



Universidad
del Atlántico

CÓDIGO: FOR-DO-109

VERSIÓN: 0

FECHA: 03/06/2020

**AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL
TEXTO COMPLETO**

Puerto Colombia, 24 de Abril de 2020

Señores

DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECAS

Universidad del Atlántico

Asunto: Autorización Trabajo de Grado

Cordial saludo,

Yo, **DIANA PAOLA ARTETA SALTARÍN**, identificado(a) con **C.C. No. 1.002.011.210** de **PIOJÓ**, autor(a) del trabajo de grado titulado **BIOACUMULACIÓN DE METALES TRAZA (CU Y ZN) EN MÚSCULO, BRANQUIAS E HÍGADO DE LA LISA MUGIL INCILIS (HANCOCK 1830) PRESENTE EN LA CIÉNAGA DE LOS MANATÍES EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO-COLOMBIA** presentado y aprobado en el año **2019** como requisito para optar al título Profesional de **BIÓLOGA**; autorizo al Departamento de Bibliotecas de la Universidad del Atlántico para que, con fines académicos, la producción académica, literaria, intelectual de la Universidad del Atlántico sea divulgada a nivel nacional e internacional a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios del Departamento de Bibliotecas de la Universidad del Atlántico pueden consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web institucional, en el Repositorio Digital y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad del Atlántico.
- Permitir consulta, reproducción y citación a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD-ROM o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Esto de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Atentamente,

Firma 
DIANA PAOLA ARTETA SALTARÍN
C.C. No. 1.002.011.210 de PIOJÓ

DECLARACIÓN DE AUSENCIA DE PLAGIO EN TRABAJO ACADÉMICO PARA GRADO

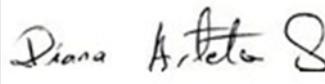
Este documento debe ser diligenciado de manera clara y completa, sin tachaduras o enmendaduras y las firmas consignadas deben corresponder al (los) autor (es) identificado en el mismo.

Puerto Colombia, **24 de Abril de 2020**

Una vez obtenido el visto bueno del director del trabajo y los evaluadores, presento al **Departamento de Bibliotecas** el resultado académico de mi formación profesional o posgradual. Asimismo, declaro y entiendo lo siguiente:

- El trabajo académico es original y se realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, en consecuencia, la obra es de mi exclusiva autoría y detento la titularidad sobre la misma.
- Asumo total responsabilidad por el contenido del trabajo académico.
- Eximo a la Universidad del Atlántico, quien actúa como un tercero de buena fe, contra cualquier daño o perjuicio originado en la reclamación de los derechos de este documento, por parte de terceros.
- Las fuentes citadas han sido debidamente referenciadas en el mismo.
- El (los) autor (es) declara (n) que conoce (n) lo consignado en el trabajo académico debido a que contribuyeron en su elaboración y aprobaron esta versión adjunta.

Título del trabajo académico:	BIOACUMULACIÓN DE METALES TRAZA (CU Y ZN) EN MÚSCULO, BRANQUIAS E HÍGADO DE LA LISA MUGIL INCILIS (HANCOCK 1830) PRESENTE EN LA CIÉNAGA DE LOS MANATÍES EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO-COLOMBIA
Programa académico:	BIOLOGÍA

Firma de Autor 1:							
Nombres y Apellidos:	DIANA PAOLA ARTETA SALTARÍN						
Documento de Identificación:	CC	X	CE		PA	Número:	1.002.011.210
Nacionalidad:					Lugar de residencia:		
Dirección de residencia:							
Teléfono:					Celular:		



FORMULARIO DESCRIPTIVO DEL TRABAJO DE GRADO

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO DE GRADO	BIOACUMULACIÓN DE METALES TRAZA (CUY ZN) EN MÚSCULO, BRANQUIAS E HÍGADO DE LA LISA <i>MUGIL INCILIS</i> (HANCOCK, 1830) PRESENTE EN LA CIÉNAGA DE LOS MANATÍES EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO COLOMBIA.
AUTOR(A) (ES)	DIANA PAOLA ARTETA SALTARÍN
DIRECTOR (A)	IVÁN MARTIN LEÓN LUNA
CO-DIRECTOR (A)	-
JURADOS	OCTAVIO GALVIS CORTES FABIO ARMANDO FUENTES GANDARA
TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE	BIÓLOGA
PROGRAMA	BIOLOGÍA
PREGRADO / POSTGRADO	PREGRADO
FACULTAD	CIENCIAS BÁSICAS
SEDE INSTITUCIONAL	SEDE NORTE
AÑO DE PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO	2019
NÚMERO DE PÁGINAS	98
TIPO DE ILUSTRACIONES	TABLAS Y GRÁFICOS
MATERIAL ANEXO (VÍDEO, AUDIO, MULTIMEDIA O PRODUCCIÓN ELECTRÓNICA)	IMÁGENES
PREMIO O RECONOMIENTO	NO APLICA

**BIOACUMULACIÓN DE METALES TRAZA (Cu y Zn) EN
MÚSCULO, BRANQUIAS E HÍGADO DE LA LISA *Mugil incilis*
(Hancock, 1830) PRESENTE EN LA CIÉNAGA DE LOS
MANATÍES EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO-
COLOMBIA.**



DIANA ARTETA SALTARÍN

UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

PROGRAMA DE BIOLOGÍA

BARRANQUILLA - ATLÁNTICO

2019

**BIOACUMULACIÓN DE METALES TRAZA (Cu y Zn) EN
MÚSCULO, BRANQUIAS E HÍGADO DE LA LISA *Mugil incilis*
(Hancock, 1830) PRESENTE EN LA CIÉNAGA DE LOS
MANATÍES EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO,
COLOMBIA.**

DIANA ARTETA SALTARÍN

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar
al título de**

BIOLOGA

Director

IVAN MARTÍN LEÓN LUNA

UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

PROGRAMA DE BIOLOGÍA

BARRANQUILLA - ATLÁNTICO

2019

PÁGINA DE APROBACIÓN

El trabajo de grado “Bioacumulación de metales traza (Cu y Zn) en Músculo, Branquias e Hígado de la lisa *Mugil incilis* presente en la ciénaga de Los Manatíes en el departamento del Atlántico-Colombia”, presentado por la estudiante Diana Arteta Saltarín, quien ha estado bajo mi dirección durante todas las fases de la investigación, en cumplimiento del requisito parcial para optar el título de Biólogo de la Universidad del Atlántico, fue aprobado por el suscrito director del trabajo de grado.

IVÁN MARTÍN LEÓN LUNA

Director

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

Dedicado a Dios y la Virgen María, que me permitieron cumplir este sueño.

A mis Padres que me impulsaron a seguir este camino.

A mi abuela Isabel María Jiménez que con sus palabras me motivo a continuar.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la virgen María, por darme las fuerzas para superar todos los obstáculos que se presentaron en este largo camino.

A mis padres Diana Saltarín y Jaime Arteta por guiar mis pasos, a mi hermana, mi compañera de duelo, que fue mi inspiración para emprender este reto, a mi hermano por su apoyo y demás familiares por ser parte de mi vida.

A mis tíos Mercedes y Atilio por acogerme en su casa y darme tantos consejos.

A mi novio que hizo parte de este sueño, gracias por estar en los momentos de desespero y de angustia. Al sindicato un grupo de amigos que se formó entre las diferencias, pero que aun así sobrevive en mi corazón, fueron y serán siempre una parte importante en mi vida.

Al profesor Iván León por confiar en mí y permitirme trabajar a su lado. Al profesor Alberto Albis por abrirme las puertas de su laboratorio y Roberto Herrera por sus asesorías en los análisis estadísticos; al estudiante York Castillo por su colaboración y a todo su grupo de trabajo que me acogió como parte de su programa.

Al grupo de investigación Zonas Costeras por permitirme desarrollar mi trabajo de grado, A mis compañeros Dina Saray y Waldir Ruiz por ser parte de este equipo, por brindarme su apoyo, motivación y comprensión. **Gracias...**

BIOACUMULACIÓN DE METALES TRAZA (Cu y Zn) EN MÚSCULO, BRANQUIAS E HÍGADO DE LA LISA *Mugil incilis* (Hancock, 1830) PRESENTE EN LA CIÉNAGA DE LOS MANATÍES EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO, COLOMBIA.

RESUMEN

El propósito central de este estudio es evaluar las concentraciones de metales traza (Cu y Zn) en músculo, branquias e hígado del pez *Mugil incilis*, en la ciénaga de Los Manatíes–Atlántico, con el fin de estimar su bioacumulación. Además, se estableció la relación de los factores físico-químicos (pH, salinidad, temperatura), texturales y geoquímicos (granulometría y materia orgánica), y las características morfométricas del pez, que determinan la acumulación de los metales pesados analizados. Las variables fisicoquímicas se estudiaron *in situ*, durante los cuatro muestreos (octubre 2016-enero 2017), abarcando cuatro zonas de la laguna (drenajes puntuales, zona de vegetación, zona centro y zona de intercambio con el mar); se tomaron en cada estación 2 muestras de sedimentos, una para el análisis de metales traza y el restante para los geoquímicos. Las muestras de peces fueron capturadas sin tener en cuenta las estaciones de muestreo, debido a su movilidad. El análisis de los metales traza se realizó mediante la técnica de fluorescencia de rayos X por reflexión total (TXRF). No se encontró en los meses de octubre y noviembre presencia del pez *M. incilis*, registrándose solo en los dos meses restantes, obteniendo así 20 muestras del pez, las cuales se clasificaron por muestreo. Las concentraciones de Cobre más altas se registraron en el hígado (4828 mgkg⁻¹) y branquias (342 mgkg⁻¹); para el zinc en las branquias (1323 mgkg⁻¹), seguido del músculo (679 mgkg⁻¹). Se encontró que el factor de bioacumulación (FB), seguía el siguiente orden: *Cu-hígado, Cu-branquias, Cu-músculo y el Zn-branquias, Zn-musculo, Zn-hígado.*

Palabras clave: metales traza, *M. incilis*, laguna costera, fluorescencia de rayos x, sedimento.

ABSTRACT

*The central purpose of this study is to evaluate the concentrations of trace metals (Cu and Zn) in muscle, gills and liver of the fish *Mugil incilis*, in the swamp of Los Manatíes-Atlántico, in order to estimate its bioaccumulation. In addition, the relationship of physico-chemical factors (pH, salinity, temperature), textures and geochemicals (granulometry and organic matter) and the morphometric characteristics of the fish, which determine the accumulation of the analyzed heavy metals, were established. The physico-chemical variables were studied in situ, during the four samples (October 2016-January 2017), covering four areas of the lagoon (point drains, vegetation zone, central zone and interchange zone with the sea); 2 sediment samples were taken at each station, one for trace metal analysis and the other for geochemicals. Fish samples were taken without taking into account sampling stations because of their mobility. The analysis of trace metals was carried out using the technique of total reflection X-ray fluorescence (TXRF). The presence of *M. incilis* fish was not found in the months of October and November, registering only in the remaining two months, obtaining 20 samples of the fish, which were classified by sampling. The highest concentrations of copper were recorded in the liver (4828 mgkg⁻¹) and gills (342 mgkg⁻¹); for zinc in gills (1323 mgkg⁻¹), followed by muscle (679 mgkg⁻¹). The bioaccumulation factor (FB) was found to follow the following order: Cu-liver, Cu-gills, Cu-muscle and Zn-gills, Zn-muscle, Zn-liver.*

KEY WORDS: Trace metals, *M. incilis*, coastal lagoon, x-ray fluorescence, sediment.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN 9

1 INTRODUCCIÓN..... 16

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 19

3 JUSTIFICACIÓN 21

4 OBJETIVOS 23

 4.1 OBJETIVO GENERAL..... 23

 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 23

5 MARCO TEÓRICO 24

 ANTECEDENTES 24

 5.1 LAGUNAS COSTERAS..... 29

 5.2 SEDIMENTO..... 30

 5.3 BIOACUMULACIÓN 30

 5.4 BIODISPONIBILIDAD..... 31

 5.5 BIOINDICADORES..... 31

 5.6 METALES PESADOS..... 32

 5.6.1 Cu..... 33

 5.6.2 Zinc..... 34

 5.7 ESPECTROFOTOMETRÍA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X POR REFLEXION
TOTAL (FRXT)..... 35

 5.8 FUNDAMENTOS DE LA TÉCNICA 35

 5.9 PEZ *MUGIL INCILIS*..... 36

 5.10 FACTOR DE BIOACUMULACIÓN (FB)..... 37

6 ÁREA DE ESTUDIO 38

7 METODOLOGIA 40

 7.1 FASE DE CAMPO 40

 7.1.1 *Recolección de muestras*..... 40

 7.2 FASE DE LABORATORIO 41

 7.2.1 *Determinación de la granulometría del sedimento*..... 41

 7.2.2 *. Determinación del contenido materia orgánica total (% MOT)*..... 43

 7.2.3 *Determinación de metales traza totales*..... 43

 7.2.4 *Sedimento*..... 44

 7.2.5 *Tejido (Músculo, Branquias e Hígado)*..... 45

 7.3 TRATAMIENTO DE DATOS..... 46

 7.3.1 *Análisis estadísticos*..... 46

 7.3.2 *Factor de condición K o índice de Fulton*..... 47

 7.3.3 *Factor de Bioacumulación (FB)*..... 47

8 RESULTADOS 49

 8.1 PRECIPITACIÓN MENSUAL 49

8.2	PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS	50
8.2.1	<i>pH</i>	50
8.2.2	<i>salinidad</i>	50
8.2.3	<i>temperatura</i>	51
8.3	SEDIMENTO.....	52
8.3.1	<i>Profundidad</i>	52
8.3.2	<i>Granulometría</i>	52
8.3.3	<i>Materia Orgánica total %</i>	57
8.4	METALES TRAZA EN LA FRACCIÓN TOTAL DEL SEDIMENTO.....	57
8.5	PEZ MUGIL INCILIS.....	59
8.5.1	<i>Parámetros Morfométricos de M. incilis</i>	59
8.5.1	<i>Metales traza en tejido (músculo, branquias e hígado)</i>	61
8.5.2	<i>Factor de Bioacumulación (FB)</i>	63
9	DISCUSIÓN	65
9.1	VARIABLES FISCOQUÍMICAS	65
9.2	GRANULOMETRÍA Y MATERIA ORGÁNICA TOTAL	66
9.2.1	<i>Comparación de los resultados de Granulometría y MOT con otros estudios</i>	67
9.3	METALES TRAZA EN SEDIMENTO	69
9.3.1	<i>Correlación de Metales traza en sedimento, variables fiscoquímicas, granulometría y materia orgánica total</i>	70
9.4	METALES TRAZA EN TEJIDOS.....	70
9.4.1	<i>Factor de Bioacumulación</i>	74
10	CONCLUSIÓN	76
11	RECOMENDACIONES	77
12	BIBLIOGRAFÍA	78
13	ANEXO	94

