



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

***Mugil Cephalus*, bioindicador de contaminación por metales pesados en aguas continentales, marinocostas y estuarios**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental

AUTORAS:

Alayo Cabrera, Mariana Gabriela (ORCID: 0000-0001-8066-2431)

Julca Anticona, Yenifer Alexandra (ORCID: 0000-0002-6300-5832)

ASESOR:

Dr. Cruz Monzón, José Alfredo (ORCID: 0000-0001-9146-7615)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

TRUJILLO – PERÚ

2020

Dedicatoria

A nuestros Padres,

Por habernos forjado con amor y dedicación como personas de bien, inculcándonos el respeto y la perseverancia para lograr todas nuestras metas, esto es por y para ustedes. Gracias por motivarnos constantemente a cumplir nuestros mayores anhelos y luchar por nuestros grandes sueños.

A nuestros hermanos,

Por estar a nuestro lado y acompañarnos en las madrugadas interminables, son parte de este trabajo y es por esto que les dedicamos este esfuerzo.

A los que ya no están junto a nosotros, pero fueron con quienes crecimos a lo largo de nuestra vida y nos dejaron enseñanzas, nos inculcaron valores y desde el cielo guían nuestros pasos.

Agradecimiento

A Dios,

Por la vida, por ser nuestro guía a lo largo del camino, y fortalecernos cada día para no rendirnos.

A todas aquellas personas que nos apoyaron en todo momento, a afrontar toda adversidad, todo obstáculo. A nuestros padres, por su infinito amor, su paciencia y tolerancia.

A nuestro Asesor,

Dr. José Alfredo Cruz Monzón,

Por habernos brindado su tiempo, paciencia y todo su conocimiento para la construcción y desarrollo de nuestra investigación.

A la Universidad César Vallejo, por ofrecer una enseñanza de calidad y formarnos como profesionales competitivos y con sentido humanista.

Índice de Contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de Contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	3
III. METODOLOGÍA.....	7
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	7
3.2. Escenario de estudio.....	7
3.3. Participantes.....	7
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	8
3.5. Procedimiento.....	8
3.6. Rigor científico.....	11
3.7. Método de análisis de datos.....	11
3.8. Aspectos éticos.....	11
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
V. CONCLUSIONES.....	27
VI. RECOMENDACIONES.....	28
REFERENCIAS.....	29

Índice de tablas

Tabla N° 1. Criterios de inclusión y elegibilidad de artículos	7
Tabla N° 2. Palabras clave utilizadas en las bases de datos consultadas	8
Tabla N° 3. Artículos de base de datos general	9
Tabla N° 4. Artículos de acuerdo al criterio de duplicidad, idioma y período de tiempo	9
Tabla N° 5. Artículos científicos con relación al criterio de indexación y de acceso abierto	10
Tabla N° 6. Artículos en base a la aplicación de todos los criterios de inclusión y elegibilidad	10
Tabla N° 7. Base de datos con los 36 artículos retenidos y revisados.....	14

Índice de figuras

Figura N° 1. Número de publicaciones en relación a los años durante la fase de la búsqueda primaria.....	12
Figura N° 2. Composición porcentual de publicaciones de acuerdo con el tipo de área de estudio.....	21
Figura N° 3. Porcentaje de publicaciones que reportan la unidad de análisis más afectada.....	22
Figura N° 4. Porcentaje de publicaciones que reportan los metales más bioacumulados por la especie <i>M. cephalus</i>	24
Figura N° 5. Mapa en relación a la zona y concentraciones máximas y mínimas de los metales pesados más predominantes.....	25

Resumen

Los ecosistemas acuáticos representan un elemento vital para las comunidades biológicas ya que establecen diversas relaciones e interacciones entre ellas para su supervivencia, sin embargo, en los últimos años estos han venido siendo afectados por muchas fuentes contaminantes principalmente las de origen antropogénico. Por lo que esta investigación se centró en realizar una revisión sistemática de la literatura existente en bases de datos de acceso libre como Microsoft Academic, Academia, ResearchGate, ScienceDirect y Semantic Scholar, para identificar y caracterizar las principales investigaciones que respaldaban y validaban el uso de la especie *Mugil cephalus* como bioindicador de contaminación por metales pesados en cuerpos de agua continentales, marinocosteras y estuarios. Consecuentemente, se retuvieron 36 artículos que databan desde el año 2014-2020, donde la mayor parte determinó que el empleo de la especie *Mugil cephalus* se llevaba a cabo en cuerpos hídricos de tipo marinocostero seguidamente de aguas continentales y estuarios demostrando así su adaptabilidad a diferentes cuerpos de agua. Por otro lado, 16 artículos evidenciaron que el tejido muscular era la unidad de análisis que más absorbía metales pesados y también la más afectada mientras que 19 artículos determinaron que el zinc fue el metal más absorbido por la especie *Mugil cephalus*.

Palabras clave: *Mugil Cephalus*, bioindicador, metales pesados, cuerpos de agua.

Abstract

The aquatic ecosystems represent a vital element for biological communities as they establish various relationships and interactions between them for their survival, however, in recent years these have been affected by many polluting sources mainly those of anthropogenic origin. Therefore, this research focused on conducting a systematic review of existing literature in open-access databases such as Microsoft Academic, Academia, ResearchGate, ScienceDirect and Semantic Scholar, to identify and characterize the main investigations that supported and validated the use of the specie *Mugil cephalus* as a heavy metal contamination bioindicator in continental, coastal marine, and estuary water bodies. Consequently, 36 articles were retained dating from 2014-2020, where most determined that the use of the specie *Mugil cephalus* was carried out in coastal marine water bodies, followed by continental waters and estuaries thus demonstrating its adaptability to different bodies of water. On the other hand, 16 articles showed that muscle tissue was the unit of analysis that most absorbed heavy metals and also the most affected while 19 articles determined that zinc was the metal most absorbed by the specie *Mugil cephalus*.

Keywords: *Mugil Cephalus*, bioindicator, heavy metals, water bodies

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del medio acuático se atribuye a muchos factores, principalmente al aumento de la urbanización (Genc y Yilmaz, 2018, p.71), el rápido desarrollo de las múltiples industrias, y el paulatino crecimiento de la población (Ahmed et al., 2019, p.2) pues estos factores arraigaron un excesivo aumento de contaminantes entre los cuales destacan los metales pesados, los mismos que representan un grave riesgo para el medio ambiente (Moslen, 2017, p.1) y los seres humanos (Helal et al., 2018, p.7481), pues son contaminantes persistentes, difíciles de erradicar ya que resultan inalterables irrumpiendo de esta manera en el equilibrio de los ecosistemas principalmente en el medio acuático (Aydin et al., 2015, p.4) precisamente estos elementos nocivos se han convertido en una gran preocupación ambiental debido a su nivel de toxicidad, (Venkateswarlu y Venkatrayulu, 2020, p. 1) efectos perjudiciales y el proceso de bioacumulación que experimentan los organismos vivos acuáticos, pues los residuos metálicos tienden a acumularse en sus tejidos blandos (Ouali et al., 2018, p.115). Si bien es cierto los metales pesados poseen ciertas particularidades como ser bioacumulables, este término refiere pues al almacenamiento, propiamente, de una sustancia química que se concentra gradualmente en el organismo de los animales acuáticos como los peces, en este caso (Rani, 2018, p. 731). Por otro lado, estos pueden alcanzar también un determinado nivel de biomagnificación, cuyo concepto apunta directamente al incremento de concentración de químicos entre cadenas alimenticias, esto quiere decir que a medida se vaya escalando de nivel trófico estos elementos tóxicos pueden llegar a representar un peligro para la salud del ser humano o también denominados los consumidores en la pirámide alimenticia (Bungala, Machiwa y Shilla, 2017, pp. 406;407). Esto a lo largo del tiempo viene siendo una situación que alarma ya que la degradación de muchos ecosistemas acuáticos vienen siendo grandemente afectados por la existencia de todos estos contaminantes y su acumulación en la biota acuática (Moslen, 2017, p.1) como se sabe, los peces son bien conocidos por jugar un rol importante en la red alimenticia y también por acumular metales en su organismo sin causar mortalidad, por ello es que especies de peces como la *Mugil Cephalus* son

considerados como buenos bioindicadores (Genc y Yilmaz, 2018, p.71) de contaminación pues es a través de las respuestas o reacciones de estos organismos que nos permiten determinar las condiciones de los ecosistemas expuestos a contaminantes nocivos como lo metales pesados (Sanchez, 2017, p.206).

Por lo anteriormente expuesto se formuló como problema ¿Qué evidencias existen sobre el uso de la especie *Mugil cephalus* como bioindicador de contaminación por metales pesados en los diferentes ecosistemas acuáticos? Si bien es cierto existen diversas literaturas donde se hablan de los múltiples bioindicadores utilizados para el seguimiento y/o control de determinados medios acuáticos, sin embargo, muy pocas tocan el tema de un bioindicador que sea resiliente, es decir, que posea la capacidad de adaptarse a las distintas condiciones del medio acuático, pues estas son cambiantes, por ello es que a través de la recopilación de literatura para la presente revisión se espera mostrar información veraz que certifique el uso de la especie *Mugil cephalus* como un bioindicador eficiente, considerando determinados criterios de elegibilidad. Es a raíz de esto que la presente revisión sistemática contempló como objetivo general realizar una revisión de los artículos existentes en las bases de datos de acceso libre para identificar y caracterizar principales investigaciones que respaldan y validan el uso de la *Mugil cephalus* (lisa) como especie bioindicadora de contaminación por metales pesados en aguas continentales, marinocosteras y estuarios, de igual modo se planteó como objetivos específicos, determinar los sistemas acuáticos donde se utilice esta especie como bioindicador, asimismo identificar qué metales tienden mayormente a bioacumularse en el pez indicando su concentración máxima y mínima y en qué parte de su estructura anatómica, de acuerdo a las investigaciones científicas.

