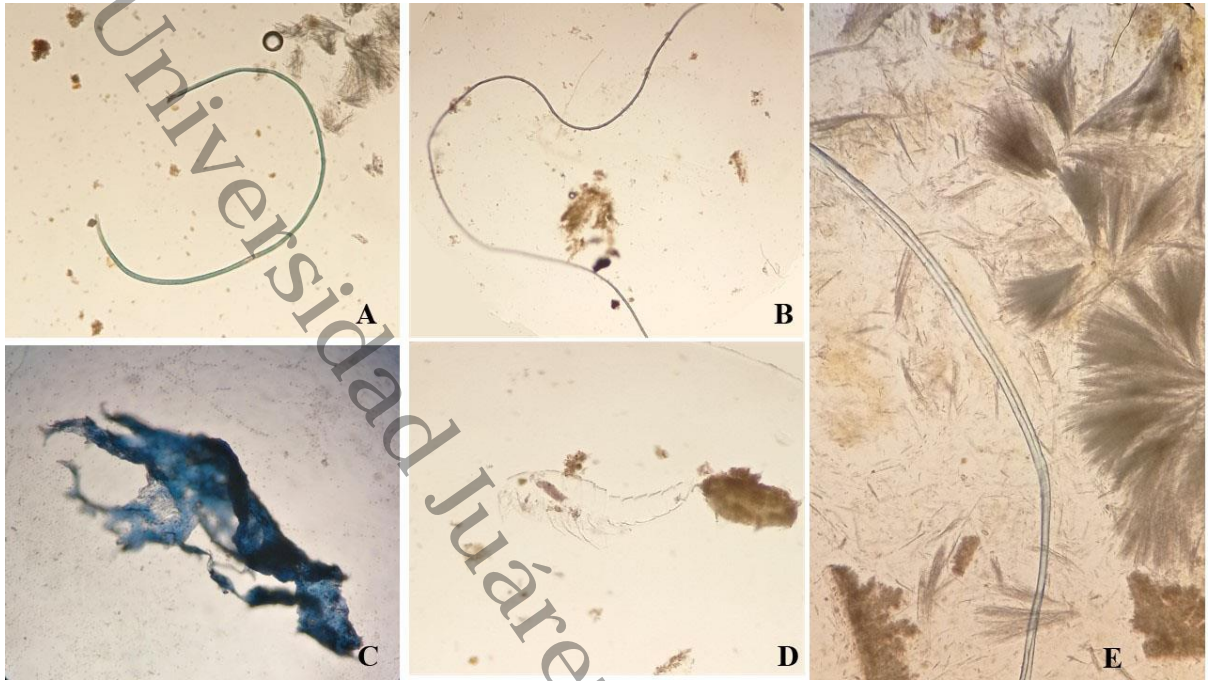


Figure 1. Microplastics found in the digestive tract of armed catfish (*Pterygoplichthys* spp.) And other elements detected. A and B) Fiber, C) Fragment, D) Copepod, E) Remains of vegetation and organic matter.