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. ESTACIONES DE MUESTREO EN LA CIÉNAGA DE LOS MANATÍES CON SUS RESPECTIVAS COORDENADAS.....	42
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO SEGÚN LA ESCALA WENWORTH, FUENTE: BOLAÑO <i>ET AL.</i> 2005.....	42
TABLA 3. RESULTADOS DE PH, SALINIDAD, TEMPERATURA POR MESES DE ESTUDIO, EN LA CIÉNAGA DE LOS MANATÍES- ATLÁNTICO.....	51
TABLA 4. PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS (PH, SALINIDAD Y TEMPERATURA). MIN-MAX: MÍNIMOS Y MÁXIMOS, DS: DESVIACIÓN ESTÁNDAR.	51
TABLA 5. RESULTADOS DE PROFUNDIDAD, GRANULOMETRÍA Y MATERIA ORGÁNICA TOTAL POR ESTACIÓN DE MUESTREO. PROMEDIO \pm DS: DESVIACIÓN ESTÁNDAR.....	53
TABLA 6. CONCENTRACIÓN DE METALES TRAZA EN MGKG ⁻¹ (CU Y ZN), POR ESTACIÓN DE MUESTREO. X \pm DS; PROMEDIO-DESVIACIÓN ESTÁNDAR.	58
TABLA 7. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LA <i>M. INCILIS</i> . N: NÚMERO DE EJEMPLARES, LT: LONGITUD TOTAL \pm DESVIACIÓN ESTÁNDAR, P: PESO PROMEDIO \pm DESVIACIÓN ESTÁNDAR.....	60
TABLA 8. CONCENTRACIÓN DE METALES TRAZA EN <i>M. INCILIS</i> EN MÚSCULO, BRANQUIAS E HÍGADO, POR MUESTREO. PROMEDIO \pm DESVIACIÓN ESTÁNDAR, (<i>ELABORACIÓN PROPIA</i>).....	62
TABLA 9. FACTOR DE BIOACUMULACIÓN (FB) DE METALES PESADOS EN <i>M. INCILIS</i> EN LA CIÉNAGA DE LOS MANATÍES.	64
TABLA 10. COMPARACIÓN DE VARIABLES GRANULOMÉTRICAS (ARENA Y FANGO), PROFUNDIDAD, MOT Y METALES TRAZA (CU Y ZN) EN SEDIMENTOS EN ESTE ESTUDIO Y EN OTRAS INVESTIGACIONES.....	68
TABLA 11. COMPARACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE METALES TRAZA EN TEJIDOS (MÚSCULO, BRANQUIAS Y HÍGADO) EN <i>MUGIL INCILIS</i>	73
TABLA 12. COMPARACIÓN DEL FACTOR DE BIOACUMULACIÓN CON OTROS ESTUDIOS, UTILIZANDO LOS PECES COMO BIOINDICADOR.....	75

LISTA DE FIGURAS

FIG. 1. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO EN LA CIÉNAGA DE LOS MANATÍES Y SU UBICACIÓN GEOGRÁFICA EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO. (ELABORACIÓN PROPIA PROGRAMA LIBRE QGIS 2.2).	39
FIG. 2. PEZ <i>M. INCILIS</i> , TOMADO DE LA BASE DE DATOS DE PECES DE LA FAO (HARRISON, 2004).	46
FIG. 3. PRECIPITACIÓN MENSUAL REGISTRADAS EN LOS CUATRO MESES DE MUESTREO. A). OCTUBRE, B). NOVIEMBRE, C). DICIEMBRE, D). ENERO. FUENTE: IDEAM - ESTACIÓN: LAS FLORES [0025025360]. HTTP://HYDRAS3.IDEAM.GOV.CO/LOGIN.HTM	49
FIG. 4. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEXTURA DEL SEDIMENTO EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO, (ELABORADO EN <i>ORIGIN PRO.8</i>).....	53
FIG. 5. VARIACIÓN DEL PH EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO, DURANTE LOS CUATRO MESES DE MUESTREO. A). OCTUBRE, B). NOVIEMBRE, C). DICIEMBRE, D) ENERO, (ELABORADO EN PROGRAMA LIBRE QGIS 2.2).	54
FIG. 6. VARIACIÓN DE LA SALINIDAD EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO, DURANTE LOS CUATRO MESES. A). OCTUBRE, B). NOVIEMBRE, C). DICIEMBRE, D). ENERO, (ELABORADO EN PROGRAMA LIBRE QGIS 2.2).	55
FIG. 7. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO, DURANTE LOS CUATRO MESES DE MUESTREO. A). OCTUBRE, B). NOVIEMBRE, C). DICIEMBRE, D). ENERO, (ELABORADO EN PROGRAMA LIBRE QGIS 2.2).	56
FIG. 8. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA MATERIA ORGÁNICA TOTAL (%) EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO.	57
FIG. 9. CONCENTRACIÓN DE MT (CU Y ZN) POR ESTACIÓN DE MUESTREO EN LA CIÉNAGA DE LOS MANATÍES.	59
FIG. 10. CONCENTRACIÓN DE METALES TRAZA EN MÚSCULO, BRANQUIAS E HÍGADO EN LA LISA <i>M. INCILIS</i> POR MUESTREO, (A): MUESTREO 3, (B): MUESTREO 4.....	62
FIG. 11. FACTOR DE BIOACUMULACIÓN DEL PEZ <i>M. INCILIS</i> EN MÚSCULO, BRANQUIAS E HÍGADO, (A). MUESTREO 3; (B). MUESTREO 4.	64

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. PEZ MUGIL INCILIS, CAPTURADO EN LA CIÉNAGA DE LOS MANATÍES-ATLÁNTICO.....	94
ANEXO 2. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SEDIMENTO.....	94
ANEXO 3. FAENA DE PESCA, POR MEDIO DE UNA ATARRAYA EN LA CIÉNAGA DE LOS MANATÍES-ATLÁNTICO.	95
ANEXO 4. ELIMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE PERÓXIDO DE HIDROGENO (35%).....	95
ANEXO 5. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE MOT.....	95
ANEXO 6. LÍMITE DE DETECCIÓN DEL EQUIPO, PARA CADA MUESTREO.....	96
ANEXO 7. LÍMITE DE DETECCIÓN DEL EQUIPO, PARA CADA TEJIDO EN LOS DOS MUESTREOS.....	96
ANEXO 8. TEST DE NORMALIDAD DE SHAPIRO WILK, PARA LAS VARIABLES EVALUADAS.....	96
ANEXO 9. TEST DE TUKEY PARA LA VARIABLE PH.....	97
ANEXO 10. TEST DE TUKEY PARA LA VARIABLE SALINIDAD.....	97
ANEXO 11. TEST DE TUKEY PARA LA VARIABLE TEMPERATURA.....	97
ANEXO 12. BATIMETRÍA POR MESES DE MUESTREO EN LA CM.....	98
ANEXO 13. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON DE LAS VARIABLES DEL SEDIMENTO Y DE LA ESPECIE.....	99
ANEXO 14. CORRELACIÓN DE PEARSON DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS (PH, SALINIDAD Y TEMPERATURA) EN LA CIÉNAGA DE LOS MANATÍES- ATLÁNTICO.....	101
ANEXO 15. DRENAJES DE LOS CENTROS RECREACIONALES ALEDAÑOS A LA CIÉNAGA.....	101

1 INTRODUCCIÓN

La ciénaga de Los Manatíes (CM) es una laguna costera de gran importancia física, ecológica y socioeconómica. En los últimos años ha soportado una alta presión antropogénica, debido a la ocupación de sus orillas para fines recreativos y turísticos. Asimismo, recibe una carga sedimentaria procedente del mar Caribe y sustancias químicas que pueden estar afectando la calidad de sus aguas y sedimento. Una de las principales sustancias que podrían estar afectando, serían los metales pesados (MP) que constituyen uno de los tipos de contaminación más peligrosas para estos ecosistemas y para las especies presentes en ellos, especialmente los peces (Boy 2015); se emiten al medio ambiente de forma natural y antropogénica. Sus incorporaciones se derivan de actividades domésticas, industriales, escorrentías superficiales y arrastre (Lara *et al.* 2011, Guiñez *et al.* 2015, Fuentes *et al.* 2018). Los sedimentos representan la acumulación de estos residuos, siendo integradores y concentradores de MP, dicha capacidad está relacionada con el tamaño de las partículas, la especiación química y la cantidad de materia orgánica sedimentaria (León & Padilla 2008; Delgado 2012; Pájaro & Sánchez 2016).

Los metales traza son frecuentes e importantes contaminantes en sedimentos acuáticos y presentan un gran potencial tóxico, ecológico y sanitario (Ansari *et al.* 2004). Debido a la facilidad con la que pueden incorporarse a los tejidos y formas químicas del sedimento o en dilución en la columna de agua (León *et al.* 2004). Dentro de ellos, se encontró al Zn y al Cu que, aunque son metabolizados por el organismo, si se encuentran en altas concentraciones pueden ser tóxicos y provocar anomalías en el organismo. Varios autores (Ansari *et al.* 2004, Zorrilla 2011, Corrales 2013) han señalado que son

importantes contaminantes en los sedimentos acuáticos, puesto que su incremento progresivo genera problemas debido a su potencial tóxico y su estabilidad química ante los procesos de biodegradación, bioconcentración y biomagnificación. Constituyendo un riesgo para el medio ambiente y los seres vivos; ya que son incapaces de metabolizarlos cuando se encuentran en concentraciones superiores a las requeridas por el organismo, generándose fenómenos de bioacumulación y un efecto multiplicador en la concentración del elemento en la red trófica (Mancera & Álvarez 2006), sugiriendo una amenaza a largo plazo para el medio ambiente y la salud pública, (Vanesa *et al.* 2005, Valarezo 2010).

Los peces han sido utilizados como bioindicadores, debido a que se encuentran en contacto permanente con el agua, están en el nivel más alto de la cadena alimentaria y sirven como base de alimento para las poblaciones humanas. Por ello, han sido usados en diversos estudios como buenos bioindicadores de MP (Mzimela *et al.* 2003, Marcovecchio 2004, Fernandes *et al.* 2007, Suami *et al.* 2018) debido a que pueden bioacumular grandes cantidades de MP en comparación con la presente en el medio, procedentes de alimentos, agua, sedimento y el material particulado en suspensión (Mancera & Álvarez 2006, Zhou

et al. 2008, Boy 2015). La acumulación de metales en los peces depende de varios factores: la talla, el sexo, estadios gonadales, edad, hábitos alimenticios, de la especie, concentración de metales disponibles en agua y sedimento, periodo de exposición y nivel trófico. Uno de los géneros que ha sido implementado para el biomonitoreo de lagunas costeras es el género *Mugil* (Marcovecchio 2004, García & Luque 2008, Franco & León 2012, Pájaro & Sánchez 2016, Hauser *et al.* 2016), dado que se encuentran fuertemente asociados al

sedimento por incorporar en su dieta detritos. Una de las especies recomendada como buen bioindicador de metales trazas en organismos es la liza *Mugil incilis*, que se encuentra presente en el litoral costero del Atlántico (Franco *et al.* 2012). Este trabajo tiene como objetivo evaluar la concentración de los metales Cu y Zn en sedimentos y su bioacumulación en *Mugil incilis* en los tres tejidos músculo, hígado y branquias en la ciénaga de los Manatíes (CM), Atlántico, Colombia.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Ciénaga de los manatíes (CM) durante los últimos años ha presentado la pérdida progresiva de su espejo de agua. En 1986 la ciénaga presentaba un área aproximado de 122,45 ha, para el 1990 disminuyo a 60,50 ha, y para el 2005 se redujo a 29,3 ha en el cuerpo principal de la ciénaga y 19,9 ha en los cuerpos remanentes (INVEMAR 2007). La pérdida del área de la ciénaga está sujeto a los procesos de sedimentación y la intervención antrópica; los procesos de sedimentación están relacionados principalmente con la acción de los sedimentos aportados por el Rio Magdalena sobre el Tajamar Occidental (CRA 2012), y las actividades antrópicas como el loteo, la tala del manglar, desecación, relleno y aterramiento de las áreas de manglar, con fines de utilizar el terreno para la construcción de viviendas y centros recreativos, son algunas de las actividades que han contribuido a los cambios en la CM. Asimismo, se ha encontrado que la ciénaga se encuentra contaminada por disposición final de residuos sólidos y por el vertimiento de aguas negras (CRA 2015, CRA 2017).