II. MARCO TEÓRICO

Según Bahhari, Al-Switi y Al-Rajab (2017) en su artículo de investigación “Concentration of heavy metals in tissues of *Mugil Cephalus* and *Lethrinus miniatus* from Jazan Coast, Saudi Arabia” se planteó como objetivo principal investigar las concentraciones de metales pesados (Zn, Cu, Pb, Cd) en agua de mar y tejidos de las especies *Mugil Cephalus* y *Lethrinus miniatus* en dos sitios distintos ubicados en Jazan, Saudi Arabia. La metodología a seguir se basó en establecer 2 estaciones en la línea costera colindante al mar Rojo de donde se recolectaron 120 muestras en total (30 peces correspondientes a la especie *Mugil cephalus* y 30 para la especie *Lethrinus miniatus* en cada sitio) como también se extrajeron muestras de agua; en posterior se llevaron todas la muestras al laboratorio y se diseccionaron las branquias y el músculo del pez para ser homogeneizados y digeridos para posteriormente ser analizados por el método de espectrometría de emisión atómica por plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) siendo las concentraciones más altas para el Zn seguido del Cu, Pb y Cd en las branquias de ambas especies de peces, infiriendo de esta manera que las concentraciones de zinc fueron más elevadas que los demás metales en todas las muestras y la unidad de análisis donde más se acumularon fue en las branquias más no en el músculo.

Por otro lado Zaqoot, Aish y Wafi (2016) en su investigación titulada “Baseline concentration of heavy metals in fish collected from Gaza Fishing Harbor in the mediterranean sea along Gaza Coast, Palestine” estableció como objetivo central investigar las concentraciones de Mn, Cu, Zn, Ni, Co, Pb y Cd en los músculos de *Mugil cephalus* que fueron recolectadas del puerto pesquero de Gaza y sus alrededores, para tal fin se implantó como metodología la delimitación de 8 puntos de muestreo donde se recolectaron los especímenes, luego fueron llevados al laboratorio para extraer los tejidos musculares y se puedan homogeneizar, para lo que respecta la determinación de metales pesados se desarrolló usando el método de espectrometría de absorción atómica por flama tal que como producto la concentración de Mn fue de 0.90

ug/g, para Cu (13.15 ug/g), Zn (25,87 ug/g), Ni (1.10 ug/g), Co (0.68 ug/g), Pb (1.82 ug/g) y Cd (0.27 ug/g). Concluyendo de esta forma que el metal predominante fue el Zinc en los músculos de la *Mugil cephalus*.

En tanto Moslen (2017) en su artículo “Risk Assessment and bioconcentration of heavy metals in *Mugil Cephalus* (Mullet) obtained from Azubie Creek in Port Harcourt Nigeria” consideró como objetivo principal evaluar la concentración de metales pesados en la especie *Mugil Cephalus* y estudiar el riesgo a la salud del ser humano por el consumo de este pez, para lo cual utilizaron como metodología el recolectar 3 muestras de peces en un período de doce meses usando una red de lanzamiento, luego se almacenaron en cajas con hielo y fueron transferidas a un laboratorio donde fueron secadas y digeridas con HCl y HNO₃ seguidamente se procedió a analizar las concentraciones de metales a través de la técnica de espectrofotometría de absorción atómica cuyos resultados apuntaron a que la concentración de Cr fue 1.96 mg/kg, para Ni (1.82 mg/kg), Cu (4.12 mg/kg), Pb (2.96 mg/kg), Ag (1.20 mg/kg) y para Cd (0.33 mg/kg). De esta manera es que se concluye que si bien la concentración de Cu fue la más alta, este no sobrepasaba los límites establecidos por la FAO/WHO y los riesgos respecto a la exposición de la salud del ser humano por el consumo del pez, era mínima.

Asimismo, Aydin et al. (2015) en su artículo “Assessment of heavy metal contamination in *Hediste diversicolor* (O.F. Müller, 1776), *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758), and surface sediments of Bafa Lake (Eastern Aegean)” se planteó como objetivo general analizar la bioacumulación de siete metales pesados (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb y Zn) en *Hediste diversicolor* y el músculo e hígado del *Mugil Cephalus*, los cuales fueron recolectados en siete estaciones del lago Bafa, luego fueron llevadas al laboratorio para su acondicionamiento utilizando la técnica de digestión asistida para su posterior análisis en el espectrofotómetro, cuyos resultados apuntaron que el Cr, fue el metal más alto que se halló seguidamente del Pb, Zn, Cu, Cd y por último el Hg, concluyendo de esta forma

que las estaciones cinco y seis excedieron los límites de seguridad alimentaria, por otro lado se consideraron también a las especies analizadas como buenos indicadores biológicos para la contaminación por metales pesados.

Es así que todos los artículos de investigación mencionados anteriormente, se respaldan en teorías relacionadas al tema estudiado, principalmente los metales pesados, que hacen referencia a aquellos elementos naturales que tienen un alto peso atómico, si bien es cierto existen muchos de estos que son considerados macro y micro elementos esenciales cuando están en niveles bajos (Rani, 2017, p. 731) pero que pueden ejercer efectos negativos cuando las concentraciones son elevadas contaminando de esta manera el medio acuático (Helal et al., 2018, p.7481) ya que son de carácter persistente, tóxicos y bioacumulables (Aydin et al. 2014, p.1) en la cadena alimenticia, ya que el proceso de bioacumulación apunta al creciente nivel de sustancias químicas en un organismo vivo a lo largo del tiempo (Moslen, 2017, p.1) como resultado de la absorción de todas las fuentes ambientales tales como el agua, el alimento y sedimentos (Bungala, Machiwa y Shilla, 2017, pp. 406) por la fauna acuática. En los peces, estos contaminantes se almacenan en su superficie corporal, branquias (Ouali et al., 2018, p.116) o indirectamente por la ingestión de sus presas (Fazio et al., 2019., p.775). Por esta razón, estos organismos son considerados bioindicadores ya que representan una de las herramientas más importantes para el monitoreo ambiental (Hinojosa, Rendón y Dzul, 2020, p.1) si de evaluar la salud de los hábitats acuáticos se trata, ya que estos se encuentran posicionados en la cima de las cadenas tróficas (Fazio et al., 2019, p. 775) y también por su gran capacidad de acumular metales pesados en el medio marino (Makedonski, Peycheva y Stancheva, 2015, p.1).

En tanto la especie *Mugil Cephalus*, o también denominada salmonete gris pertenece a la familia *Mugilidae*, es caracterizada por presentar un cuerpo alargado y de cabeza plana; su dieta está compuesta por plancton, sedimentos bentónicos, microalgas (Raval, Das y Haldar, 2017, p.2) algas, poliquetos,

gasterópodos y peces pequeños, así mismo es considerada como una especie pelágica y omnívora (Ouali et al., 2018, p.122). Es también, precisamente por su carácter cosmopolita, que posee la capacidad de aclimatarse en diferentes niveles de salinidad (Helal et al., 2018, p.7481) y que puede considerarse como un complejo de especie eutrófica que puede ser utilizado como un marcador biológico en los diferentes ecosistemas que habita, a su vez esta especie comprende una distribución mundial entre 42° N y 42° S a través de zonas biogeográficas y provincias del continente americano (Espino et al., 2016, p.1).

Por otro lado, los ecosistemas acuáticos, refieren generalmente a aquellos espacios que comprenden cuerpos de agua como las áreas marinocostas, las cuales se podrían definir como el límite que existe entre la costa y el mar abierto, por ello es que suelen ser más susceptibles a la contaminación pues por lo regular estas zonas son urbanizadas e industrializadas a gran escala (Ouali, Belabed y Chenchouni, 2018, p.157) asimismo las zonas y/o áreas de aguas continentales representan por su parte cuerpos de agua dulce tales como lagos, ríos (Fowler et al., 2016, p.238) ó lagunas, que en su mayoría se caracterizan por brindar distintos servicios ecosistémicos de valor económico y paisajista sin embargo también son considerados como ecosistemas sensibles ante la presencia de contaminantes como los metales (Fazio et al., 2019, p.775) los mismos que también se concentran en los estuarios los cuales se pueden definir como las desembocaduras de los ríos, y se caracterizan principalmente por albergar gran cantidad de biodiversidad acuática y por su elevada productividad biológica (Gaete et al., 2014, p.272).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación:

La presente investigación es de tipo aplicada, dado que las investigaciones de este tipo están orientadas a forjar conocimiento que se aplique a los problemas de la sociedad (Lozada, 2014, p.34) a su vez, esta investigación tiene un enfoque de carácter cualitativo, de diseño no experimental y corresponde a una revisión sistemática.

3.2. Escenario de estudio:

Se seleccionaron artículos científicos originales, obtenidos de diferentes bases de datos, abordando el tema de la utilización de la *Mugil Cephalus*, como un bioindicador de contaminación por metales pesados en diversos cuerpos hídricos.

3.3. Participantes:

Se identificaron un total de 121 artículos científicos que abordaban el tema de la especie *Mugil Cephalus*, como especie bioindicadora de contaminación por metales pesados en cuerpos de agua de tipo marinocostera, continentales y estuarios, no obstante, se seleccionó un número de 36 artículos dado que cumplían con los criterios de inclusión y elegibilidad instaurados.