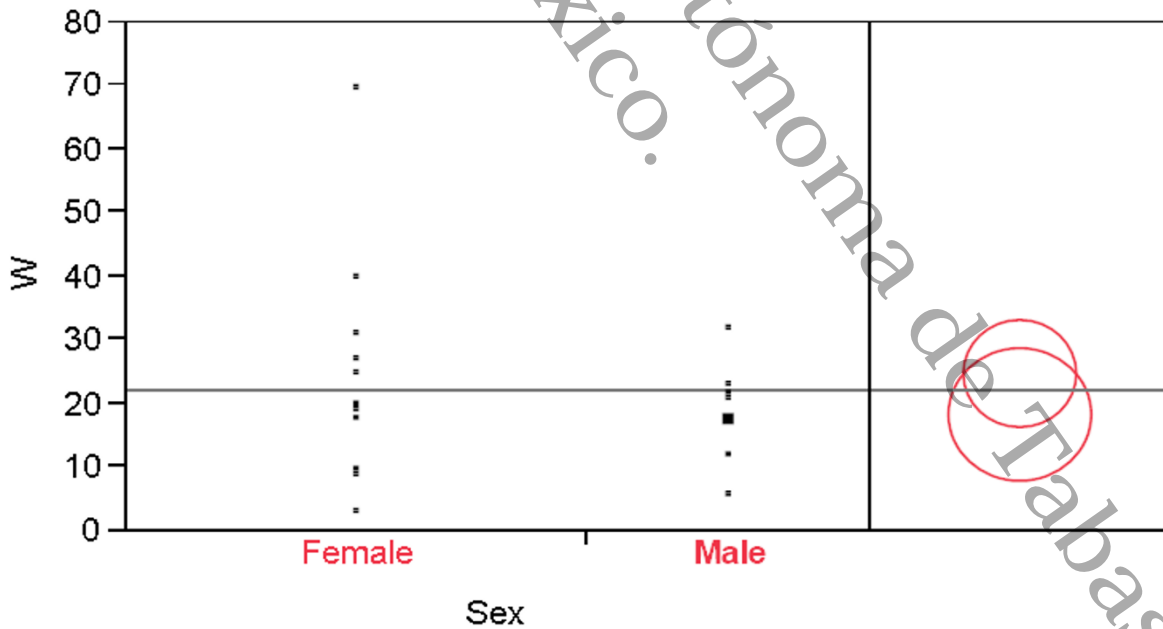


Figure 2. Comparison of the mean weight (g) of the intestine with MP between males and females, of the genus *Pterygoplichthys* in an urban lagoon.

DISCUSIÓN GENERAL/CONSIDERACIONES FINALES

Así pues, el hallazgo de microplásticos en la laguna “La Pólvara” confirma las condiciones de alta perturbación que existen en este ambiente acuático lacustre y la abundancia de microfibras encontradas en los sistemas digestivos del bagre armado pueden evidenciar una alta contaminación por productos plásticos de mayor tamaño que se han desgastado con el paso del tiempo. Sumado a lo anterior se comprueba el uso del bagre armado como indicador de estas partículas, pues en cada organismo analizado se encontró al menos un MP; o en otras áreas del campo científico, podría ser un método para regular las poblaciones de estos peces invasores y disminuir el impacto en las especies nativas y el ambiente.

La contaminación causada por microplásticos debido a las actividades antropogénicas en ambientes acuáticos continentales ha sido poco documentada, especialmente en México. Para la obtención y cuantificación de MP no hay una metodología exclusiva, por consiguiente, la forma en expresar los resultados es heterogénea. Sin embargo, las más recurrentes son frecuencia de las categorías de MP (normalmente expresada en porcentaje) y promedio de MP por individuo y abundancia.

RECOMENDACIÓN

Actualmente, en respuesta a la pandemia generada por el COVID-19, el incremento del uso de diversos materiales como cubrebocas, guantes quirúrgicos, caretas protectoras, toallas desinfectantes y botellas con gel o alcohol, el estudio de estas partículas contaminantes sería vital para conocer una parte de su panorama y conocer si ha habido un incremento de estos debido a esta problemática global.

LITERATURA CITADA

Abbasi S, Keshavarzi B, Moore FHD, Soltani N, Sorooshian A (2017). Investigation of microrubbers, microplastics and heavy metals in street dust: a study in Bushehr city, Iran. *Environmental Earth Science*.

Abbasi S, Soltani N, Keshavarzi B, Moore F, Turner A, Hassanaghahi M (2018). Microplastics in different tissues of fish and prawn from the Musa Estuary, Persian Gulf. *Chemosphere*, 205, 80–87.

Adeogun AO, Ibor OR, Khan EA, Chukwuka AV, Omogbemi ED, Arukwe A (2020) Detection and occurrence of microplastics in the stomach of commercial fish species from a municipal water supply lake in southwestern Nigeria. *Environmental Science and Pollution Research* 27: 31035–31045. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09031-5>

Allub L, Michel MA (1979). La formación socioeconómica de Tabasco y el petróleo. *Investigación Económica*, 38, 327-355.

Alomar C, Estarellas F, Deudero S (2016). Microplastics in the Mediterranean Sea: Deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size. *Marine Environmental Research*, 115, 1–10.

Álvarez-Pliego N, Sánchez AJ, Forido R, Salcedo MA (2015) First record of South American suckermouth armored catfishes (Loricariidae, *Pterygoplichthys* spp.) in the Chumpan River system, southeast Mexico. *Bioinvasions Records* 4:309–14. <https://doi.org/10.3391/bir.2015.4.4.14>

Armbruster JW, Page LM (2006) Redescription of *Pterygoplichthys punctatus* and description of a new species of *Pterygoplichthys* (Siluriformes: Loricariidae). *Neotropical Ichthyology* 4:401-09. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252006000400003>

Andrady AL (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605.

Armbruster JW (2004). Phylogenetic relationships of the suckermouth armoured catfishes (Loricariidae) with emphasis on the Hypostominae and the Ancistrinae. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 141, 1–80.

Arthur C, Baker J, Bamford H (2009). Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris. In NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30 (p. 49).