El proceso de sedimentación trae consigo concentraciones variables de materia orgánica y un alto contenido de materiales finos, lo cual determina la geoquímica del sedimento. Asimismo, podría estar incrementándose las concentraciones de metales pesados (Cu y Zn) tanto en el sedimento como en la columna de agua, pudiendo acumularse en los organismos que allí habitan (León 2004). La peligrosidad de los metales radica en que pueden ser tóxicos en pequeñas concentraciones y también ser acumulados en los niveles más altos de la cadena trófica, a través del proceso de bioacumulación y biomagnificación (Corrales 2013). Debido a que tienen la capacidad de absorberse muy eficientemente a través de las membranas biológicas por su elevada afinidad química por el grupo sulfhidrilo de las proteínas (Mancera & Álvarez 2006). El impacto que generan estos elementos limita al uso y la explotación de los recursos naturales, puesto que

su acumulación sugiere una amenaza a largo plazo para el medio ambiente y la salud pública (Valarezo 2010).

Los peces tienen la capacidad de almacenar en su organismo concentraciones mayores de estos compuestos en comparación con la presente en el medio, por lo que son un buen indicador de contaminación, pero también esto implica que su consumo se puede convertir en un problema de salud pública para las poblaciones que se alimentan de este recurso (Mancera & Álvarez 2006). Debido a lo mencionado se plantea la pregunta problema, ¿Cuál es el grado de bioacumulación de metales traza (Cu y Zn) en musculo, branquias e hígado del pez *M. incilis* presente en la Ciénaga de los Manatíes?

3 JUSTIFICACIÓN

En el presente documento se trabajó la continuidad del estudio del pez *Mugil incilis*, antes estudiado por Franco & León (2012) en su trabajo titulado; Bioacumulación de Metales Traza (MT) en *Mugil incilis* (Hancock,1830); una herramienta útil para el biomonitoreo de la contaminación metálica en el litoral costero del departamento del Atlántico-Colombia. Complementando así ciertos aspectos, no tenidos en cuenta y de gran importancia en el estudio de esta especie.

En primera instancia el trabajo de Franco & León (2012) estableció la capacidad que tiene esta especie en la bioacumulación de MT solo en el tejido muscular. Dado esto, en el presente trabajo se amplió el rango de estudio incluyendo tejido hepático y tejido branquial, la importancia de incluir estos tejidos radica en que las branquias son la principal vía de transferencia de los metales traza Cu y Zn, y el hígado tiene la capacidad de bioconcentrar grandes cantidades de Cu y es el encargado de la desintoxicación (Arellano *et al* 1999, Fernandes *et al.* 2007).

Mugil incilis se encuentra presente en todo el litoral costero del departamento del Atlántico, incluyendo zonas marinas y costeras; por lo cual se encuentra presente en la ciénaga de Los Manatíes. El cual es un ecosistema lagunar que tiene un rol importante en el ciclo reproductivo de los peces y en la regulación de las cuencas hidrográficas del departamento. La lisa *M. incilis* es una especie catalogada como bioindicador, tiene la capacidad de subsistir con alimentos de diferentes orígenes, que le permite variar su dieta de acuerdo con el área, asimismo su hábito alimenticio se asocia a sedimentos de partículas finas y detritos (Osorio 1988). Es de fácil captura y está disponible durante todo el año (Franco & León 2012).

La CM es una laguna costera que se destaca por su importancia económica, puesto que es un área de pesca artesanal, de la cual devenga el sustento de varias familias ubicadas en zonas aledañas. Constituye uno de los humedales del litoral costero del departamento, por lo cual es de gran importancia a nivel ambiental, albergando distintas especies de peces (*Mugil liza*, *Mugil incilis*, *Diapterus spp*, *oreochromis spp*, entre otros), crustáceos: cangrejo azul (*Marisa cornuarietis*), cangrejo violinista (*Uca vocator*), entre otros (CRA 2017). Al ser parte del litoral costero se encuentra expuesta de manera indirecta, a la descarga de 185 millones de toneladas de sedimento en suspensión anuales, provenientes del Río Magdalena (INVEMAR 2007), lo que podría ser la causa de su colmatación paulatina, y por ende el aumento de sustancias químicas orgánicas e inorgánicas en el sedimento. Por tanto, es de gran importancia medir las concentraciones de los metales en los organismos para proveer a los entes gubernamentales y no gubernamentales del departamento del Atlántico sobre el estado actual de la CM y la disponibilidad de los metales para la biota. Dado que algunos presentan elevados niveles de toxicidad que representan riesgos graves de seguridad para el ser humano, es importante conocer y controlar su contenido en los diferentes compartimientos, sedimentos, cuerpos de aguas y organismos.

Debido a lo anterior este estudio aporta información del estado actual de la concentración por metales traza (Cu y Zn) en la CM, utilizando como punto de referencia a la lisa *M incilis*.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el grado de Bioacumulación de metales traza (Cu y Zn) en Músculo, Branquias e Hígado del pez *M. incilis* presente en la ciénaga de los Manatíes.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las concentraciones de Cu y Zn en Músculo, Branquias e Hígado del pez *M. incilis* presente en la ciénaga de los Manatíes.
- Determinar las concentraciones de Cu y Zn en sedimentos superficiales de la ciénaga de los Manatíes.
- Relacionar las concentraciones de Cu y Zn en sedimentos y los de músculo, branquias e hígado del pez *M. incilis* para estimar el grado de bioacumulación.
- Valorar la relación de Cu y Zn en músculo, branquias e hígado del pez *M. incilis* con la granulometría y materia orgánica del sedimento y algunos parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, pH y salinidad).

5 MARCO TEÓRICO

ANTECEDENTES

La Bioacumulación por MP ha sido estudiada en diferentes organismos (Moluscos, Peces, Crustáceos, Bacterias entre otros) y sedimentos de Lagunas Costeras, Ríos y Mares (García *et al.* 2003, Contreras *et al.* 2004, Salamanca *et al.* 2004, López *et al.* 2005, Calderón *et al.* 2012, Herrera *et al.* 2012, Peña *et al.* 2014, Medina *et al.* 2014, Boy *et al.* 2015, Guiñez *et al.* 2015, Castro *et al.* 2018). Los bivalvos han sido los organismos más estudiados en el monitoreo de la contaminación metálica; puesto que son sésiles pudiendo estar permanentemente expuestos a los efectos de estas sustancias. Sin embargo, los peces también han sido utilizados como indicadores, ya que se encuentran en el nivel más alto de la cadena trófica y forman parte importante de la dieta del ser humano, pudiendo estimar el impacto que podrían producir en la salud pública.

A nivel mundial, existen varias investigaciones sobre contaminación por MP en peces de interés comercial (Mzimela *et al.* 2003, López *et al.* 2005, Ahumada *et al.* 2006, Usero 2015, Bermeo & Célleri 2016, Fernandes *et al.* 2017, Suami *et al.* 2018, Zevallos 2018), que han brindado información sobre el impacto que estos contaminantes ocasionan al medio ambiente y a la salud humana, entre estos se encuentra el realizado por Usero y colaboradores (2003), donde determinaron las concentraciones de MP (As, Hg, Mn, Zn, Fe, Cu, Ni, Cd, Pb, Cr), en tres especies de peces (*Solea vulgaris*, *Anguilla* y *Liza aurata*), utilizando el tejido hepático y muscular, igualmente evaluaron los metales en agua y sedimentos. En sus resultados se evidencio que el tejido hepático presentó los valores más altos para casi todos los metales pesados, con excepción del Cr que tuvo mayores valores en

el tejido muscular. Además, el estudio reveló que, entre las tres especies existen diferencias en las concentraciones de los metales. La *A. anguilla* reveló las concentraciones más altas de Mn, Zn, Cu, Hg, Cd, Pb y Cr en músculo, mientras que la *L. aurata* presentó los niveles medios más bajos de estos metales. Por otro lado, el hígado para la especie *S. vulgaris* mostró las concentraciones medias más bajas de la mayoría de los metales analizados (Hg, Zn, Ni y Pb) seguidos por la *A. anguilla* (As y Cu). Por el contrario, *L. aurata* mostró los valores máximos Hg, Zn, Ni y Cd seguidos por la *A. anguilla* Fe, Pb y Cr.

Asimismo, Karadede y colaboradores (2004), en su trabajo compararon las concentraciones de metales pesados (Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn) de tres tejidos: hígado, músculo y branquias en las especies *Liza abu* y *Silurus triostegus*, obteniendo como resultado que el Co y Mo, no superaron el límite de detección, el Ni por su parte no fue detectada en la *L. abu*, pero sí en *S. triostegus*. Al comparar los tejidos encontraron que el hígado y las branquias, presentan las mayores concentraciones de metales para las dos especies estudiadas *L. abu* (Hígado µg/g: Cu: 267.45, Zn: 36.92, Fe: 200.86, Mn: 5.70), (Branquias µg/g: Cu: 78.61, Zn: 25.77, Fe: 78.61, Mn: 5.05); *S. triostegus* (Hígado µg/g: Cu: 6.45, Zn: 20.36, Fe: 35.31, Mn: 1.06); (Branquias µg/g: Cu: 5.06, Zn: 33.66, Fe: 29.22, Mn: 1.61).

En ese mismo sentido Zevallos (2018), evaluó las concentraciones de metales pesados (Cd, Hg, Pb) en el músculo de las *truchas arcoíris* y analizaron el agua del río Challhuahuacho, en cuatro zonas de muestreo. Los resultados del análisis de bioacumulación arrojó que las concentraciones de estos metales no superan los límites permitidos dispuestos en el Manual "Indicadores Sanitarios y de Inocuidad para los Productos Pesqueros y Acuícolas para Mercado Nacional y de

Exportación” del SANIPES, encontrando los niveles por debajo del límite de detección.

En Latinoamérica existen numerosos estudios que ponen en evidencia la contaminación por MP, uno de ellos es la investigación de Marcovecchio y colaboradores (2004) en Argentina, donde evaluaron la contaminación por MP en el río de la plata, utilizando como bioindicadores a *Micropogonias furnieri* y *Mugil liza*. En esta investigación se logró obtener las concentraciones totales de Hg, Cd y Zn en el tejido muscular e hígado. Obteniendo la acumulación más alta en el tejido hepático para ambas especies (*M. furnieri* µg/g: Cd:3.13; Zn: 44.3; Hg: 0.13), (*M. liza* µg/g: Cd: 9.15; Zn: 52.0; Hg: 0.53) y el tejido muscular estando siempre más bajos incluso que el límite de detección del método.

De igual forma Corrales (2013), evaluó el contenido de metales pesados (Cu, Zn, As y Hg) en dos especies de peces (*Micropogonias furnieri* y *Mugil platanus*) de la zona costera de Montevideo, Uruguay, utilizando el tejido muscular y hepático. Para la cuantificación de las concentraciones de los metales utilizaron dos técnicas: Fluorescencia de rayos X dispersiva en energía y la espectrofotometría de absorción Atómica, con la técnica de vapor frío. En los tejidos se detectó que el hígado concentro mayores niveles de zinc (*M. furnieri*: 173,7µg/g; *M. platanus*: 223,6µg/g) y cobre (*M. furnieri*: 82,0µg/g; *M. platanus*: 1946,5µg/g), asimismo se determinó que la lisa concentro mayores niveles de estos metales y que no existen diferencias entre las zonas de estudios, sin embargo, temporalmente si hubo diferencias significativas.

En el trabajo realizado por Olivares y colaboradores (2014), se estudió la genotoxicidad de las aguas costeras de Chile. Determinando las

concentraciones de zinc, cobre y plomo en las aguas de tres ríos (río Maipo, Aconcagua y estero) y el tejido branquial de las especies *Mugil cephalus* y *Odontesthes brevianalis*. En los resultados se pudo observar que las branquias tuvieron los valores más altos de zinc (*M. cephalus*: 15.8 mg/kg; *O. brevianalis*: 24.0 mg/kg) para ambas especies, además que el cobre estuvo más alto en *M. cephalus* (2.06 mg/kg), indicando que existen diferencia en bioacumulación de metales dependiendo la especie. Por otro lado, encontraron que el daño genético más alto se encontró en las especies recolectadas en el río Maipo, sin embargo, los tres ríos tienen disponibilidad de metales que ocasionan daño genético.

En el suroeste de Brasil Hauser y colaboradores (2016), investigaron las concentraciones de MP en *Mugil liza* comparando dos sitios de una Bahía tropical, siendo considerada una de las zonas como no contaminada. En este estudio se evaluaron los metales Zn, Cu, Mg, Ni, Cd y Pb en branquias, músculo e hígado; siendo el músculo el tejido que presentó las menores concentraciones, infiriendo que este tejido no es un buen indicador de contaminación, ya que procesos de desintoxicación pueden estar actuando en el organismo.