Tabla N° 1: Criterios de inclusión y elegibilidad de artículos.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN	ELEGIBILIDAD
Idioma	Inglés
Tipo de acceso a literatura	Artículos de acceso abierto de revistas indexadas
Área de estudio	Estuarios, aguas continentales y marinocosteras.
Período de tiempo de la publicación	2014 - 2020

Fuente: Elaboración propia

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

Se desarrolló una revisión sistemática en diversas bases de datos como ResearchGate, Academia, Microsoft Academic, Semantic Scholar, ScienceDirect.

3.5. Procedimientos:

La manera en la que se realizó la recolección de información fue a través de la inserción de palabras claves en los motores de búsqueda de todas bases de datos consultadas.

Tabla N° 2: Palabras clave utilizadas en las bases de datos consultadas.

BASE DE DATOS	PALABRAS CLAVES
ResearchGate	
Microsoft Academic	“mugil cephalus”, “bioindicator”,
Academia	bioaccumulation”, “biomagnification”,
Semantic Scholar	“heavy metals”
ScienceDirect	

Fuente: Elaboración propia

Como resultado se adquirió un total de 121 artículos científicos de acuerdo a las diferentes bases de datos que se consultaron durante la búsqueda primaria con palabras claves.

Tabla N° 3: Artículos de base de datos general.

BASE DE DATOS	N° DE ARTÍCULOS
ResearchGate	50
Microsoft Academic	15
Semantic Scholar	23
Academia	19
ScienceDirect	14
Total	121

Fuente: Elaboración propia

A su vez, se descartaron 14 artículos debido a su duplicidad pues los mismos fueron encontrados en otras bases de datos, también se consideró para esta primera fase aplicar el criterio referente al idioma y período de tiempo (2014-2020), es así como la muestra se redujo a 69 artículos científicos en total.

Tabla N° 4: Artículos de acuerdo al criterio de duplicidad, idioma y período de tiempo.

BASE DE DATOS	N° DE ARTÍCULOS
ResearchGate	32
Microsoft Academic	4
Semantic Scholar	16
Academia	9
ScienceDirect	8
Total	69

Fuente: Elaboración propia

En la segunda fase los artículos se filtraron en base al criterio de revistas científicas indexadas y de acceso abierto. Al aplicar los respectivos criterios el número de artículos disminuyó a un total de 79.

Tabla N° 5: Artículos científicos con relación al criterio de indexación y de acceso abierto.

BASE DE DATOS	N° DE ARTÍCULOS
ResearchGate	39
Microsoft Academic	8
Semantic Scholar	15
Academia	15
ScienceDirect	2
Total	79

Fuente: Elaboración propia

Por último, luego de aplicar todos nuestros criterios de inclusión y elegibilidad, los artículos se redujeron a 36, los mismos que fueron revisados para la etapa de resultados y discusión.

Tabla N° 6: Artículos en base a la aplicación de todos los criterios de inclusión y elegibilidad.

BASE DE DATOS	N° DE ARTÍCULOS
ResearchGate	18
Microsoft Academic	4
Semantic Scholar	9
Academia	4
ScienceDirect	1
Total	36

Fuente: Elaboración propia

3.6. Rigor Científico:

Con relación a la revisión sistemática, su calidad ha sido definida por la información contenida en artículos pertenecientes a revistas indexadas, como también el amplio análisis llevado a cabo por la comunidad científica aplicando este método, dándole de esta manera un rigor científico a la investigación.

3.7. Método de análisis de la Información

La metodología y resultados fueron presentados aplicando tablas de información, gráficos de columna y circular, además de un mapa indicando las zonas, concentraciones máximas y mínimas de los metales pesados más predominantes.

3.8. Aspectos éticos

La presente revisión sistemática se realizó con información verídica, la cual fue debidamente citada de manera cuidadosa, y revisada minuciosamente, con recelo de su autenticidad y respeto hacia el autor.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se hizo una revisión de literatura utilizando las palabras clave en base a la metodología que fue descrita para la búsqueda primaria, la información obtenida se presenta en Figura N° 1.

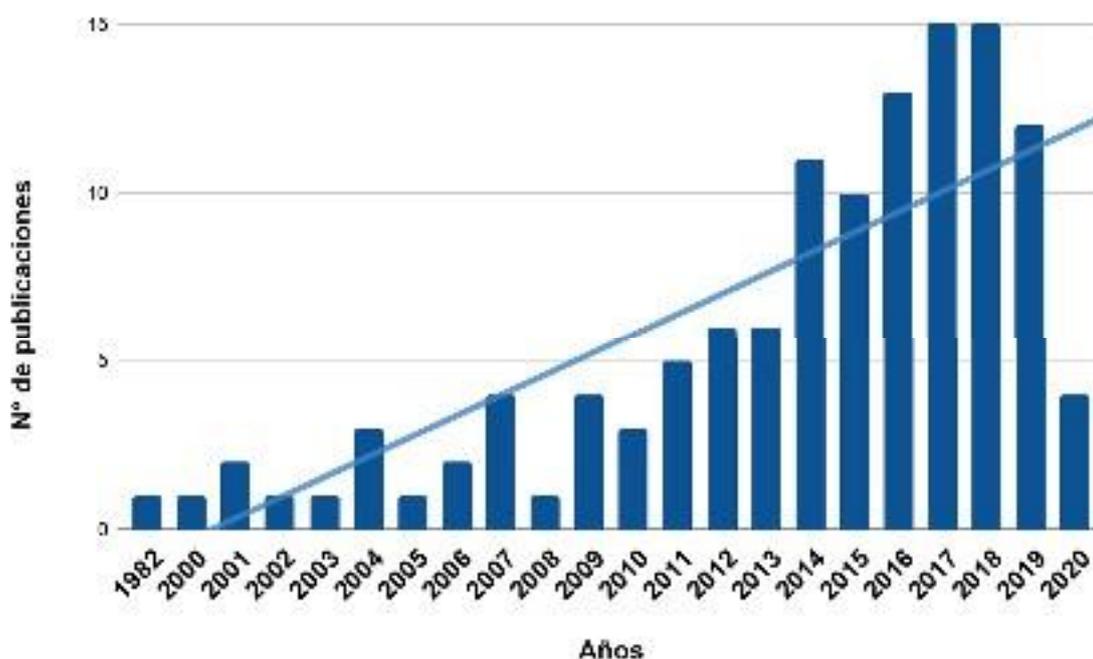


Figura N° 1: Número de publicaciones en relación a los años durante la fase de la búsqueda primaria.

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura N° 1, durante el año 1982, se realizaron escasos estudios con respecto a la evaluación de contaminación por metales pesados en ecosistemas acuáticos, a través del uso de indicadores biológicos como la especie *Mugil cephalus*, sin embargo, durante el año 2004 empiezan a surgir nuevas investigaciones, que estudiaron esta problemática a nivel mundial, con un número que oscilaba entre 1 a 6 artículos publicados cada año. Asimismo, en el año 2014, la cantidad de publicaciones se mantuvo en un constante crecimiento, reflejando de esta manera la preocupación de la comunidad científica por evaluar la degradación que ocasionaban los metales pesados, a raíz de factores como las operaciones industriales (Bahhari, Al-Switi y Al-rajab, 2017) descargas de aguas

residuales de origen doméstico, eliminación de residuos de carácter minero (Hariharan, Purvaja y Ramesh, 2014) incremento de actividades agrícolas (Ahmed et al., 2019, p.2) el aumento de la urbanización, entre otros factores clave que influyeron en la contaminación del ambiente acuático (Zaqoot, Aish y Wafi, 2016). Por otra parte, posiblemente las investigaciones apuntaron a utilizar a la especie *Mugil cephalus* como un adecuado indicador ante la polución metálica en el agua (Fazio et al., 2014) puesto a su gran habilidad para almacenar metales en su organismo (Ouali, Belabed y Chenchouni 2018) y en virtud de ello determinar la calidad química en animales acuáticos ya que resultaba de mucha importancia para la salud humana (Türkmen, Tepen y Türkmen, 2016) debido a que la concentración metálica en los tejidos de especies marinas como los peces podrían transferirse a los seres humanos a través de su consumo (Liu et al., 2019) pues la ingesta de estos productos marinos crudos, puede influir en la aparición de enfermedades como la gastroenteritis (Raval, Das y Haldar, 2017) ó producir de alguna manera trastornos crónicos y agudos (Sambath y Milton, 2017) como también generar problemas en el pez, tales como la alteración estructural, enfermedades neoplásicas en tejidos hepáticos y superficiales (Rajeshkuma et al., 2015).

Luego de haber hecho una búsqueda general y en posterior haber aplicado los respectivos criterios de inclusión y elegibilidad se seleccionaron un total de 36 artículos, los mismos que son detallados a continuación:

Tabla N° 7: Base de datos con los 36 artículos retenidos y revisados.