Barnes DKA, Galgani F, Thompson RC, Barlaz M (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 364, 1985–1998.

Biginagwa FJ, Mayoma BS, Shashoua Y, Syberg K, Khan FR (2016) First evidence of microplastics in the African Great Lakes: Recovery from Lake Victoria Nile perch and Nile tilapia. *Journal of Great Lakes Research*, 42(1):146–49. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2015.10.012>

Boerger CM, Lattin GL, Moore SL, Moore CJ (2010). Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin*, 60, 2275–2278.

Browne MA, Dissanayake A, Galloway TS, Lowe DM, Thompson RC (2008). Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental Science & Technology*, 42(13), 5026–5031.

Browne MA, Galloway TS, Thompson RC (2010). Spatial Patterns of Plastic Debris along Estuarine Shorelines. *Environmental Science & Technology*, 44, 3404–3409.

Browne MA, Crump P, Niven SJ, Teuten E, Tonkin A, Galloway T, Thompson R (2011). Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9175–9179.

Browne M, Underwood A, Chapman M, Williams R, Thompson R, Van Franeker J (2015). Linking effects of anthropogenic debris to ecological impacts. *The Royal Society*, 282, 2014–2929.

Capdepon-Ballina JL, Marín-Olán P (2014). La economía de Tabasco y su impacto en el crecimiento urbano de la ciudad de Villahermosa (1960-2010). *LiminaR*, 12(1), 144-160.

Cole M, Lindeque P, Halsband C, Galloway TS (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2588–2597.

Collard F, Gilbert B, Compère P, Eppe G, Das K, Jauniaux T, Parmentier E (2017). Microplastics in livers of European anchovies (*Engraulis encrasicolus*, L.). *Environmental Pollution*, 229, 1000–1005.

Correa-Herrera T, Barletta M, Lima ARA, Jiménez-Segura LF, Arango-Sánchez L (2017). Spatial distribution and seasonality of ichthyoplankton and anthropogenic debris in a river delta in the Caribbean Sea. *Journal of Fish Biology*, 90(4), 1356–1387.

Davison P, Asch RG (2011). Plastic ingestion by mesopelagic fishes in the North Pacific Subtropical Gyre. *Marine Ecology Progress Series*, 432, 173–180.

De Sá LC, Luís LG, Guilhermino L (2015). Effects of microplastics on juveniles of the common goby (*Pomatoschistus microps*): Confusion with prey, reduction of the predatory performance and efficiency, and possible influence of developmental conditions. *Environmental Pollution*, 196, 359–362.

dos Santos T, Bastian R, Felden J, Rauber AM, Reynalte-Tataje DA, Teixeira de Mello F (2020) First record of microplastics in two freshwater fish species (*Iheringthys labrosus* and *Astyanax lacustris*) from the middle section of the Uruguay River, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*. 32:e26. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X3020>

Dris R, Gasperi J, Saad M, Mirande C, Tassin B (2016) Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment. *Marine Pollution Bulletin*. 104(1-2):290–293. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.006>

Dubaish F, Liebezeit G (2013). Suspended Microplastics and Black Carbon Particles in the Jade System, Southern North Sea. *Water, Air, Soil & Pollution*, 224, 1–8.

Eerkes-Medrano D, Thompson Richard C, Aldridge DC (2015). Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research*, 75, 63–82.

Fendall LS, Sewell MA (2009). Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Marine Pollution Bulletin*, 58(8), 1225–1228.

Free CM, Jensen OP, Mason SA, Eriksen M, Williamson NJ, Boldgiv B (2014). High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Marine Pollution Bulletin*, 85(1), 156–163.

Frias JPGL, Sobral P, Ferreira AM (2010). Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast. *Marine Pollution Bulletin*, 60(11), 1988–1992.

Frias JPGL, Otero V, Sobral P (2014). Evidence of microplastics in samples of zooplankton from Portuguese coastal waters. *Marine Environmental Research*, 95, 89–95.

Gregory MR (1996). Plastic ‘scrubbers’ in Hand Cleansers: A Further (and Minor) Source for Marine Pollution Identified. *Marine Pollution Bulletin*, 32(12), 867–871.

Gregory MR (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 364, 2013–2025.

Hidalgo-Ruz V, Gutow L, Thompson RC, Thiel M (2012). Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science & Technology*, 46(6), 3060–3075.

Hill J (2001). Native and Exotic Catfish in Florida part II. University of Florida Cooperative Extensions Service/Institute of Food and Agricultural Sciences, 5(2), 6–7.