En Colombia se han realizado numerosos estudios en esta temática (Campos 1990, Campos 1992, León & Padilla 2008, Franco & León 2010, Marrugo 2011, Salazar & Pérez 2014, Aguilera & Andrade 2014, Rosa & Marrugo 2015, Vergara & Rodríguez 2015, Gallego 2016, Fernández 2017), variando en el tipo de bioindicador utilizado, uno de los trabajos realizados en peces es el de Ortegón y colaboradores (2014), en el cual se estudió los efectos genotóxicos de MP (Pb, Cd y Ni) en las especies *Prochilodus magdalenae* (Bocachico) y *Pimelodus blochii* (Nicuro), procedentes del río Magdalena. En sus resultados obtuvieron presencia de eritrocitos Micronucleados y

quiebres en el ADN, representando un daño en niveles bajos sobre el ADN.

Barros y colaboradores (2016), analizaron las concentraciones de plomo, cadmio, níquel, zinc y mercurio en hígado y riñón de dos especies de peces *Lutjanus synagris* y *lutjanus vivanus* y sedimentos de la costa de la Guajira. Este estudio arrojó que el factor de bioacumulación sugiere un traspasó de estos contaminantes del sedimento a los niveles tróficos superiores, indicando que existe un proceso de bioacumulación activo en los tejidos de estas especies.

En el departamento del Atlántico la laguna costera más estudiada es la Ciénaga de Mallorquín. Entre los estudios se encuentra el realizado por García & Luque (2008) donde se hizo una comparación de los contenidos de Cr, Fe, Zn, Cd y Pb en el tejido muscular de *Eugerres plumieri* y *Mugil incilis*; encontrando que el hierro y cadmio no fueron bioacumulados (<1) por las dos especies, además, que *M. incilis* bioacumuló mayores contenidos de MP que *E. plumieri*. Otro de los trabajos es el de Franco & León (2012), donde se estableció que la especie *M. incilis* puede ser utilizada como un organismo biomonitor del litoral costero del departamento del Atlántico, puesto que cuenta con las características necesarias para ser bioindicador: se alimenta de detritos, se encuentra durante todo el año y está en el nivel más alto de la cadena trófica.

Otra investigación realizada en el Atlántico es la de, Pájaro & Sánchez (2016), donde evaluó las concentraciones de MP en especies comercializadas en la ciudad de Barranquilla, recolectados en la plaza de mercado. Para esto escogieron los metales Pb y Cd y las especies *Mugil liza*, *Prochilodus magdalenae*, *Eugerres plumieri*, *Oreochromis niloticus* y *Oreochromis sp.* Y encontraron las mayores

concentraciones de plomo ($0,223 \pm 0,075 \mu\text{g/g}$) y cadmio ($0,020 \pm 0,021 \mu\text{g/g}$) en *O. sp*, mientras los niveles de Cd ($0,010 \pm 0,014 \mu\text{g/g}$) más bajos se evidenciaron en *O. niloticus* y para el Pb ($0,102 \pm 0,112 \mu\text{g/g}$) *M. liza*.

Asimismo, la de Fuentes y colaboradores (2018), en la que evaluaron el impacto que genera la bioacumulación de los metales pesados para una población ribereña, estimando la ingesta diaria, para esto utilizaron las especies *Mugil curema*, *Eugerres plumieri*, *Arius bonillai*, *Centropomus undecimalis* y *Lutjanus griseus*, y determinaron los MP (Cd, Cu, Pb, Cr, Ni y Zn).

5.1 LAGUNAS COSTERAS

Las lagunas costeras, son un ecosistema importante de la geografía del litoral Caribe se caracterizan por presentar masas de aguas tranquila, poco profundas, que se separan del mar por una barrera física o hidrodinámica que impide la acción del oleaje, y se unen con el mar a través de canales angostos, reciben agua y sedimentos de las corrientes de agua dulce y marina (INVEMAR 2007). A su vez presentan un volumen variable, que depende de los periodos de sequía y de lluvia (Padilla & León 2005), y su gradiente salino disminuye dependiendo de las entradas de agua dulce que se produzcan. Este ecosistema figura entre los de mayor productividad biológica, caracterizado por su productividad y por una marcada fragilidad y vulnerabilidad frente a la variedad de presiones antropogénicas que se ejercen sobre ellos (Márquez *et al.* 2008), esto se debe a que la comunicación entre corrientes de agua dulce y el mar es inmediata, además de que las bocas son muy pequeñas respecto a la extensión del embalse, por lo que se infiere entonces que las mezclas del agua se realiza muy lentamente (Pedraza 2009).

5.2 SEDIMENTO

Los sedimentos de un ecosistema acuático representan la acumulación de materiales arrastrados, o bien producidos en el mismo cuerpo de agua. La velocidad con que se acumulan expresa la actividad de un cuerpo de agua como receptor de contaminantes y como centro de actividad biológica (León *et al.* 2004), ofreciendo información, sobre las fuentes de contaminación en los ambientes lagunares-costeros (Cobelo *et al.* 2005).

Los sedimentos están formados por partículas sólidas de distintos tamaños. Se distinguen cuatro tipos principales de partículas según su tamaño: grava (>2.000 μm), arena (63-2.000 μm), limo (4-63 μm) y arcilla (<4 μm). Para simplificar se mencionan dos categorías: partículas finas (arcilla y limo, <63 μm) y partículas gruesas (arena y grava >63 μm) (Usero 2015).

En los sedimentos también se llevan a cabo diferentes interacciones: agua y sedimentos donde se producen procesos desorción/absorción de contaminantes, los sedimentos en suspensión y los de fondo están conectados mediante procesos de resuspensión o deposición de partículas, siendo el agua y los sedimentos la fuente de contaminantes para los seres vivos (Usero 2015).

5.3 BIOACUMULACIÓN

La Bioacumulación es el aumento en las concentraciones de un producto químico en un organismo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente (Dameron *et al.* 2000, Boy 2015, Usero 2015). La Bioacumulación de metales pesados por parte de los organismos está relacionada con varios factores fisiológicos de las

especies como la talla, la nutrición, los estados gonadales y otros factores abióticos como la biodisponibilidad de los metales, la cual depende de las formas químicas en las que estos metales se encuentran en el medio (especiación) (Franco & León 2010). Respecto a la talla se menciona que un metal es bioacumulado si las mayores concentraciones se encuentran en los individuos más longevos y por ende de mayor talla (Corrales 2013).

5.4 BIODISPONIBILIDAD

Se define como la cantidad máxima de contaminantes presente en agua, alimento y sedimento que podría llegar a ser bioabsorbida por los seres vivos, no la que llega a bio-absorberse (Usero 2015). La biodisponibilidad depende de diferentes factores como la dureza del agua, alcalinidad, fuerza iónica, pH, potencial redox, materia particulada suspendida y la interacción entre los sedimentos y el agua (Dameron *et al.* 2000). Para los MP depende de la forma química en que se encuentren en el sedimento y en el agua (Tessier *et al.* 1979).

5.5 BIOINDICADORES

Son aquellos organismos o comunidades en los que su existencia, sus características estructurales, su funcionamiento y sus reacciones, dependen del medio en que se desarrollan y cambian al modificarse las condiciones ambientales, es decir si se presenta alguna alteración en el medio, estos brindan información sobre dichos cambios (Capó 2007). Los bioindicadores ayudan a detectar alteraciones en los ecosistemas tales como explotación excesiva, contaminación o cambios climáticos (González *et al.* 2014).

Los peces son buenos bioindicadores de contaminación acuática, debido a que se encuentran en contacto permanente con el agua, están presentes en todos los niveles tróficos de consumidores gracias a sus diversas adaptaciones alimenticias y sirven como base alimenticia para muchas poblaciones humanas (Pérez & Pouilly 2008, Leyton *et al.* 2015).

5.6 METALES PESADOS

No existe una definición o concepto de MP; sin embargo, se ha planteado que se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una alta densidad ($> 5 \text{ g/cm}^3$) y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas, aunque este grupo incluye elementos esenciales para el crecimiento y/o supervivencia de los organismos vivos (Boy 2015). Su elevada toxicidad se debe a que tiene una alta persistencia y rápida acumulación en los ecosistemas acuáticos, además de su capacidad de combinarse con una gran variedad de moléculas orgánicas, pero su reactividad y acción tóxica es diferente dependiendo del metal (Valarezo 2010, Boy 2015).

Los metales y sus especies iónicas se pueden clasificar de la siguiente forma: iones Esenciales: dentro de los cuales encontramos: Na, K, Ca, Cu, Fe, Mn y Zn y Iones tóxicos y sin ninguna actividad biológica asociada, como es el caso de Pb, Cd, Hg y Ag (Bautista 1999, Marrugo 2011) El ingreso de los metales al ciclo hidrológico procede de dos fuentes principales: las de origen geoquímico, cuyo aporte se da a partir de los minerales, que por causas de meteorización y erosión son arrastrados al agua, y las fuentes de origen antropogénico, mediante los residuos producidos por la actividad humana (Valarezo 2010, Álvarez *et al.* 2012). Estos entran al ecosistema por tres vías; la atmosférica; debido a la sedimentación de partículas emitidas a la

atmósfera por procesos naturales o antropogénicas, vía terrestre; producto de filtraciones de vertidos o de la escorrentía superficial de terrenos contaminados (minas, lixiviación de residuos sólidos, entre otros) entre otras causas naturales y vía directa, debido a vertidos directos de aguas residuales industriales y urbanas a los cauces fluviales (Valarezo 2010).

Los MP actúan de muchas formas, pero por lo general lo hacen dentro de las células corporales. Algunos interrumpen las reacciones químicas, mientras que otros bloquean la absorción de los nutrientes esenciales, y otros cambian las formas de los compuestos químicos vitales inutilizándolos. Algunos metales se unen a los nutrientes en el estómago lo que evita su absorción. Estos resultados dependen del metal específico y del órgano afectado (Zorrilla 2011).

5.6.1 Cu

El Cu pertenece al grupo IB de la tabla periódica. En el ambiente se encuentra comúnmente con una valencia de 2, pero puede existir con valencias 0, +1 y +3. El Cu se presenta en diversas sales minerales y compuestos orgánicos, así como en forma metálica. Este metal es escasamente soluble en agua, sal o soluciones ácidas, no obstante, se puede disolver en ácido nítrico y sulfúricos (Dameron *et al.* 2000), hace parte de los oligoelementos, siendo tóxicos en concentraciones altas, siendo incluso diez veces más tóxico que el Zinc (Ribas 2010).

El Cu se usa en la fabricación de fertilizantes, bactericidas, fungicidas, plaguicidas, sistemas de distribución de agua, preservadores de maderas, galvanoplastia, entre otros (Mendoza 2017). Además, las fuentes naturales de exposición incluyen el polvo arrastrado por el

viento, volcanes, vegetación en descomposición, incendios forestales y roció de mar (Dameron *et al.* 2000).

En los organismos es un elemento esencial, que si se encuentra en concentraciones altas puede ser tóxico para los individuos, causando daño hepático en los peces (Fuentes *et al.* 2018).

5.6.2 Zinc

El zinc tiene un número atómico de 30 y su masa atómica relativa de 65.38, pertenece al grupo 2B de la tabla periódica. Debido a que posee una densidad de 7.13 g/cm³ se encuentra en el grupo de los metales pesados (Hettich & Wibbertmann 2001). Siendo un elemento esencial para los organismos vivos actúa en las reacciones celulares básicas que se requieren tanto para mantener la homeóstasis en el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas. No obstante, el Zn es un ion divalente, por lo cual si se presenta una ingesta excesiva de éste puede inhibir la absorción y causar la deficiencia de otros elementos, provocando alteraciones en el metabolismo (Gómez & Magaña 2004). Se conoce que algunos derivados, como arsenato de zinc y cianuro de zinc, pueden ser extremadamente peligrosos (Marrugo 2011).

En la industria es utilizado principalmente como una capa protectora de otros metales, como el hierro y el acero. También se utiliza para la fundición de tintes, para la industria de la construcción y de forma antropogénico puede aparecer por la quema de basuras. En los sedimentos anóxicos la forma más dominante es el sulfuro de zinc y en los óxicos se asocia con óxidos hidratados de hierro y manganeso como componentes de la arcilla (Hettich & Wibbertmann 2001).

El incremento del Zinc en los peces influye negativamente en el sistema de reproducción, causando problemas en las branquias, generando estrés, abrasión de la piel, hemorragia en las aletas y degeneración de la actividad hepática (Palacio 2007).

5.7 ESPECTROFOTOMETRÍA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X POR REFLEXION TOTAL (FRXT)

La espectrofotometría de fluorescencia de rayos X por reflexión total, es una técnica de espectroscopia atómica, que mide la composición elemental de una sustancia generalmente sólida al ser expuesta a una radiación de rayos-X (Meléndez *et al.* 2009, Gutiérrez 2010). Los análisis pueden ser tanto cualitativos como cuantitativos. No es adecuada para el análisis de elementos de número atómico inferior a 23 (Boy 2015).

5.8 FUNDAMENTOS DE LA TÉCNICA

El análisis por fluorescencia de rayos x es un método cualitativo-cuantitativo basado en la medida de las intensidades de rayos x detectados por unidad de tiempo; los rayos x característicos de los elementos que constituyen la muestra.

Cuando los átomos son excitados por medio de los rayos X provocan una transición electrónica. Por tanto, los electrones del átomo tienden a dejar la capa K y como consecuencia los electrones de los niveles de energía mayores (L, M) realizan un salto cuántico para llenar las vacantes, provocando la pérdida de energía del electrón, la cual es emitida en forma de un fotón de rayos X (Gutiérrez 2010, Alvarado 2013). Esto se da cuando el electrón es expulsado y el átomo queda

en un estado excitado y por lo tanto inestable, para estabilizar el átomo los electrones de las capas adyacentes llenan el espacio vacante al pasar un electrón de otra capa y con una energía diferente al del electrón saliente, produciéndose una diferencia de energía, la cual se emite en forma de radiación de rayos X, a este proceso se le llama fluorescencia de rayos X, en la cual además se ha establecido que dicha energía es única para cada elemento (Méndez *et al.* 2009).