N°	Titulo	Base de Datos	Año	Tipo de cuerpo de agua - Área de estudio	Metales (mg/kg)	Unidad de análisis					
						Músculo del pez	Hígado	Branquia	Riñón	Gónadas	Piel
1	Assesment of trace element contamination and bioaccumulation in algae (<i>Ulva lactuca</i>), mussels (<i>Perna perna</i>), shrimp (<i>Penaeus kerathurus</i>), and fish (<i>Mugil cephalus</i> , <i>Saratherondon melanotheron</i>) along the Senegalese coast	ResearchGate	2015	Marinocostera	Cu (373) Fe (751)		X				
2	Modelling environment contamination with heavy metals in flathead grey mullet <i>Mugil cephalus</i> and upper sediments from north African coasts of the Mediterranean Sea	Academia	2018	Marinocostera	Cu (7.51) Zn (111.50)	X					
3	Assesment of heavy metal contamination in <i>Hediste diversicolor</i> (O.F. Müller, 1776), <i>Mugil Cephalus</i> (Linnaeus, 1758), and surface sediments of Bafa Lake (Eastern Aegean)	ResearchGate	2015	Continentales	Cu (371.5) Zn (234)		X				

4	Response of vanadium bioaccumulation in tissues of Mugil Cephalus	ResearchGate	2019	Continentales	V (0.40)		X
5	Distinctive accumulation patterns of heavy metals in <i>Sardinella aurita</i> (Clupeidae) and <i>Mugil cephalus</i> (Mugilidae) tissues	ResearchGate	2017	Marinocostera	Cu (6.399) Pb (5.209)	X	X
6	Determination of some heavy metal of selected black sea fish species	ResearchGate	2015	Marinocostera	As (1.9) Zn (7.3)		X
7	Heavy metal concentrations in commercial marine organisms from Xiangshan Bay, China, and the potential health risks	ResearchGate	2019	Marinocostera	Zn (1.9)	X	
8	Determination and Evaluation of Metallothionein and Metals in <i>Mugil cephalus</i> (Mullet) from Pontal Bay, Brazil	ResearchGate	2017	Continentales	Cu (199.2)		X
9	Metal accumulations in water, sediment, crab (<i>Callinectes sapidus</i>) and two fish species (<i>Mugil cephalus</i> and <i>Anguilla anguilla</i>) from the Koycegiz Lagoon System-Turkey: An index Analysis Approach	ResearchGate	2017	Continentales	Cu (29.901) Zn (78.897)	X	X

10	Bioaccumulation of heavy metals in some commercially important fishes from a tropical river estuary suggests higher potential health risk in children than adults	Semantic Scholar	2019	Estuario	Cu (11.48) Pb (12.70)	X	
11	Assessment of metallic contamination in sediment and mullet fish (<i>Mugil cephalus</i> Linnaeus, 1758) tissues from the East Algerian coast	Semantic Scholar	2018	Marinocostera	Fe (147.73) Zn (107.98)	X	
12	The Bioaccumulation of Heavy Metals in Kollidam Estuary Edible Fish <i>Mugil cephalus</i>	Semantic Scholar	2018	Estuario	Cu (101.380) Zn (896.000)		X
13	Impact of Thane cyclone on the heavy metal distribution in water, sediment, plankton and fish (<i>Mugil cephalus</i>) in selected areas along the Tamil Nadu, Southeast coast of India	Semantic Scholar	2014	Marinocostera	Fe (32.2) Zn (27.5)	X	
14	Risk Assessment and Bioconcentration of Heavy Metals in <i>Mugil Cephalus</i> (Mullet) Obtained From Azuabie Creek in Port Harcourt Nigeria.	ResearchGate	2017	Continentales	Cu (4.12) Pb (2.96)	X	

15	Collection of mullet fish (<i>Mugil cephalus</i>) from west coast of india: evaluation of its quality with relation to food safety	ResearchGate	2017	Marinocostera	Cu (33.67) Pb (24.08)	X	
16	An integrated use of histological and ultra-structural biomarkers in <i>Mugil cephalus</i> for assessing heavy metal pollution in east Berbice-Corentyne, Guyana	Microsoft Academic	2015	Marinocostera	Cu (1.413) Fe (3.775) Zn (1.605)	X	
17	Bioaccumulation of Metals in Fish from Sarikum Lake	Semantic Scholar	2018	Continentales	Cu (0.56) Zn (8.3)	X	
18	Accumulation of Two Metallic Elements (Zn, Pb) in the Mule (Flathead Grey Mullet <i>Linnaeus 1758</i>) Fishing in the Bay of Oran	Microsoft Academic	2015	Marinocostera	Zn (80.55)		X
19	Bioaccumulation of heavy metals and oxidative stress in <i>Mugil cephalus</i> in Adyar estuary	Semantic Scholar	2017	Estuario	As (1.6620) Pb (3.5140) Zn (7.060)	X	

20	A Risk Assessment of Heavy Metal Concentrations in Fish and an Invertebrate from the Gulf of Antalya	ResearchGate	2014	Marinocostera	Zn (9.0)	X	
21	Heavy metal levels in the liver and muscle tissues of the four commercial fishes from Lake Balik, Kizilirmak Delta (Samsun, Turkey)	ResearchGate	2015	Continentales	Fe (105)		X
22	Baseline concentration of heavy metals in fish collected from gaza fishing harbor in the Mediterranean sea along gaza coast, palestine	ResearchGate	2016	Marinocostera	Zn (25.87)	X	
23	Determination of Metals in Tissues of Fish Species from Hurmabogazi Lagoon	Semantic Scholar	2016	Continentales	Fe (85.6) Zn (19.4)		X
24	Concentration and Human Health Implications of Trace Metals in Fish of Economic Importance in Lagos Lagoon, Nigeria	Semantic Scholar	2017	Continentales	Zn (1.75)	X	
25	Mercury concentrations in the coastal marine food web along the Senegalese coast	Academia	2016	Marinocostera	Hg (0.463)		X

26	Bioaccumulation of heavy metals in blood and tissue of striped mullet in two Italian lakes	Academia	2014	Continentales	Pb (0.43)	X		
27	Appraisal of heavy metal levels in some marine organisms gathered from the Vellar and Uppanar estuaries Southeast Coast of Indian Ocean	ResearchGate	2019	Estuario	Al (4.538)		X	X
28	Biomonitoring saudi of Heavy Metals in water, sediments and Mugil Cephalus of Ghazaouet Harbour, Algeria	ResearchGate	2017	Marinocostera	Zn (299.94)		X	
29	Environmental safety level of lead (Pb) pertaining to toxic effects on grey mullet (Mugil cephalus) and tigre perch (Terapon jarbua).	Semantic Scholar	2014	Marinocostera	Pb (0.136)		X	
30	Geometric morphometric and heavy metals analysis of flathead grey mullet (Mugil cephalus), from Agusan River, Butuan city, Philippines	ResearchGate	2017	Continentales	Pb (4.33)	X		
31	Total mercury in muscles and liver of Mugil spp. from three coastal lagoons of NW Mexico: concentrations and risk assessment	Academia	2017	Continentales	Hg (3.91)		X	

32	Heavy metals in farmed and wild milkfish (<i>Chanos chanos</i>) and wild mullet (<i>Mugil cephalus</i>) along the coasts of Tanzania and associated health risk for humans and fish.	ResearchGate	2019	Marinocostera	Fe (1.79) Pb (1.39)	X			
33	Physiological Responses Influenced by Certain Heavy Metals at the Mullet Fish, <i>Mugil cephalus</i> Inhabiting Mediterranean Sea Coast at Damietta Governorate, Egypt.	Microsoft Academic	2019	Marinocostera	Fe (153.70) Zn (73.34)	X	X	X	X
34	Heavy Metals Content in Water, Sediment, and Fish (<i>Mugil Cephalus</i>) From Koycegiz Lagoon System in Turkey: Approaches for Assessing Environmental and Health Risk	Microsoft Academic	2018	Continentales	Zn (78.89)	X			
35	Concentration of Heavy Metals in Tissues of <i>Mugil cephalus</i> and <i>Lethrinus miniatus</i> from Jazan Coast, Saudi Arabia	ResearchGate	2017	Marinocostera	Zn (6.783)		X		
36	Comparison of the nutritional and toxicological reference values of trace elements in edible marine fish species consumed by the population in Rio De Janeiro State, Brazil	ScienceDirect	2014	Marinocostera	Zn (5.61)	X			

Fuente: Elaboración Propia

En relación a la Tabla N°7 se identificaron en posterior las principales áreas de estudio donde la especie *Mugil Cephalus* fue empleada como bioindicador.

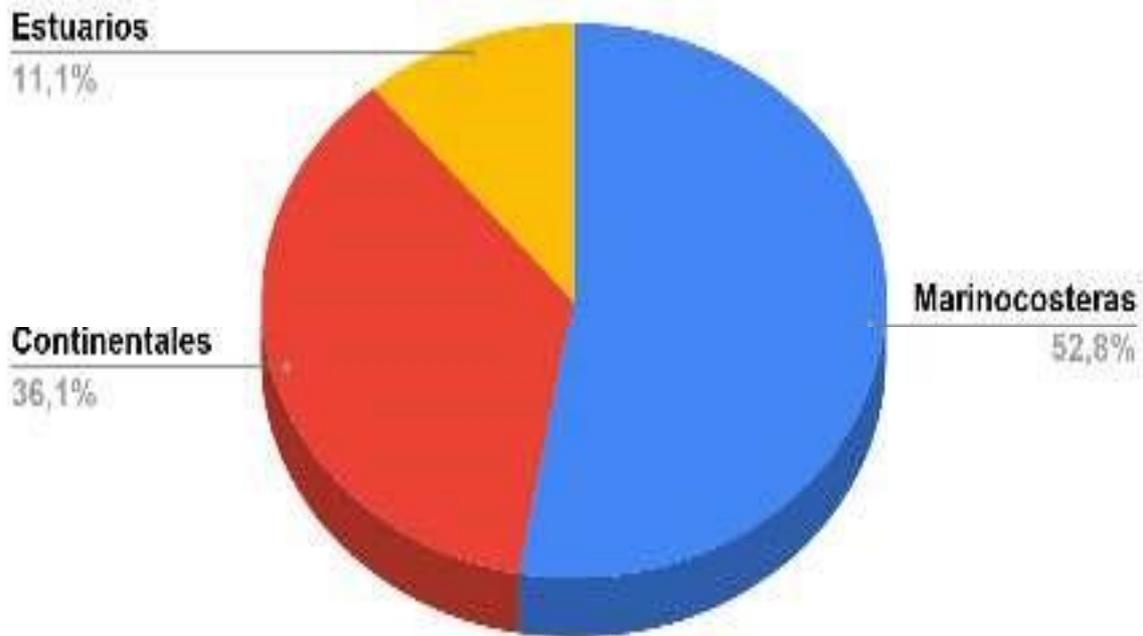


Figura N° 2: Composición porcentual de publicaciones de acuerdo con el tipo de área de estudio.