Hoover JJ, Killgore KJ, Cofrancesco AF (2004). Suckermouth catfishes: Threats to aquatic ecosystems of the United States? Aquatic Nuisance Species. Research Program Bulletin, 4.

Horton AA, Jürgens MD, Lahive E, van Bodegom PM, Vijver MG (2018) The influence of exposure and physiology on microplastic ingestion by the freshwater fish *Rutilus rutilus* (roach) in the River Thames, UK. Environ. Pollut. 188-194. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.044>

Jabeen K, Su L, Li J, Yang D, Tong C, Mu J, Shi H (2017). Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. Environmental Pollution, 221, 141–149.

Karami A, Golieskardi A, Choo CK, Larat V, Galloway TS, Salamatinia B (2017). The presence of microplastics in commercial salts from different countries. Scientific Reports, 7(46173).

Kuśmierk N, Popiołek M (2020) Microplastics in freshwater fish from Central European lowland river (Widawa R., SW Poland). Environmental Science and Pollution Research 27:11438–11442. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08031-9>

Legendre P, Legendre L (1998) Numerical ecology. 2nd English Edition, Elsevier, Amsterdam.

Li J, Qu X, Su L, Zhang W, Yang D, Kolandhasamy P, Shi H (2016). Microplastics in mussels along the coastal waters of China. Environmental Pollution, 214, 177–184.

Li J, Liu H, Chen P (2018) Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. Water Research. 137:362-374. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>

Lima ARA, Costa MF, Barletta M (2014). Distribution patterns of microplastics within the plankton of a tropical estuary. *Environmental Research*, 132, 146–155.

Luís L, Ferreira P, Fonte E, Oliveira M, Guilhermino L (2015). Does the presence of microplastics influence the acute toxicity of chromium(VI) to early juveniles of the common goby (*Pomatoschistus microps*)? A study with juveniles from two wild estuarine populations. *Aquatic Toxicology*, 164, 163–174.

Lusher AL, McHugh M, Thompson RC (2013). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Pollution Bulletin*, 67(1–2), 94–99.

Mattsson K, Ekvall MT, Hansson LA, Linse S, Malmendal A, Cedervall T. (2015) Altered behavior, physiology, and metabolism in fish exposed to polystyrene nanoparticles. *Environmental Science and Technology*, 49(1): 553-561. <http://doi.org/10.1021/es5053655>

MacCormack TJ, McKinley RS, Roubach R, Almeida-Val VMF, Driedzig WR (2003). Changes in ventilation, metabolism, and behaviour, but not bradycardia, contribute to hypoxia survival in two species of Amazonian armoured catfish. *Canadian Journal of Zoology*, 81, 272–280.

McNeish RE, Kim LH, Barret H A, Mason SA, Kelly JJ, Hoellein TJ (2018). Microplastic in riverine fish is connected to species traits. *Scientific Reports*, 8, 1–12.

Mendoza R, Contreras S, Ramírez C, Koleff P, Álvarez P, Aguilar V (2007). Los peces diablo: especies invasoras de alto impacto. *Biodiversitas*, 70, 1–5.

Mendoza RE, Cudmore B, Orr R, Fisher JP, Contreras S, Courtenay WR, Stabridis O (2009). Trinational risk assessment guidelines for aquatic alien invasive species. The cases for the snakeheads (Channidae) and armored catfishes (Loricariidae) in North America inland waters. Commission for Environmental Cooperation, Montreal.

Moore CJ (2008). Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing long-term threat. *Environmental Research*, 108, 131–139.

Nico LG, Martin RT (2001) The South American Suckermouth Armored Catfish, *Pterygoplichthys anisitsi* (Pisces: Loricariidae), in Texas, with Comments on Foreign Fish Introductions in the American Southwest. *The Southwestern Naturalist*, 46(1): 98–104. <https://doi.org/10.2307/3672381>

Nico LG, Butt PL, Johnston GR, Jelks HL, Kail M, Walsh SJ (2012) Discovery of South American suckermouth armored catfishes (Loricariidae, *Pterygoplichthys* spp.) in the Santa Fe River drainage, Suwannee River basin, USA. *BioInvasions Records* 1(3):179-200. <http://doi.org/10.3391/bir.2012.1.3.04>

Núñez J, Duponchelle F (2009). Towards a universal scale to assess sexual maturation and related life history traits in oviparous teleost fishes. *Fish Physiology and Biochemistry* 35:167–180. <http://doi.org/10.1007/s10695-008-9241-2>

Palomeque de la Cruz MA., Galindo Alcántara A, Sánchez AJ, Escalona Maurice MJ (2017). No Title. *Investigaciones Geográficas*, 68, 151–172.