Los límites de detección dependen de 5 factores: disminución del límite de detección con el incremento del tiempo de medida, efecto físico de la matriz (tamaño de la partícula), efecto químico de la matriz (solapamiento de líneas de varios elementos) y contenidos de varios componentes que afectan la transmisión de rayos X, por otro lado tenemos que el tiempo de exposición de la muestra a la radiación depende de la requerida en el análisis siendo lo habitual de 30 y 600 segundos (Gutiérrez 2010).

5.9 PEZ *Mugil incilis*

El pez *M. Incilis* (Fig.1, Anexo 1), pertenece a la familia Mugilidae del orden Mugiliformes. Se encuentra distribuido en el Caribe desde Haití y Panamá bordeando la costa occidental atlántica de América del Sur hasta el sureste de Brasil (Harrison 2002). En Colombia está registrada en toda la costa Caribe colombiana, encontrándose en estado adulto y juvenil en aguas estuarinas. Sin embargo, se ha establecido que migran hacia el mar para reproducirse (Albieri & Araujo 2010). Se caracteriza por tener un tipo de migración local e intergeneracional, lo cual indica que la especie sale al mar a finales del mes de octubre a desovar y luego regresa desovada en el mes de enero a los estuarios (Zapata & Usma 2013).

La familia mugilidae presenta caracteres eurihalinos y euritéricos que facilitan su desplazamiento entre cuerpos de aguas marinas, estuarinas y continentales. Los mugílidos tienen la característica de ajustar sus hábitos alimenticios según las condiciones en que se desarrolla su ciclo vital, por lo que son considerados detritívoros, iliófagos, herbívoros, omnívoros, fitófagos y zooplantáfagos (Ruiz & Vallejo 2013), por lo cual se han considerado como oportunistas, puesto que se alimentan de los recursos que se encuentran en determinado momento a su disposición (Gámez 2011). Se ha considerado que el pez *Mugil incilis* es un organismo que se encuentra fuertemente asociado al sedimento (Osorio 1988).

5.10 FACTOR DE BIOACUMULACIÓN (FB)

El FB describe la capacidad de acumulación de metales pesados por parte de organismos en el período de tiempo considerado (Murillo 2012). Se utiliza para relacionar los contenidos de metales pesados que se encuentran en el sedimento con los encontrados en los tejidos de los organismos, se lleva a cabo mediante la fórmula propuesta por Mountouris y colaboradores 2002.

$$\text{FB} = \frac{\text{concentracion del cation en el tejido}}{\text{concentracion del cation en sedimentos}}$$

6 ÁREA DE ESTUDIO

La CM se encuentra ubicada en el departamento del Atlántico en las coordenadas 11° 2'29" latitud norte y 74° 54'35" longitud oeste, en jurisdicción del municipio de Puerto Colombia, en su parte noroccidental en límites con Barranquilla (Fig. 1). Es un cuerpo de agua somero, de volumen variable que depende de los periodos de lluvia y de sequía. Tiene un área aproximada de 41,2 ha (hectáreas) y una profundidad promedio de 1 m, con salinidad intersticial promedio de 25 UPS (unidades prácticas de salinidad) (INVEMAR 2007, CRA 2012). Los aportes de agua dulce que llegan a la ciénaga son provenientes de escorrentías y drenaje. La CM es un ecosistema lagunar que juega un papel importante en el ciclo reproductivo de los peces y la regulación de las cuencas hidrográficas en el departamento del Atlántico. Presenta problemas de colmatación y contaminación por los afluentes que le llegan del continente (CRA 2016). Además, presenta procesos de desecación y pérdida de cobertura del manglar (INVEMAR 2007), asimismo presenta una importante ocupación urbanística en sus orillas, que no poseen un buen sistema y manejo de las aguas servidas, cuyo destino final son las aguas de la ciénaga.

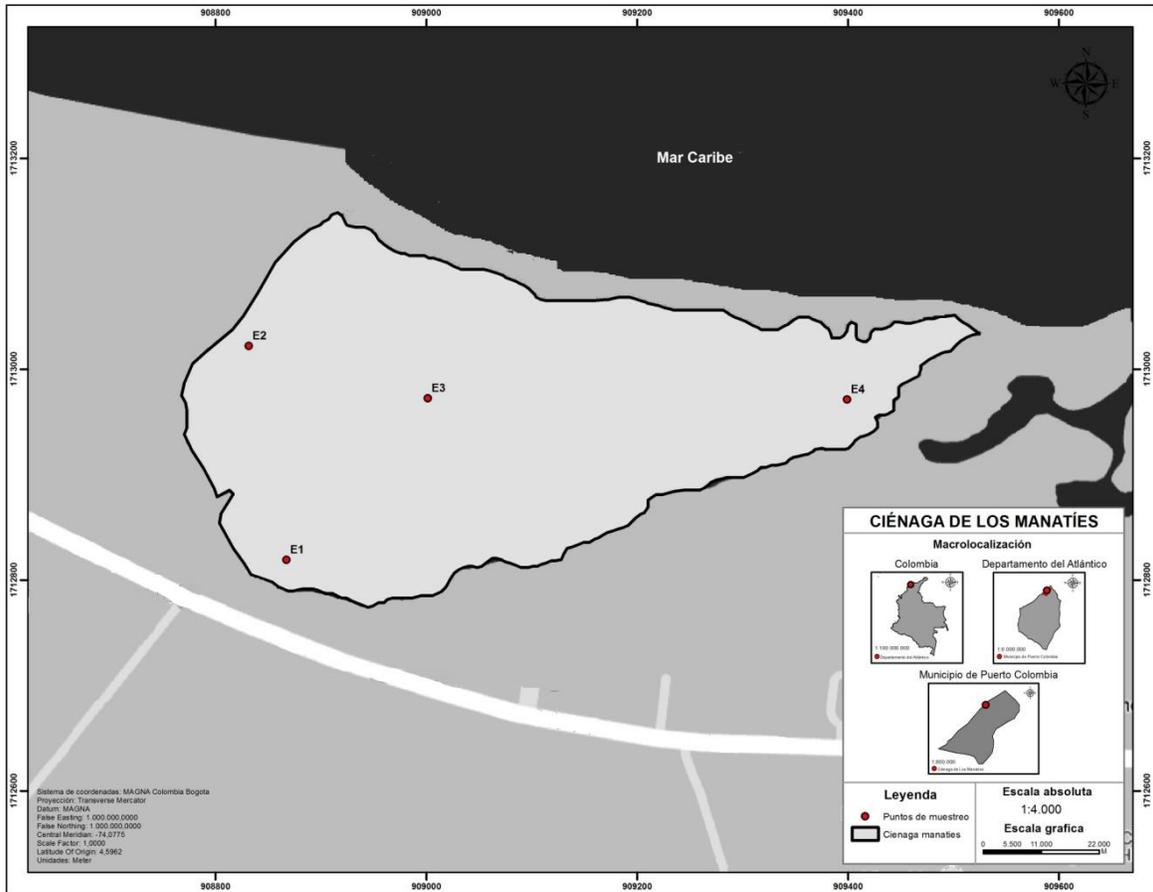


Fig. 1. Ubicación de los puntos de muestreo en la ciénaga de Los Manatíes y su ubicación geográfica en el departamento del Atlántico. (Elaboración propia programa libre QGIS 2.2).

7 METODOLOGIA

7.1 FASE DE CAMPO

7.1.1 Recolección de muestras.

Se realizaron cuatro muestreos, desde el mes de octubre del 2016 hasta el mes de enero del 2017. En cada muestreo se realizó la toma de datos fisicoquímicos *in situ*, mediciones de profundidad, la recolecta de muestras de sedimento y de peces. La medición de los parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, salinidad), utilizando un termómetro de mercurio de precisión $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, y un pH-metro de marca Lab-Kit, mientras que para salinidad (UPS) se utilizó un refractómetro de marca Atago. La profundidad se midió utilizando una regla manual y la toma de los peces mediante una atarraya.

Las muestras de sedimento se extrajeron en cuatro estaciones (tabla.1, figura. 1), escogidas estratégicamente para obtener los puntos con mayor influencia de actividades en función de las características de la ciénaga. En cada una de ellas tomaron 2 submuestras de sedimento superficial (2 cm), con ayuda de un corazonador manual de PVC de 12 centímetros de diámetro (Anexo 2). Una de las muestras se utilizó para determinar la concentración de MP y la otra para los análisis de sedimento (granulometría y materia orgánica), posteriormente fueron depositadas en bolsas de polietileno con cierre hermético, previamente rotulados y conservadas, hasta su posterior tratamiento en el laboratorio.

Las muestras de liza fueron recolectadas en faenas de pesca con la ayuda de un pescador de la zona que, durante la jornada de muestreo realizaba varios lanzamientos con una atarraya, tratando de abarcar toda la ciénaga (Anexo 3, Anexo 1). En cada muestreo se trató de recolectar como mínimo 10 individuos de *M. incilis*. Los peces se

transportaron en una nevera de icopor con hielo seco, con la finalidad de ser refrigerados hasta su posterior tratamiento en el laboratorio. Cabe resaltar, que las estaciones mencionadas no se tuvieron en cuenta para la colecta de los ejemplares de *M. incilis*, puesto que es un organismo móvil, que puede desplazarse por toda la ciénaga.

7.2 FASE DE LABORATORIO

7.2.1 Determinación de la granulometría del sedimento.

La determinación de la textura del sedimento se llevó a cabo mediante la técnica de tamizado en húmedo, antes de esto se eliminó la materia orgánica, mediante la utilización de peróxido de hidrógeno al 35 %, cubriendo todo el sedimento, luego se esperó durante tres días a que desapareciera en gran medida la actividad química oxidante, representada en forma de burbujas (Anexo 4).

Eliminada la materia orgánica, se pasó a separar las fracciones finas (menor a 63 μm y las gruesas (mayor a 63 μm). Para separar las finas se utilizó un tamiz de 0.63 μm de diámetro, la cual fue colocada sobre un balde y de forma lenta se dejó pasar agua hasta obtener toda el material fino en el balde, posteriormente se utilizó una probeta para recolectar un litro de la muestra, de la cual se tomó una alícuota de 20mL a una profundidad de 10cm mediante una pipeta, la alícuota se depositó en un crisol previamente pesado, se llevó al horno para su secado durante 3 horas a una temperatura de 60°C, seca la muestra se procedió a pesar en una balanza analítica Mettler Toledo AB204-s.

Tabla 1. Estaciones de muestreo en la ciénaga de Los Manatíes con sus respectivas coordenadas.

Estación	Latitud	Longitud
E1: Paralelo a la costa	11° 02' 25,1" N	74° 54' 41,3" W
E2: Zona de manglar	11° 02' 31,7" N	74° 54' 42,5" W
E3: Zona Centro	11° 02' 30,1" N	74° 54' 36,9" W
E4: Zona de intercambio	11° 02' 30,1" N	74° 54' 23,8" W

Las fracciones gruesas retenida en el tamiz fueron secadas en una estufa-horno Terrígeno N9M12, a una temperatura de 103 ± 2 °C durante 8 horas, realizando así un tamizado en seco mediante la escala de tamices de 4000, 2000, 500, 250, 125 y 63µm (Guitán & Carballas. 1976). Se recogió el material y se procedió a obtener su peso. La clasificación del tamaño de grano se hizo según la Escala Wenworth (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación del tamaño de grano según la escala Wenworth, Fuente: Bolaño *et al.* 2005.

Nombre	Limites graduales	Clasificación
Roca firme o guijarro (RF)	>2.000	Grava
Arena muy gruesa (AMG)	(2.000-1.000]	
Arena gruesa (AG)	1.000-500	
Arena media (AM)	500-250	Arena
Arena fina (AF)	250-125	
Arena muy fina (AMF)	125-63	
Cieno (C)	63-4	
Arcilla (A)	<4	Fango

7.2.2. Determinación del contenido materia orgánica total (% MOT).

La materia orgánica total (MOT) se determinó mediante el método de pérdida por ignición propuesto por González y Ramírez (1995) (Norma INVE-121-07), el cual consiste en la pérdida de peso producido al calcinar la muestra en una mufla a 550 °C, proporcionando una estimación del contenido orgánico.

Se pesaron 5g de sedimento seco utilizando crisoles previamente tarados (P1) en una balanza analítica (Mettler Toledo AB2,04-S), luego se colocaron en un horno Terrígeno modelo N9M12 a 550°C, durante cuatro horas, transcurrido el tiempo se saco la muestra del horno y se dejó enfriar durante una hora y posteriormente se peso (P2) (Anexo 5), (Norma, INVE 121-07).