Fuente: Elaboración propia

En otro orden de ideas, la figura N° 2 refleja el enfoque de todos los artículos científicos recopilados que se centraron también en los diferentes tipos de área de estudio donde el pez *Mugil Cephalus* fue utilizado. Esta especie es considerada un ejemplar cosmopolita (Nacera y Nesrine, 2017), (Annabi, Moubadel y Herrel, 2017), lo cual quiere decir que abunda en una gran variedad de sistemas acuáticos como por ejemplo ambientes marinos, estuarinos, de agua dulce (Diop y Amara, 2016) y costeras de zonas tropicales y sub-tropicales (Genc y Yilmaz, 2018). Es así, que la mayoría de investigaciones determinaron la utilización de esta especie en áreas marino costeras (Chinnaraja, Santhanam y Kumar, 2014), lo cual se podría atribuir

a factores como la migración, la misma que se da dos veces al año en el verano durante los meses de Junio y Julio, y otra en Invierno en el mes de Octubre; pues generalmente esta especie tiende a migrar al mar abierto cuando va a reproducirse (Genc y Yilmaz, 2017), otra de las circunstancias puede atribuirse a las condiciones ambientales como la temperatura, ya que el pez *Mugil cephalus* acostumbra a vivir en aguas que oscilen entre los 8-24 °C (Rani, 2017). Asimismo, la presencia de esta especie no sólo se da en aguas salobres y marinas sino también en aguas dulces (Cabuga et al.,2017) ó continentales, esto puede estar asociado a que la *M. cephalus* suele estar cerca de áreas donde haya gran cantidad de sedimentos, o también debido a su comportamiento alimenticio a base de detritos, diatomeas e invertebrados microscópicos (Moslen, 2017). Esto podría explicar el comportamiento que caracteriza a esta especie de pez con relación a su empleo como bioindicador de distribución global, ya que puede ejercer un rol clave en diversos sistemas acuáticos (Fazio et al., 2019).

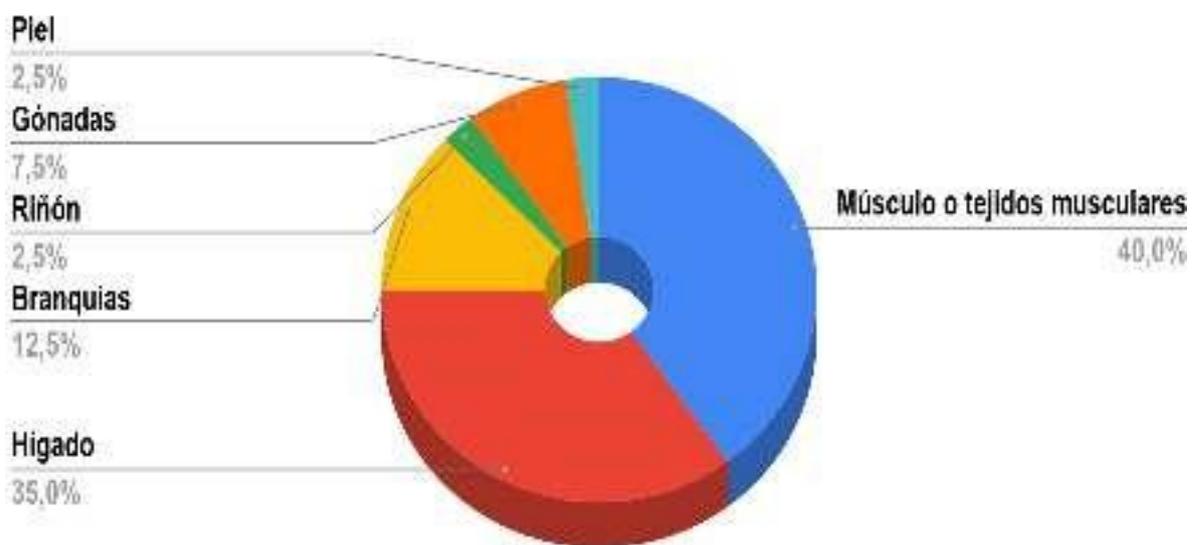


Figura N° 3: Porcentaje de publicaciones que reportan la unidad de análisis más afectada.

Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 3, se observan los hallazgos referidos al porcentaje de artículos donde se estudiaron diferentes partes del pez, como unidad de análisis, los autores determinaron que el músculo o los tejidos musculares eran los principales agentes acumuladores de metales pesados, hecho que posiblemente esté ligado al hábitat o localización de muestreo, el tipo de especie (Ahmed, 2019) e incluso al cambio de temporada y patrones de temperatura en el agua (Genc y Yilmaz, 2018), ello justificaría la necesidad de estudiar este tejido debido a que suele ser consumido por el ser humano, y el punto de partida con respecto al interés por mantener un monitoreo constante de estos (Fazio et al., 2014). Por otro lado, esta especie también está mayoritariamente expuesta a acumular metales pesados entre otros contaminantes en tejidos hepáticos como el hígado (Aydin et al., 2015), este es considerado uno de los principales tejidos almacenadores de metales pesados (Delgado et al., 2017) y su acumulación puede estar relacionada con el tiempo de exposición, el tipo de alimento que consume (Genc y Yilmaz, 2018) la especie *Mugil cephalus*, dado que esta es de tipo pelágica, omnívora y su alimentación se caracteriza por estar basada en el consumo de crustáceos, algas, zooplancton, y también la ingesta de sedimentos (Ouali et al., 2018). Sin embargo, esta mínima pero marcada diferencia entre tejidos se atribuya tal vez a que el hígado tiene la capacidad de desintoxicar y biotransformar contaminantes extraños que ingresan al cuerpo, causando daños en la estructura del pez debido a las altas concentraciones (Hariharan, Purvaja y Ramesh, 2014). En contraste, las branquias son consideradas también como una ruta potencial para la absorción y acumulación del metal (Makedonski, Peycheva y Stancheva, 2015) lo cual posiblemente se deba a que poseen las glándulas epiteliales más delgadas haciendo de esta forma que los metales se filtren con más facilidad al estar en contacto directo con el agua contaminada (Sulieman y Suliman, 2019).



Figura N° 4: Porcentaje de publicaciones que reportan los metales más bioacumulados por la especie *M. cephalus*.

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, la figura N° 4 expone la composición porcentual de publicaciones que reportaron los autores con relación a los metales pesados más acumulados por la especie *Mugil cephalus* en cada uno de los artículos seleccionados. Los resultados en este punto, mostraron que uno de los metales que más se bioacumulaba era el Zinc (Zn), caso que podría asociarse a que este elemento es catalogado como el más abundante en el organismo del pez, pues cumple un papel como micronutriente esencial para este, manteniendo funciones biológicas como la función enzimática (Oguguah y Ikegwu, 2017) y realizando la síntesis de carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos (Bat et al., 2015) no obstante, este elemento a altas concentraciones se vuelve nocivo y tóxico para los peces (Yipen y Yarsan, 2014) pues autores señalan que su acumulación tiene que ver con factores como el cambio de temporada, ya que el Zinc fue más absorbido por la especie durante estaciones cálidas (Hamed, 2019), los vientos pueden haber contribuido también a la dispersión de este metal en el cuerpo de agua, dado que los metales se pueden distribuir tanto por aire como por agua, a través de las

escorrentías, flujo de los ríos y corrientes oceánicas depositándose en el medio acuático (Brown et al., 2019) ó también la relación que guarda el metal con el sexo de la especie (Bouhadiba et al., 2015). En segunda instancia, otro de de los metales más bioacumulados por la *Mugil Cephalus*, corresponde al Cobre (Cu), que al igual que el zinc, es considerado como uno de los elementos necesarios para lo que respecta actividades metabólicas en los organismos (Bat et al., 2018) sin embargo, esta diferencia porcentual en cuanto a la acumulación puede haber sido influenciada también por el nivel de capacidad que tiene el pez para asimilar el metal en su organismo, sus hábitos alimenticios, su habilidad para producir metalotioneina (Diop et al., 2015) puesto a que estas proteínas actúan como secuestradores de metales por medio de los complejos de tiol, los cuales permiten a estas proteínas cuidar a los organismos de la toxicidad de los metales (Viana et al., 2017). Por último, otro de los metales bioacumulados en el cuerpo de la especie fue el Plomo (Pb), elemento cuya acumulación puede estar ligada a la talla y la masa corporal del pez (Cabuga et al., 2017).