Peters CA, Bratton SP (2016). Urbanization is a major influence on microplastic ingestion by sunfish in the Brazos River Basin, Central Texas, USA. *Environmental Pollution* 2, 210, 380–387.

Phillips MB, Bonner TH (2015). Occurrence and amount of microplastic ingested by fishes in watersheds of the Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 100(1), 264–269.

Pinheiro C, Oliveira U, Vieira M (2017). Occurrence and Impacts of Microplastics in Freshwater Fish. *Journal of Aquaculture and Marine Biology*, 5(6).

Rezania S, Park J, Din MFM, Taib SM, Talaiekhosani A, Yadav KK, Kamyab H (2018). Microplastics pollution in different aquatic environments and biota: A review of recent studies. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 191–208.

Rochman CM, Hoh E, Kurobe T, Teh SJ (2013) Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific Reports*, 3,3263. <http://doi.org/10.1038/srep03263>

Rodrigues MO, Abrantes N, Gonçalves FJM, Nogueira H, Marques JC, Gonçalves AMM (2018). Spatial and temporal distribution of microplastics in water and sediments of a freshwater system (Antuã River, Portugal). *Science of The Total Environment*, 633, 1549–1559.

Sanchez W, Bender C, Porcher J-M (2014). Wild gudgeons (*Gobio gobio*) from French rivers are contaminated by microplastics: Preliminary study and first evidence. *Environmental Research*, 128, 98–100.

Sánchez AJ, Florido R, Álvarez-Pliego N, Salcedo MÁ (2015). Distribution of *Pterygoplichthys* spp. (Siluriformes: Loricariidae) in the low basin of the Grijalva-Usumacinta rivers. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(4), 1099–1102.

Sánchez AJ, Álvarez-Pliego N, Espinosa-Pérez H, Florido R, Macossay-Cortez A, Barba E, Salcedo MA, Garrido-Mora A (2019). Species richness of urban and rural fish assemblages in the Grijalva Basin floodplain, southern Gulf of Mexico. *Cybium*, 43(3), 239–254.

Silva-Cavalcanti, JS, Silva JDB, EJ F, Araújo MCB, Gusmão F (2017). Microplastics ingestion by a common tropical freshwater fishing resource. *Environmental Pollution*, 221, 218–226.

Thompson, RC, Olsen Y, Mitchell R, Davis A, Rowland S, John A (2004) Lost at sea: where is all the plastic? *Science*, 304(5672), 838.

Turner A. (2017). In situ elemental characterisation of marine microplastics by portable XRF. *Marine Pollution Bulletin*, 124(1), 286–291.

Underwood AJ (1997). *Experiments in ecology: Their logical design and interpretation using analysis of variance*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 504 pp. ISBN-10:0521553296

Vargas-Rivas AG, Barba E, Sánchez AJ, Castellanos-Morales G (En Revisión) Putative origin of the exotic suckermouth armored catfish (*Pterygoplichthys* spp.) in the Grijalva and Usumacinta River basins, Mexico.

Vendel AL, Bessa F, Alves VEN, Amorim AL, Patrício J, Palma ART (2017). Widespread microplastic ingestion by fish assemblages in tropical estuaries subjected to anthropogenic pressures. *Marine Pollution Bulletin*, 117(1–2), 448–455.

Vidal C, Lozoya JP, Tesitore G, Goyenola G, Teixeira-de-Mello F (2021) Incidence of Watershed Land Use on the Consumption of Meso and Microplastics by Fish Communities in Uruguayan Lowland Streams. *Water* 13(11):1575. <https://doi.org/10.3390/w13111575>

Wright SL, Thompson RC, Galloway TS (2013). The Physical Impacts of Microplastics on Marine Organisms: A Review. *Environmental Pollution*, 178, 483–492.

Wu LW, Liu CC, Lin SM (2011) Identification of exotic sailfin catfish species (*Pterygoplichthys*, Loricariidae) in Taiwan based on morphology and mtDNA sequences. *Zoological Studies* 50(2):235-246. <http://zoolstud.sinica.edu.tw/Journals/50.2/235.pdf>

Yang, L, Zhang Y, Kang S, Wang Z, Wu C (2020). Microplastics in freshwater sediment: A review on methods, occurrence, and sources. *Science of the Total Environment*. 754; 141948. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141948>

Zhang Y, Gao T, Kang S, Sillanpää M (2019). Importance of atmospheric transport for microplastics deposited in remote areas. *Environmental Pollution*. 254, Part A:112953 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.121>