El cálculo del contenido de materia orgánica total en el sedimento, fue establecido como el porcentaje de material orgánico en el peso seco del mismo, mediante la siguiente fórmula.

$$\%M.O.T.= \frac{P1-P2}{P1} * 100$$

7.2.3 Determinación de metales traza totales

La determinación de los metales traza se llevó a cabo mediante la técnica de medida directa en muestras sólidas, espectrómetro de fluorescencia de rayos X por reflexión total (TXRF) (“S2 PICOFOX”) de BRUKER por duplicado, utilizando calibración interna (estándar de itrio (Y)). La calibración interna consiste en utilizar un estándar de

concentración conocida de un elemento que no se encuentre en la matriz (muestra), para este caso se utilizó el Itrio, puesto que es improbable que se encuentre en las muestras de sedimento y pescado, este elemento se utiliza para compensar los efectos de la matriz. La calibración de los canales de lectura o la longitud de onda de fluorescencia se determinaron con el análisis de una muestra de As, el elemento arsénico se utiliza por la sensibilidad del equipo a este elemento. Puesto que dispone del factor de sensibilidad y número y posición de picos de fluorescencia adecuados. Los límites de detección del equipo para cada muestra se observan en el anexo 6 y 7. Esta técnica logro detectar distintos elementos químicos de los cuales se tomaron los metales traza Cu y Zn.

7.2.4 Sedimento

Las muestras de sedimento fueron tamizadas, secadas y molidas. para así asegurar el máximo contacto entre el reactivo y las partículas. A través del tamizado se obtuvo la fracción fina (0,63 μm) la cual se utilizó para la determinación de los metales traza.

El primer paso para la determinación de los MT, fue pesar entre 20-30 mg de fango en una balanza analítica, luego se procedió adicionar en un tubo de ensayo la muestra y 2mL HNO_3 concentrado previamente lavado con agua desionizada. Posteriormente se llevaron las muestras al ultrasonido a 60°C durante 30 min, pasado este tiempo se vertió 10 microlitros de estándar de itrio se colocó cada una de las muestras en un vortex (digital vortex mixer) durante un 1 min para su homogenización.

Para la lectura, se sembró 10 μL de la muestra en un portador de cuarzo, este se llevó a una plancha (AREC.X Heating magnetic stirrer)

durante 10 segundos para su posterior lectura, en el espectrómetro de fluorescencia de rayos X por reflexión total.

7.2.5 Tejido (Músculo, Branquias e Hígado).

Los peces fueron pesados en una balanza marca FWE model FEJ-1500 y medidos con un metro (longitud total). La extracción del tejido hepático, branquial y el músculo dorsal se realizó utilizando un cuchillo plástico, previamente lavado con una solución de ácido nítrico al 10% y agua desionizada (Márquez *et al*, 2008), posteriormente los tejidos fueron deshidratados en un horno a 60°C hasta obtener un peso constante. Luego fueron pulverizadas con un mortero e introducidos en bolsas de polietileno. Es importante tener en cuenta que por cada muestreo se tomaron 10 especímenes de *M. incilis* y se realizó una sola muestra por cada tejido (INVEMAR 2003).

La digestión de la muestra se realizó tomando de 20-30 mg de músculo, branquias e hígado; a las cuales se les adiciono 2 mL de HNO₃ concentrado, durante 30 min fueron vertidos en el ultrasonido a 60°C, con la finalidad de obtener una muestra homogénea. Pasado este tiempo se vertió 10 microlitros de estándar de itrio y se homogeneizó con ayuda del vortex (digital vortex mixer) durante un (1) minuto.

7.2.5.1 CARACTÉRES DIAGNÓSTICO

La identificación de la especie se realizó mediante la guía de especies comerciales de la FAO, en la observación de los siguientes caracteres (Cervigón & Cipriani *et al.*1992):

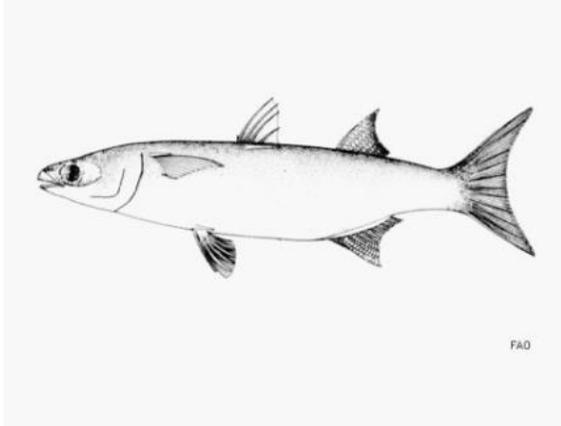


Fig. 2. pez *M. incilis*, tomado de la base de datos de peces de la FAO (Harrison, 2004).

- Espacio interorbitario ligeramente convexo.
- Origen de la aleta dorsal más cerca al extremo del hocico que a la base de la aleta caudal.
- El extremo maxilar alcanza el borde anterior del ojo.
- Entre 42-45 hileras verticales de escamas en los flancos.
- Presencia de 9 radios en la aleta anal.

7.3 TRATAMIENTO DE DATOS.

7.3.1 Análisis estadísticos

El análisis estadístico se llevó a cabo con la ayuda de tres programas informáticos: Excel, PAST Statistical Software versión 2. 17, SPSS Statistics 24 y las gráficas fueron realizadas por medio del programa Origin versión 8.

El software PAST, se empleó para determinar la estadística descriptiva, obteniendo los promedios, las desviaciones estándar y los rangos. Asimismo, se utilizó para determinar el comportamiento de los datos mediante la prueba de comprobación de normalidad para muestras pequeñas (Shapiro-Wilk) (Anexo 8). Según los resultados, obtuvimos datos paramétricos para las variables fisicoquímicas y no paramétricos para la granulometría y MOT, por lo cual se utilizó el

análisis de varianza ANOVA de una vía y kruskal Wallis respectivamente, para comparar las poblaciones.

El software SPSS, se utilizó para determinar la correlación de los metales pesados en los sedimentos y en los tejidos de los individuos, utilizando el coeficiente de correlación de Pearson con un nivel de significancia de $P \geq 0.05$. El cual es una medida de la asociación lineal entre dos variables. Los valores del coeficiente de correlación van de -1 a 1.

7.3.2 Factor de condición *K* o índice de Fulton

La relación entre el peso y el largo se expresa mediante la ecuación basada en la ley del cubo. Indicando que mientras la longitud aumenta en progresión aritmética, el peso del cuerpo también lo hace (Leyton 2015).

El factor de condición *k*, fue estimado para determinar el grado de bienestar o robustez de la población.

$$K = (W/Lt^3) \times 100$$

Donde: **W**.es igual al peso corporal húmedo en gramos, **Lt**. la longitud en centímetros y **K**. el estado de robustez.

7.3.3 Factor de Bioacumulación (FB)

Para relacionar los contenidos de MP en el sedimento con los presentes en los diferentes tejidos del organismo y con la finalidad de apreciar si los individuos son capaces de bioconcentrar los metales (Cu y Zn) y en que magnitud; se utilizó el factor de concentración o

Bioacumulación, propuesto por Ahumada (1994); Mountouris *et al* (2002). La fórmula para la obtención del FB es:

$$\mathbf{FB} = \frac{\text{concentracion del cation en el tejido}}{\text{concentracion del cation en sedimentos}}$$

8 RESULTADOS

8.1 PRECIPITACIÓN MENSUAL

La información de las precipitaciones de acuerdo con los datos del IDEAM (Estación Las Flores), en los meses de estudio, se observan en la figura 3. Los meses de octubre y noviembre registraron lluvias constantes, presentaron una precipitación máxima de 85mm, lo cual concuerda con la época de lluvia de la región; el mes de diciembre no presentó lluvias en las primeras semanas, no obstante, la última semana presentó precipitaciones que alcanzaron los 250mm, para el mes de enero no hubo registro de lluvias.

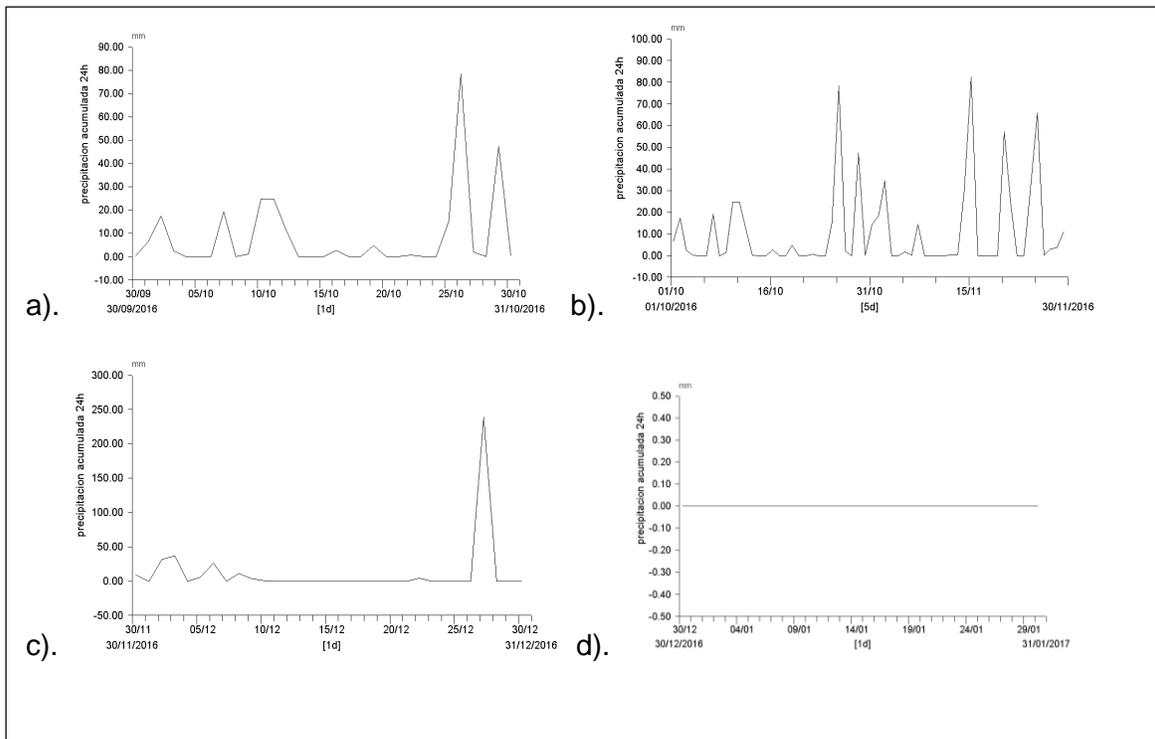


Fig. 3. Precipitación mensual registradas en los cuatro meses de muestreo. a). Octubre, b). Noviembre, c). Diciembre, d). Enero. Fuente: IDEAM - Estación: LAS FLORES [0025025360]. <http://hydras3.ideam.gov.co/LOGIN.htm>

8.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Los valores medios de las variables fisicoquímicas del agua superficial (pH, salinidad y temperatura) se muestran en la tabla 4.

8.2.1 pH

El pH fue básico durante todo el periodo de estudio. El valor medio global fue de $8,26 \pm 0,24$ pH. Los valores más altos se registraron en octubre, los más bajos en Diciembre (figura. 5) (tabla 3). Se encontró en los meses de diciembre y enero los valores más bajos hacia la zona noreste y noroeste y los más altos en la zona sureste de la ciénaga, mientras que el mes de octubre, presentó las mayores concentraciones en la zona noreste y noroeste. Noviembre presentó los mayores valores en la zona centro. Se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los meses de muestreo (Anexo 9).

8.2.2 salinidad.

La CM presentó características estuarinas con un valor medio general de salinidad de $29,5 \pm 5,7$ ups. Los valores máximos se registraron en el mes de enero y los mínimos en noviembre. Observando que las mayores salinidades se encontraron en la zona sureste de la ciénaga, en los meses de octubre, diciembre y enero. El mes de noviembre presentó mayores niveles en la zona noroeste (figura. 6) (tabla 3). Se hallaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los meses de muestreo (Anexo 10).

8.2.3 temperatura.

La temperatura del agua superficial fue cálida con un valor promedio general de $27,36 \pm 2,34$ °C, los valores más altos se hallaron en los dos primeros meses del periodo muestreado (octubre, noviembre). El mes de octubre mostró temperaturas relativamente altas por encima de (29 °C), presentando en la zona noroeste los niveles de temperatura más bajos, mientras que, en el mes de noviembre, el centro de la ciénaga registro las más elevadas. Los dos meses restantes tuvieron un comportamiento similar, donde los valores más altos se encontraron en la zona sureste (figura. 7) (tabla 3). Se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los meses de muestreo (Anexo 11).

Tabla 3. Resultados de pH, salinidad, temperatura por meses de estudio, en la ciénaga de Los Manatíes- Atlántico.

Mes	pH (U pH)	Salinidad (UPS)	Temperatura (°C)
Octubre	$8,48 \pm 0,10$	$30,1 \pm 2,95$	$29,6 \pm 0,47$
Noviembre	$8,43 \pm 0,07$	$22 \pm 1,77$	$28,6 \pm 0,25$
Diciembre	$7,89 \pm 0,04$	$29,1 \pm 1,65$	$25,8 \pm 1,90$
Enero	$8,24 \pm 0,05$	$36,7 \pm 1,55$	$25,3 \pm 2,49$

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos (pH, salinidad y temperatura). Min-Max: Mínimos y máximos, DS: desviación estándar.

Variabes	Min-Max	Promedio \pm DS
pH	7,84-8,54	$8,25 \pm 0,23$
Salinidad	20,5-38,5	$29,5 \pm 1,13$
Temperatura	22-30	$27,36 \pm 0,95$

8.3 SEDIMENTO

8.3.1 Profundidad

La CM presentó un ambiente lagunar somero, con una profundidad promedio de 0,61m, con un valor máximo cercano a 1m en la zona centro de la ciénaga (tabla. 5). En el mes de octubre y noviembre se encontraron las mayores profundidades, asociadas a la época de lluvia única fuente de agua dulce que presenta la ciénaga, para los meses de diciembre y enero (época seca), la profundidad media disminuyó, debido a la apertura de la barra determinada por la pluviosidad y los viento (Anexo 12).