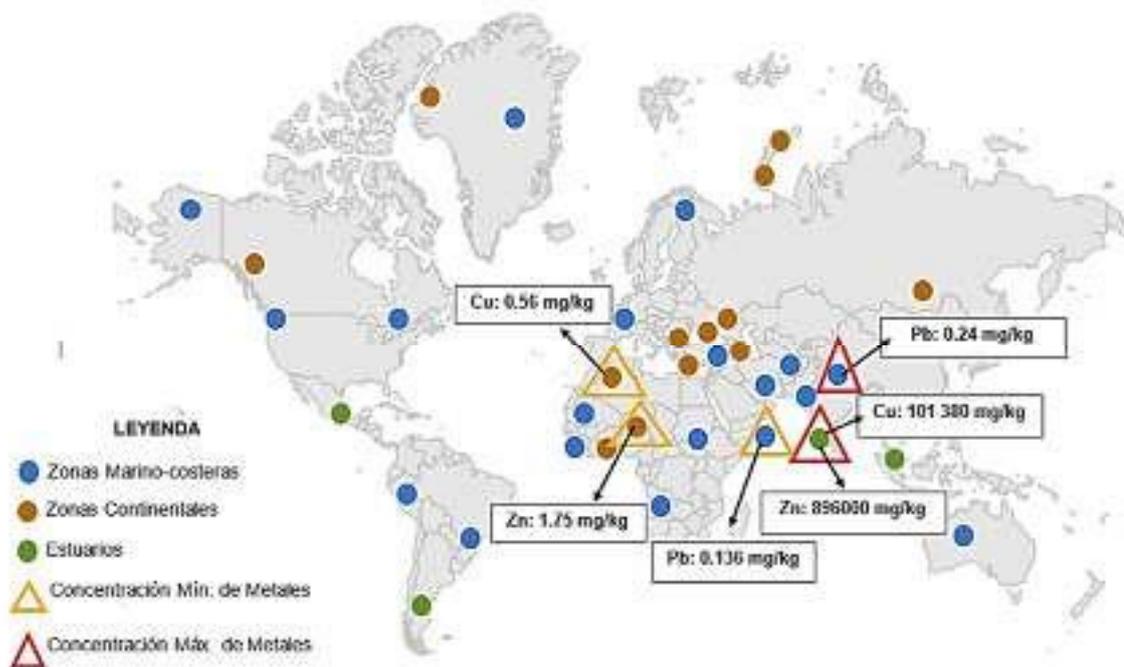


Figura N° 5: Mapa en relación a la zona y concentraciones máximas y mínimas de los metales pesados más predominantes.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la figura N° 5 muestra un mapa geográfico donde se plasman las mayores concentraciones en función a la zona y/o área de estudio, hallándose la concentración máxima del zinc, cobre y plomo en las zonas marino costeras y estuarios, lo cual puede deberse a la actividad antropogénica que tal vez se pueda desarrollar por las fuentes industriales asentadas a lo largo de las zonas costeras (Ouali, Belabed y Chenchouni, 2018), en algunos casos podría suscitarse debido a los procesos biogeoquímicos, ó una sobrepoblación cerca de estas zonas (Bahhari, Al-Switi y Al-Rajab, 2017) asimismo los niveles de elementos inorgánicos podrían también divergir entre individuos debido a la influencia del medio ambiente, factores biológicos tales como el origen del pez, comportamiento alimenticio y su edad (Jurema et al., 2014).

V. CONCLUSIONES

1. Las zonas donde más se utilizaba la especie *Mugil Cephalus* como bioindicador de contaminación por metales pesados fueron la zonas marinocostas, pues dentro de los 36 artículos que fueron seleccionados se hallaron 19 (52.8%) que referían a estos cuerpos de agua como principal área de estudio, seguido de otros 13 (36.1%) que referían a las aguas continentales, las mismas que comprendían lagos, lagunas, ríos y arroyos, finalmente se determinaron 4 (11.1%) artículos referentes a estuarios, como efecto de estudios científicamente realizados.
2. El metal que fue mayormente reportado como bioacumulable en el organismo del pez *Mugil Cephalus* fue el Zinc (Zn) alcanzando valores de concentración máxima y mínima de 896 000 mg/kg y 1,75 mg/kg respectivamente, seguido del Cobre (Cu) el cual reportó un rango máximo de 101 380 mg/kg y un mínimo de 0.56 mg/kg mientras que el Plomo (Pb) reflejó una concentración máxima de 24.08 mg/kg y un mínimo de 0.136 mg/kg.
3. El 40% de los artículos revisados reportó que la unidad de análisis donde mayormente se acumulaban los metales pesados era el músculo o tejidos musculares de la especie *Mugil Cephalus*, seguido del Hígado con un 35% de artículos y finalmente las branquias con un 12.5%.

VI. RECOMENDACIONES

- Para la elaboración de trabajos futuros realizar una medición de las características biométricas del pez para resolver si dichos factores inciden en la acumulación de los metales pesados en el organismo de la especie.
- Así mismo para investigaciones futuras, respecto al tema estudiado, tomar en cuenta las diferentes condiciones climáticas, con el objetivo de definir su influencia en la absorción de los metales pesados.
- Además, tener presente la evaluación de metales en tejidos como las gónadas, a manera de que este biomarcador sea de utilidad para determinar si la acumulación es mayor en hembras o machos.
- Por otro lado, realizar estudios con los huevos del pez, ya que es una de las partes que se consumen directamente también, y suele ser muy recomendado para la alimentación de los seres humanos, por contener altas concentraciones de proteínas, hierro, etc.

REFERENCIAS

AHMED, Shafiuddin [et al]. Bioaccumulation of heavy metals in some commercially important fishes from a tropical river estuary suggests higher potential health risk in children than adults. *Plos one* [en línea]. Junio - Octubre del 2019. Vol. 14. n°10. [Fecha de consulta: 08 de Mayo de 2020]. Disponible en: https://pdfs.semanticscholar.org/8a2f/1ab9a391c53f81f01054e95fa97ee8d0c184.pdf?_ga=2.48657007.811891157.1590529073-1746004690.1590529073. ISSN: 1932-6203

ANNABI, Ali., EL MOUADEB, Rahma., y HERREL, Anthony. Distinctive accumulation patterns of heavy metals in *Sardinella aurita* (Clupeidae) and *Mugil cephalus* (Mugilidae) tissues. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea]. 12 de Noviembre, 2017. Vol. 25. n°3. [Fecha de consulta: 5 de Mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/321017528>. ISSN: 0944-1344

AYDIN, Sinem [et al]. Assessment of heavy metal contamination in *Hediste diversicolor* (O.F. Müller, 1776), *Mugil Cephalus* (Linnaeus, 1758), and surface sediments of Bafa Lake (Eastern Aegean). *Environmental Science and Pollution Research* [en línea]. 09 de Enero, 2015. Vol. 22. [Fecha de consulta: 5 de Mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/270650223>. ISSN 0944-1344

BAHHARI, Ali., AL-SWITI, Ibrahim., y AL-RAJAB, Abdul. Concentration of Heavy Metals in Tissues of *Mugil cephalus* and *Lethrinus miniatus* from Jazan Coast, Saudi Arabia. *Nature Environment and Pollution Technology* [en línea]. Julio, 2017. Vol. 16. n°2. [Fecha de consulta: 18 de Mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/307594232_Concentration_of_heavy_metals_in_tissues_of_Mugil_cephalus_and_Lethrinus_miniatus_from_Jazan_coast_Saudi_Arabia. ISSN: 2395-3454

BAT, Levent [et al]. Bioaccumulation of Metals in Fish from Sarikum Lake. *Aquatic Science and Technology* [en línea]. Agosto, 2018. Vol.7. n°1. [Fecha de consulta: 05 de Mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Bioaccumulation-of-Metals-in-Fish-from-Sarikum-Lake-Bat-Yard%C4%B1m/1723da1d2086e518657e46ad11fc6f932b674fff>. ISSN 2168-9148

BAT, Levent [et al]. Heavy metal levels in the liver and muscle tissues of the four comercial fishes from Lake Balik, Kizilimark Delta (Samsun, Turkey). *Journal of Coastal Life Medicine* [en línea]. Diciembre, 2015. Vol.3. n°12. [Fecha de consulta: 13 de Mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/287294249_Heavy_Metal_Levels_in_the_Liver_and_Muscle_Tissues_of_the_Four_Commercial_Fishes_from_Lake_Balik_Kizilirmak_Delta_Samsun_Turkey. ISSN: 2609-6152

BOUHADIBA, Sultana [et al]. Accumulation of Two Metallic Elements (Zn, Pb) in the Mule (Flathead Grey Mullet Linnaeus 1758) Fishing in the Bay of Oran. *International journal of scientific research in science and technology* [en línea]. 25 de Noviembre, 2015. Vol. 1. n°6. [Fecha de consulta: 15 de Mayo de 2020]. Disponible en: <http://ijsrst.com/paper/192.pdf>. ISSN: 2395-602X

BROWN, Eliezer [et al]. Heavy metals in farmed and wild milkfish (*Chanos chanos*) and wild mullet (*Mugil cephalus*) along the coasts of Tanzania and associated health risk for humans and fish. *Chemosphere* [en línea]. Junio, 2019. Vol. 224. [Fecha de consulta: 30 de Abril del 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/331026682_Heavy_metals_in_farmed_and_wild_milkfish_Chanos_chanos_and_wild_mullet_Mugil_cephalus_along_the_coasts_of_Tanzania_and_associated_health_risk_for_humans_and_fish. ISSN: 0045-6535

BUNGALA, Sharifa., MACHIWA, John., y SHILLA, Daniel. Concentration and Biomagnification of Heavy Metals in Biota of the Coastal Marine Areas of Tanzania.

Journal of Environmental Science and Engineering B 6 [en línea]. Agosto, 2017. Vol.6. n° 8. [Fecha de consulta: 09 de Mayo del 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/322390839_Concentration_and_Biomagnification_of_Heavy_Metals_in_Biota_of_the_Coastal_Marine_Areas_of_Tanzania. ISSN: 2162-5271

CABUGA, Cresencio [et al]. Geometric morphometric and heavy metals analysis of flathead grey mullet (*Mugil cephalus*), from Agusan River, Butuan city, Philippines. *Journal of biodiversity and Environmental Sciences* [en línea]. 2017. Vol.11. n°1. [Fecha de consulta: 01 de Junio del 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/318921101_Geometric_morphometric_and_heavy_metals_analysis_of_flathead_grey_mullet_Mugil_cephalus_from_Agusan_River_Butuan_city_Philippines. ISSN: 2222-3045

CHINNARAJA, V., SANTHANAM,P., y KUMAR, S. Impact of Thane cyclone on the heavy metal distribution in water, sediment, plankton and fish (*Mugil cephalus*) in selected areas along the Tamil Nadu, Southeast coast of India. *Indian Journal of geo-marine science* [en línea]. Mayo, 2014. Vol. 44. n°10. [Fecha de consulta: 14 de Mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Impactof-Thane-cyclone-on-the-heavy-metal-in-and-Chinnaraja-Santhanam/617fe3620f06be7f2b492e75e83f0672e85a7db2>. ISSN: 0975-1033

DELGADO, C. [et al]. Total mercury in muscles and liver of *Mugil* spp. from three coastal lagoons of NW Mexico: concentrations and risk assessment. *Environmental Monitoring and Assessment* [en línea]. Junio, 2017. Vol. 189. n°6. [Fecha de consulta: 05 de Mayo de 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/39405568/Total_mercury_in_muscles_and_liver_of_Mugil_spp._from_three_coastal_lagoons_of_NW_Mexico_concentrations_and_risk_assessment. ISSN: 1573-2959

DIOP, Mamadou [et al]. Assessment of trace element contamination and bioaccumulation in algae (*Ulva lactuca*), mussels (*Perna perna*), shrimp (*Penaeus kerathurus*), and fish (*Mugil cephalus*, *Saratherondon melanotheron*) along the Senegalese coast. *Marine Pollution Bulletin* [en línea]. Diciembre, 2015. Vol.103. n°1. [Fecha de consulta: 5 de Mayo del 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/289524213_Diop_2016. ISSN: 0025-326X

DIOP, Mamadou., y AMARA, Rachid. Mercury concentrations in the coastal marine food web along the Senegalese coast. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea]. Marzo, 2016. Vol.23. [Fecha de consulta: 10 de Mayo de 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/25856028/Mercury_concentrations_in_the_coastal_marine_food_web_along_the_Senegalese_coast?email_work_card=view-paper. ISSN: 0944-1344

ESPINO, Elaine [et al]. Reproduction of *Mugil cephalus* (Percoidei: Mugilidae) off the Central Mexican Pacific Coast. *Fisheries and Aquaculture Journal* [en línea]. Enero, 2016. Vol. 7. n°4. [Fecha de consulta: 12 de Mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/312321957_Reproduction_of_Mugil_cephalus_Percoidei_Mugilidae_off_the_Central_Mexican_Pacific_Coast. ISSN: 21503508

FAZIO, Francesco [et al]. Response of vanadium bioaccumulation in tissues of *Mugil Cephalus*. *Science of The Total Environment* [en línea]. 1 de Noviembre, 2019. Vol. 689. [Fecha de consulta: 30 de Abril del 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/334105351_Response_of_vanadium_bioaccumulation_in_tissues_of_Mugil_cephalus_Linnaeus_1758. ISSN: 0048-9697

FAZIO, Francesco [et al]. Bioaccumulation of heavy metals in blood and tissue of Striped Mullet in Two Italian Lakes. *Journal of Aquatic Animal Health* [en línea]. Noviembre, 2014. Vol. 26. n°4. [Fecha de consulta: 15 de Mayo de 2020].

Disponible

en:
32

https://www.academia.edu/9137042/Bioaccumulation_of_Heavy_Metals_in_Blood_and_Tissue_of_Striped_Mullet_in_Two_Italian_Lakes?email_work_card=viewpaper. ISSN: 1548-8667

FOWLER, Ashley [et al]. Partial migration of grey mullet (*Mugil Cephalus*) on Australia's east coast revealed by otolith chemistry. *Marine Environmental Research* [en línea]. Junio, 2016. Vol. 119. [Fecha de consulta: 08 de Julio de 2020].

Disponible en:
https://www.academia.edu/27354716/Partial_migration_of_grey_mullet_Mugil_cephalus_on_Australias_east_coast_revealed_by_otolith_chemistry. ISSN: 0141-1136

GAETE, Hernán [et al]. Evaluación de la genotoxicidad de las aguas costeras de Chile central sobre los peces *Mugil cephalus* y *Odontesthes brevianalis*. *Hidrobiológica* [en línea]. 2014. Vol. 24. n°2. [Fecha de consulta: 08 de Julio de 2020]. Disponible en:

<https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/download/606/197>.
ISSN: 2448-7333

GENC, Tuncer., y YILMAZ, Fevzi. Heavy Metals Content in Water, Sediment, and Fish (*Mugil cephalus*) From Koycegiz Lagoon System in Turkey: Approaches for Assessing Environmental and Health Risk. *Journal of Agricultural Science and Technology* [en línea]. 01 de enero del 2018. Vol. 20. n° 1. [Fecha de consulta: 15 de Mayo de 2020]. Disponible en: <https://jast.modares.ac.ir/article-23-321-en.pdf>.
ISSN: 2345-3737

GENC, Tuncer., y YILMAZ, Fevzi. Metal accumulations in water, sediment, crab (*Callinectes sapidus*) and two fish species (*Mugil cephalus* and *Anguilla anguilla*) from the Koycegiz Lagoon System-Turkey: An index Analysis Approach. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* [en línea]. Noviembre - Mayo 2017. Vol. 99. n° 2. [Fecha de consulta: 07 de Mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/317606916>. ISSN: 1432-0800

HAMED, Mohamed. Physiological Responses Influenced by Certain Heavy Metals at the Mullet Fish, Mugil cephalus Inhabiting Mediterranean Sea Coast at Damietta Governorate, Egypt. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences* [en línea]. Noviembre, 2019. Vol. 11. n°3. [Fecha de consulta: 14 de Mayo de 2020].

Disponible

en:

https://eajbsc.journals.ekb.eg/article_63940_ce2de99a2e30f37547cfcb57178846f6.pdf ISSN: 2090-0767

HARIHARAN, G., PURVAJA, R., y RAMESH, R. Environmental Safety Level of Lead (Pb) Pertaining to Toxic Effects on Grey Mullet (Mugil cephalus) and Tiger Perch (Terapon jarbua). *Environmental Toxicology* [en línea]. Julio, 2014. Vol.31. n°1. [Fecha de consulta: 20 de Mayo de 2020]. Disponible en:

[https://www.semanticscholar.org/paper/Environmental-safety-level-of-lead-\(Pb\)pertaining-Hariharan-](https://www.semanticscholar.org/paper/Environmental-safety-level-of-lead-(Pb)pertaining-Hariharan-Purvaja/e6dae2b68a708ba5c3fc07f327a8a59d0994d4c0)

[Purvaja/e6dae2b68a708ba5c3fc07f327a8a59d0994d4c0.](https://www.semanticscholar.org/paper/Environmental-safety-level-of-lead-(Pb)pertaining-Hariharan-Purvaja/e6dae2b68a708ba5c3fc07f327a8a59d0994d4c0)

ISSN: 1522-7278

HELAL, Eman [et al]. Monitor of water quality using the grey mullet (Mugil cephalus) as bioindicator in two Egyptian lakes. *The Egyptian Journal of Hospital Medicine* [en línea]. Octubre, 2018. Vol. 73. n° 9. [Fecha de consulta: 18 de Mayo de 2020].

Disponible en:

https://ejhm.journals.ekb.eg/article_18707_a68da7b2b3a2704a25665f1d64554db.pdf. ISSN: 2090-7195

HINOJOSA, Demián., RENDÓN, Jaime., DZUL, Ricardo. Banded tetra (*Astyanax aeneus*) as bioindicator of trace metals in aquatic ecosystems of the Yucatán Península, Mexico: Experimental biomarkers validation and wild population biomonitoring. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea]. 2020. Vol. 195. [Fecha de consulta: 08 de Julio de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/340032673_Banded_tetra_Astyanax_aeneus_as_bioindicator_of_trace_metals_in_aquatic_ecosystems_of_the_Yucatan_

Peninsula_Mexico_Experimental_biomarkers_validation_and_wild_populations_biomonitoring. ISSN: 0147-6513

JUREMA, Renata [et al]. Comparison of the nutritional and toxicological reference values of trace elements in edible marine fish species consumed by the population in Rio De Janeiro State, Brazil. *Toxicology Reports* [en línea]. 28 de Junio, 2014. Vol. 1. [Fecha de consulta: 15 de Mayo de 2020]. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2214750014000390?token=AA9D89DB54D3936A6401F4C04CBD7803C1ED47FEEB975930A8AB7DCAF5276A0D4D841DB0E70925DCD651EF912D5DF19D>. ISSN: 2214-7500

LIU, Qiang [et al]. Heavy metal concentrations in commercial marine organisms from Xiangshan Bay, China, and the potential health risks. *Marine Pollution Bulletin* [en línea]. Abril, 2019. Vol. 141. [Fecha de consulta: 07 de Mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/331486463>. ISSN: 0025-326X

LOZADA, José. Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *CienciaAmerica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica* [en línea]. 2014. Vol. 3. n°1. [Fecha de consulta: 02 de Julio del 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>. ISSN: 1390-9592