8.3.2 Granulometría.

En la tabla 5 se presenta la distribución porcentual de la fracción arena y fango en sedimentos superficiales de la CM.

La fracción arena predominó en la CM con un valor medio general de 81,71 %, seguida de la fracción fina o fango que no alcanzó a superar el 20%. La fracción grava estuvo ausente en todas las estaciones de muestreo (figura. 4). La fracción arena dominó en todos los puntos muestreados, siendo la zona noreste y noroeste, donde se encontró en mayor proporción, no obstante, la fracción fina presentó valores elevados en la zona centro y la zona sureste, sin embargo, estos no superaron los porcentajes de arena.

Tabla 5. Resultados de Profundidad, granulometría y Materia Orgánica total por estación de muestreo. Promedio \pm DS: desviación estándar.

	PROFUNDIDAD (m)	ARENA (%)	FANGO (%)	MOT (%)
E1	0,63	99,87 \pm 0,08	0,13 \pm 0,08	2,44 \pm 0,47
E2	0,57	99,73 \pm 0,17	0,27 \pm 0,17	3,20 \pm 1,06
E3	0,95	53,95 \pm 15,49	46,05 \pm 15,49	20,75 \pm 3,22
E4	0,61	73,30 \pm 6,90	26,70 \pm 6,90	23,75 \pm 2,19
PROMEDIO	0,61	81,71 \pm 22,32	18,28 \pm 22,32	12,53 \pm 11,28

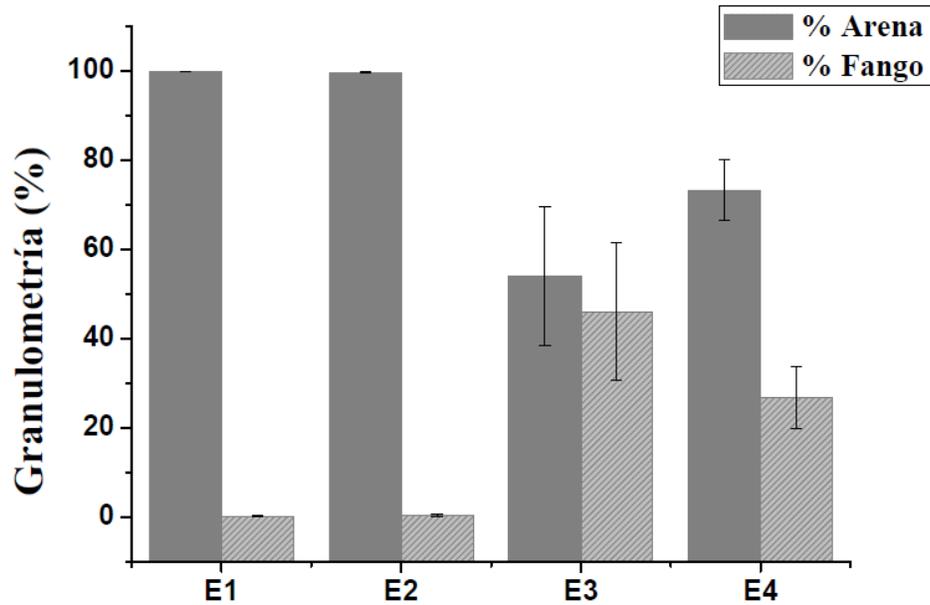


Fig. 4. Distribución espacial de la textura del sedimento en las estaciones de muestreo, (Elaborado en ORIGIN Pro.8).

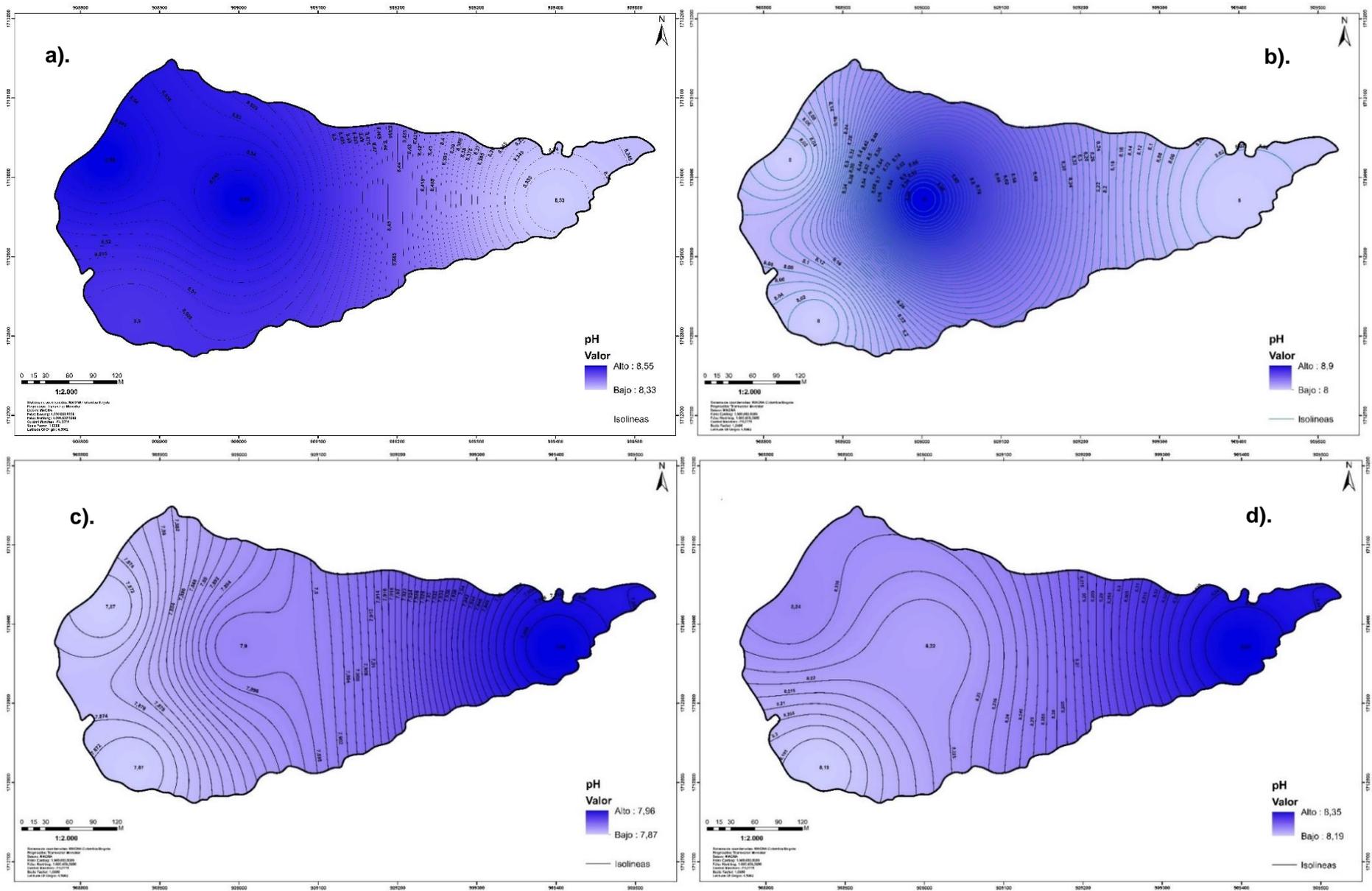


Fig. 5. variación del pH en las estaciones de muestreo, durante los cuatro meses de muestreo. a). octubre, b). Noviembre, c). Diciembre, d) Enero, (Elaborado en programa libre QGIS 2.2).

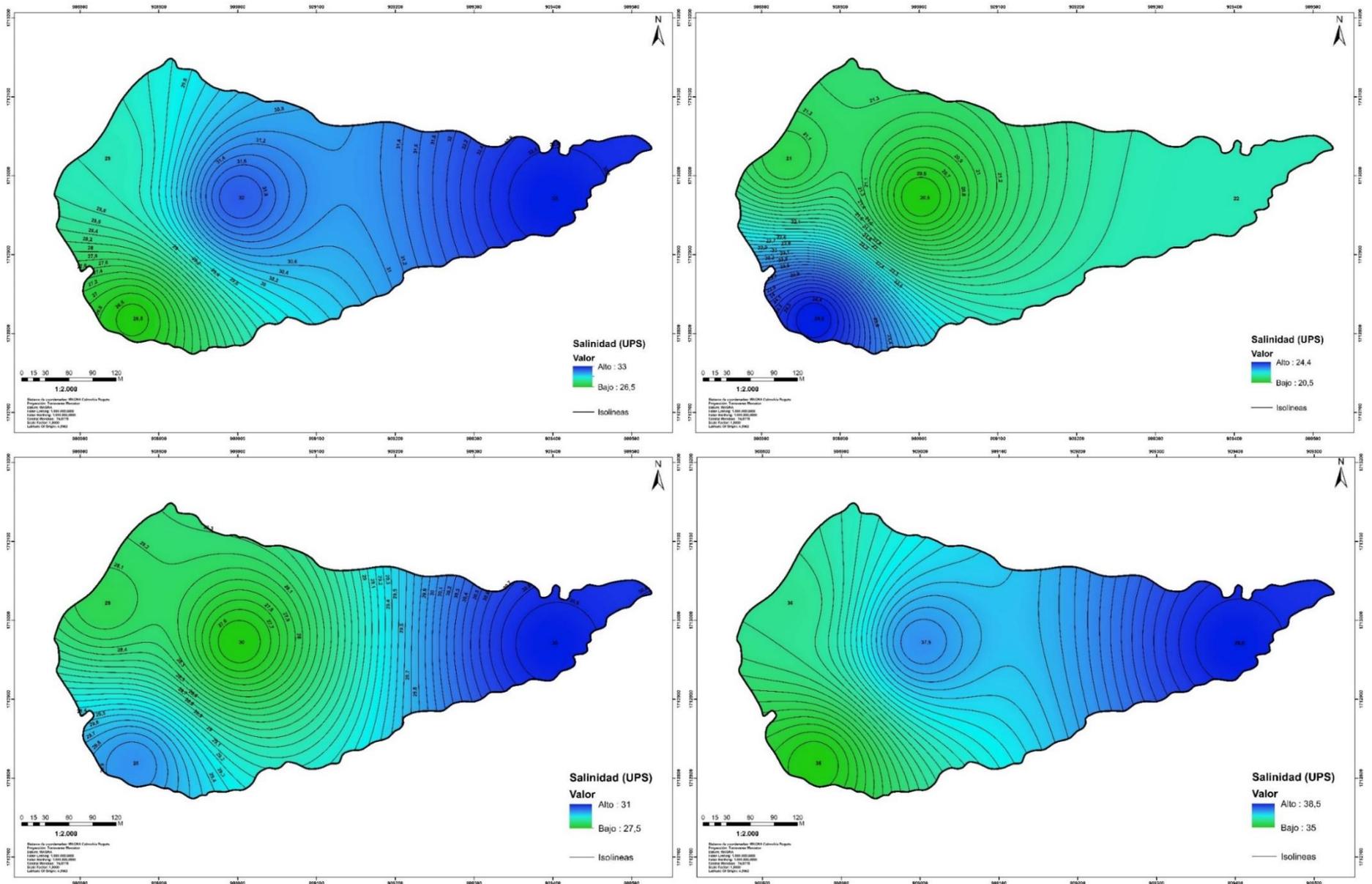


Fig. 6. Variación de la salinidad en las estaciones de muestreo, durante los cuatro meses. a). Octubre, b). Noviembre, c). Diciembre, d). Enero, (*Elaborado en programa libre QGIS 2.2*).