MAKEDONSKI, Lubomir., PEYCHEVA, Katya., y STANCHEVA, Mona. Determination of some heavy metal of selected black sea fish species. *Food Control* [en línea]. Agosto, 2015. [Fecha de consulta: 8 de Mayo del 2020]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/282641511>. ISSN: 0956-7135

MOSLEN, Miebaka. Risk Assessment and Bioconcentration of Heavy Metals in Mugil Cephalus (Mullet) obtained from Azuabie Creek in Port Harcourt Nigeria. *Journal of Research in Environmental and Earth Science* [en línea]. Abril, 2017. Vol. 3. n°5. [Fecha de consulta: 15 de Mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/317912968_Risk_Assessment_and_Bioc

oncentration_of_Heavy_Metals_In_Mugil_Cephalus_Mullet_Obtained_From_Azua
bie_Creek_in_Port_Harcourt_Nigeria. ISSN: 2348-2532

NACERA, Dali., y NESRINE, Belarbi. Biomonitoring study of heavy metals in water, sediments and Mugil Cephalus of Ghazaouet Harbour, Algeria. *Fresenius Environmental Bulletin* [en línea]. 2017. Vol.26. n°6. [Fecha de consulta: 8 de Mayo del 2020]. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/profile/Pelin_Alaboz/publication/318405345_EFFECTS_OF_SAW-](https://www.researchgate.net/profile/Pelin_Alaboz/publication/318405345_EFFECTS_OF_SAW-DUST_BIOCHAR_ON_SOME_SOIL_MOISTURE_CONSTANTS/links/59f9ce180f7e9b7609687a2b/EFFECTS-OF-SAW-DUST-BIOCHAR-ON-SOME-SOIL-MOISTURE-CONSTANTS.pdf#page=16)

[DUST_BIOCHAR_ON_SOME_SOIL_MOISTURE_CONSTANTS/links/59f9ce180f7e9b7609687a2b/EFFECTS-OF-SAW-DUST-BIOCHAR-ON-SOME-SOIL-MOISTURE-CONSTANTS.pdf#page=16](https://www.researchgate.net/profile/Pelin_Alaboz/publication/318405345_EFFECTS_OF_SAW-DUST_BIOCHAR_ON_SOME_SOIL_MOISTURE_CONSTANTS/links/59f9ce180f7e9b7609687a2b/EFFECTS-OF-SAW-DUST-BIOCHAR-ON-SOME-SOIL-MOISTURE-CONSTANTS.pdf#page=16). ISSN: 1018-4619

OGUGUAH, Ngozi., y IKEGWU, Onyekachi. Concentration and Human Health Implications of Trace Metals in Fish of Economic Importance in Lagos Lagoon, Nigeria. *Journal of Health & Pollution* [en línea]. Marzo, 2017. Vol.7. n°13. [Fecha de consulta: 15 de Mayo del 2020]. Disponible en:

https://pdfs.semanticscholar.org/43f2/e2ccc663f2047a95ac64274ab17cf714ce2c.pdf?_ga=2.21549305.317926914.1590978940-1746004690.1590529073. ISSN: 2156-9614

OUALI, Naouel., BELABED, Bourhane-eddine., y CHENCHOUNI, Haroun.

Modelling environment contamination with heavy metals in flathead grey mullet Mugil cephalus and upper sediments from north African coasts of the Mediterranean Sea. *Science of the total environment* [en línea]. 15 de Octubre, 2018. Vol. 639.

[Fecha de consulta: 30 de Abril del 2020]. Disponible en:

https://www.academia.edu/36590020/Modelling_environment_contamination_with_heavy_metals_in_Flathead_grey_mullet_Mugil_cephalus_and_upper_sediments_from_North_African_coasts_of_the_Mediterranean_Sea. ISSN: 0048-9697

OUALI, Naouel [et al]. Assessment of metallic contamination in sediment and mullet fish (*Mugil cephalus* Linnaeus, 1758) tissues from the East Algerian coast.

Journal of water and land development [en línea]. 09 de Marzo del 2018. n° 38.

[Fecha de consulta: 15 de Mayo de 2020]. Disponible en:

<https://www.semanticscholar.org/paper/Assessment-of-metallic-contamination-insediment-Ouali-Belabed/a7c209b7db2ead7bcdd18803a621900f1d04baf7>.

ISSN:

1429-7426

RAJESHKUMAR, Sivakumar [et al]. An integrated use of histological and ultrastructural biomarkers in *Mugil cephalus* for assessing heavy metal pollution in east Berbice-Corentyne, Guyana. *International Journal of Bioassays* [en línea]. Setiembre - Octubre, 2015. Vol.4. n°11. [Fecha de consulta: 10 de Mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.ijbio.com/articles/an-integrated-use-of-histological-andultrastructural-biomarkers-in-mugil-cephalus-for-assessing-heavy-metal-pollutioni.pdf>. ISSN: 2278-778X

RANI, Shameem. The Bioaccumulation of Heavy Metals in Kollidam Estuary Edible Fish *Mugil cephalus*. *International Journal of Science and Research* [en línea]. Julio, 2018. Vol. 7. n° 7. [Fecha de consulta: 13 de Mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.ijsr.net/archive/v7i7/ART201955.pdf>. ISSN: 2319-7064

RAVAL, Ishan., DAS, Keshob., y HALDAR, Soumya. Collection of mullet fish (*Mugil cephalus*) from west coast of India: evaluation of its quality with relation to food safety. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea]. Marzo, 2017. Vol.24. [Fecha de consulta: 14 de Mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/315006442_Collection_of_mullet_fish_Mugil_cephalus_from_west_coast_of_India_evaluation_of_its_quality_with_relation_to_food_safety. ISSN: 1614-7499

SANCHES, Pedro [et al]. Toxicity test and Cd, Cr, Pb and Zn bioaccumulation in *Phalloceros caudimaculatus*. *Egyptian Journal of basic and applied sciences* [en línea]. 21 de Junio, 2017. Vol. 4. n°3. [Fecha de consulta: 15 de Mayo de 2020]. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2314808X16301075?token=9E1E8048DF2AB84973E6B18678911E12DD9A97CE5AA45944FF6190CE26F7B65604B455>

SAMBATH, Sophia., y MILTON, John. Bioaccumulation of heavy metals and oxidative stress in Mugil Cephalus in Adyar estuary. *International Journal of Science, Engineering and Management* [en línea]. Agosto, 2017. Vol.2. n°8. [Fecha de consulta: 10 de Mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Bioaccumulation-of-heavy-metals-andoxidative-in-Milton/0659b9910b6046e9ae4ffe64cbbcf6b0643f4885>. ISSN: 24561304

SULIEMAN, Hassan., y SULIMAN, El Amin. Appraisal of heavy metal levels in some marine organisms gathered from the Vellar and Uppanar estuaries Southeast Coast of Indian Ocean. *Journal of Taibah University for Science* [en línea]. 08 de Febrero, 2019. Vol. 13. n°1. [Fecha de consulta: 16 de Mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/330993143_Appraisal_of_heavy_metal_levels_in_some_marine_organisms_gathered_from_the_Vellar_and_Uppanar_estuaries_Southeast_Coast_of_Indian_Ocean. ISSN: 1658-3655

TURKMEN, Aysun., TEPE, Yalcin., y TURKMEN, Mustafa. Determination of Metals in Tissues of Fish Species from Hurmabogazi Lagoon. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences* [en línea]. Febrero, 2016. Vol.45. n°2. [Fecha de consulta: 01 de Junio de 2020]. Disponible en: https://pdfs.semanticscholar.org/5860/6d731aba2170c066d5cfe57e91c687906ef8.pdf?_ga=2.12864947.502977494.1591149670-1746004690.1590529073. ISSN: 0975-1033

VENKATESWARLU, Vardi., y VENKATRAYULU, Chenji. Bioaccumulation of heavy metal lead (Pb) in different tissues of brackish water fish Mugil cephalus (Linnaeus, 1758). *Journal of applied Biology & Biotechnology* [en línea]. Marzo - Abril del 2020. Vol. 8. n° 2. [Fecha de consulta: 13 de Mayo de 2020]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/a3ec/8bedff2ef751022db8d6af8c2ccf510751ad.pdf>. ISSN: 2347-212X

VIANA, Clissiane [et al]. Determination and Evaluation of Metallothionein and Metals in *Mugil cephalus* (Mullet) from Pontal Bay, Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* [en línea]. Abril - Octubre 2017. Vol. 98. n° 1. [Fecha de consulta: 13 de Abril de 2020]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/310776895_Determination_and_Evaluation_of_Metallothionein_and_Metals_in_Mugil_cephalus_Mullet_from_Pontal_Bay_Brazil. ISSN: 1432-0800

YIPEL, Mustafa., y YARSAN, Ender. A risk assessment of heavy metal concentrations in fish and invertebrate from the gulf of Antalya. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology* [en línea]. Septiembre, 2014. vol.93. [Fecha de consulta: 9 de Mayo de 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/265607352_A_Risk_Assessment_of_Heavy_Metal_Concentrations_in_Fish_and_an_Invertebrate_from_the_Gulf_of_Antalya. ISSN: 1432-0800

ZAQOOT, Hossam., AISH, Adnan., y WAFI, Hisham. Baseline Concentration of Heavy Metals in Fish Collected from Gaza Fishing Harbor in the Mediterranean Sea along Gaza Coast, Palestine. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* [en línea]. 2016. Vol.17. [Fecha de consulta: 13 de Mayo de 2020]. Disponible en: http://www.trjfas.org/uploads/pdf_977.pdf. ISSN: 1303-2712