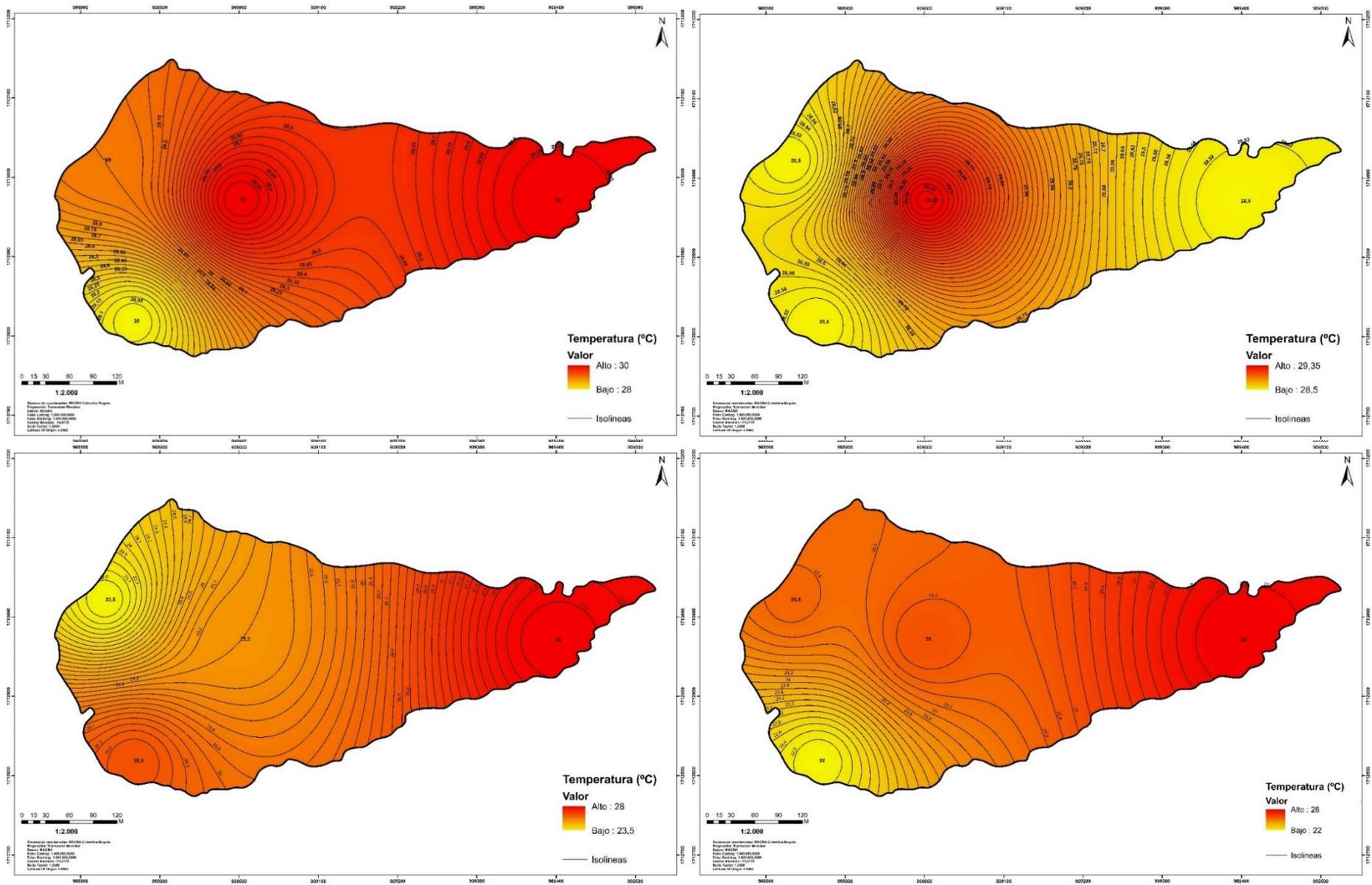


Fig. 7. Variación de la temperatura en las estaciones de muestreo, durante los cuatro meses de muestreo. a). Octubre, b). Noviembre, c). Diciembre, d). Enero, (*Elaborado en programa libre QGIS 2.2*).

8.3.3 Materia Orgánica total %.

El contenido de MOT en la CM exhibió un valor medio de 12,53 % \pm 21,37 (tabla 5). Los valores más elevados se registraron en la zona centro y sureste, con valores superiores al 20% y los más bajos en la zona noroeste con 2,44% (figura. 8).

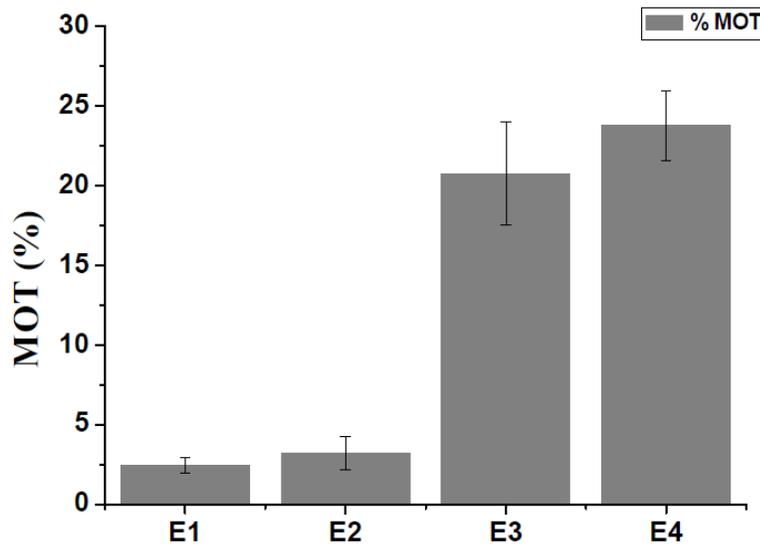


Fig. 8. Distribución espacial de la Materia Orgánica Total (%) en las estaciones de muestreo.

8.4 Metales traza en la fracción total del sedimento.

Las concentraciones medias globales de los MP (Cu y Zn), y las concentraciones por estación de muestreo se muestran en la tabla 6. Las concentraciones más altas de cobre se registraron en la zona noroeste (E1) y las más bajas en la zona centro (E3); el Zn presentó al igual que el cobre las concentraciones más bajas en la zona centro y las más altas en la noreste (E2).

El cobre presentó un valor medio de $62,2 \pm 34,22 \text{ mgkg}^{-1}$, con valores máximos en la zona noroeste ($107,10 \text{ mgkg}^{-1}$) y mínimos en la zona centro ($41,58 \text{ mgkg}^{-1}$) (figura. 9). Las concentraciones altas de Cu en la estación paralela a la costa, están relacionadas con los drenajes que se realizan en esta área (anexo 13). Las concentraciones de Zn oscilaron entre $328,58 \text{ mgkg}^{-1}$ y $216,31 \text{ mgkg}^{-1}$ (tabla 6), con un promedio global de $283,9 \text{ mgkg}^{-1}$; siendo la zona noreste la de mayor valor, ya que esta zona es altamente influenciada por los desechos domésticos no tratados. Las concentraciones de Zn, estuvieron por encima de las encontradas para Cu en todas las estaciones de muestreo.

Tabla 6. Concentración de Metales traza en mgkg^{-1} (Cu y Zn), por estación de muestreo. $X \pm DS$; promedio-desviación estándar.

Estación	Cu (mgkg^{-1})	Zn (mgkg^{-1})
E1	$107,10 \pm 39,1$	$275,85 \pm 69,6$
E2	$50,13 \pm 19,7$	$328,58 \pm 110,9$
E3	$41,58 \pm 9,9$	$216,31 \pm 41,9$
E4	$50,03 \pm 6,2$	$314,90 \pm 70,4$
PROMEDIO	$62,2 \pm 30,1$	$283,9 \pm 50,3$

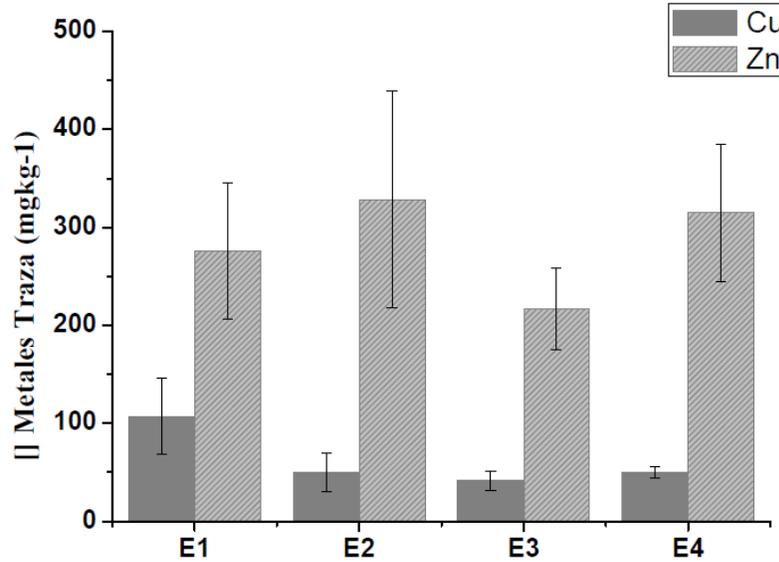


Fig. 9. Concentración de MT (Cu y Zn) por estación de muestreo en la ciénaga de Los Manatíes.

8.5 Pez *Mugil incilis*

8.5.1 Parámetros Morfométricos de *M. incilis*

Durante los 2 primeros muestreos en la CM no se encontró muestras de peces de *M. incilis*. Esto está relacionado con la migración reproductiva que realizan a finales de octubre, en la cual la especie sale a mar abierto a desovar (Zapata y Usma, 2013). Para los dos meses restantes se obtuvo un total de 20 peces, los cuales se dividieron por talla, conformando de esa manera 2 grupos, comprendidos entre el muestreo tres y cuatro.

Las características morfométricas determinadas para los ejemplares se encuentran en la tabla 7. La talla promedio de los ejemplares capturados en el mes de diciembre fue de 20,05 cm y enero 15,07 cm. Estos resultados son congruentes con la talla de reclutamiento, puesto

que Sánchez et al 1998 señaló que esta especie es reclutada desde los 14cm, indicando que los individuos recolectados son representativos para discutir el impacto ambiental que puede generarse sobre las poblaciones humanas que lo consumen. Sin embargo, no se encuentran entre los límites de la talla media de captura, ya que en diferentes estudios han planteado una TMC superior a 20 cm. Como los trabajos de Mármol *et al* 2010, Sánchez *et al* 1998 & Bustos *et al* 2012 donde encontraron que TMC es de 24.4, 23.1 y 27.9 cm respectivamente.

Los resultados del factor de condición k se encuentra en la tabla 7. En el mes de diciembre los individuos de *M. incilis* presentaron un k= 0,77 y para el mes de enero un k=0,98 respectivamente, estos resultados estuvieron por debajo del valor indicado por Schmidt *et al* 1999 el cual indica que, si existe un buen estado nutricional el factor de condición k, debe estar igual o mayor a 1. Sin embargo, para los individuos recolectadas en el mes de enero se reporta un valor cercano a 1, indicando que los individuos de menor talla presentan un mejor estado de robustez o bienestar. En otros trabajos han encontrado valores superiores (Bedoya 2004 encontró un k=1,69, Olivero *et al.* 2013 obtuvo un k=1.37) y menores a los obtenidos (k=0.71 Borja *et al.* 2009)

Tabla 7. Características morfométricas de la *M. incilis*. n: número de ejemplares, Lt: longitud total \pm desviación estándar, P: peso promedio \pm desviación estándar.

Mes	N	Lt (cm)	P (g)	Factor de condición k
Diciembre	10	20,05 \pm 3,1	61,27 \pm 27,17	0,76
Enero	10	15,07 \pm 3,32	33,86 \pm 6,49	0,98

8.5.1 Metales traza en tejido (músculo, branquias e hígado)

Las concentraciones de MP en músculo, branquias e hígado para la especie *M. incilis* se encuentran en la tabla 8. La acumulación en los tejidos siguió el siguiente orden. hígado > branquias > músculo para los dos muestreos.

8.5.1.1 Cobre (Cu)

El hígado presentó las mayores concentraciones de cobre para los dos meses de muestreo, con un valor promedio para el M3 de 4828 mgkg^{-1} y $547,5 \text{ mgkg}^{-1}$ en el M4. Las branquias registraron un valor medio de 342 mgkg^{-1} en el muestreo 3 y $27,8 \text{ mgkg}^{-1}$ en el muestreo 4. El contenido más alto de cobre registrado en el músculo se dio en el muestreo 4 ($51,9 \text{ mgkg}^{-1}$), mientras que las concentraciones en branquias e hígado fueron inferiores a las encontradas en el M3 (figura. 10). Esto puede estar sujeto a las diferencias de talla (tabla 7), siendo este factor importante, puesto que cuando se presenta una menor talla el músculo tiende acumular más metales, debido a que el radio de excreción es mucho más lento (Franco & León 2012, Al-Yousuf *et al.* 2000). Las altas concentraciones registradas en el tejido hepático están relacionadas con la función que tiene en el metabolismo de desintoxicar, pudiendo así acumular grandes cantidades de Cobre en comparación con los demás órganos.

Tabla 8. Concentración de Metales Traza en *M. incilis* en Músculo, Branquias e Hígado, por muestreo. Promedio \pm desviación estándar, (*Elaboración propia*).

Tejido	M3	
	Cu	Zn
Musculo	45,5 \pm 3,53	679 \pm 70,0
Branquias	342 \pm 40,30	1323 \pm 54,44
Hígado	4828 \pm 363,45	643 \pm 54,44

Tejido	M4	
	Cu	Zn
Musculo	51,9 \pm 9,81	237 \pm 4,17
Branquias	27,8 \pm 0,14	109,8 \pm 2,40
Hígado	547,5 \pm 86,83	149,5 \pm 45,39

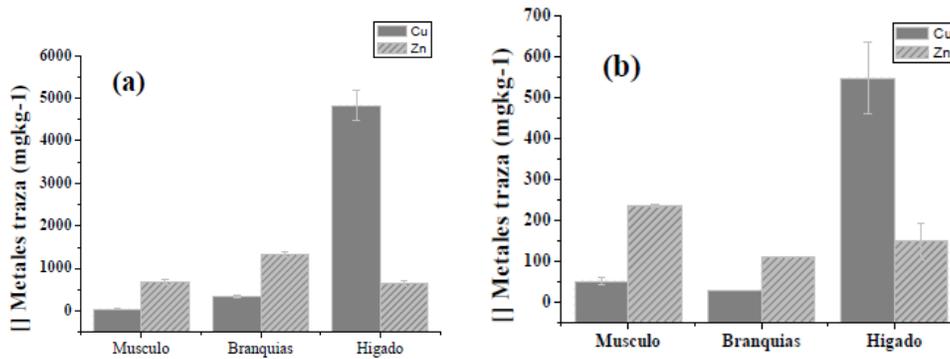


Fig. 10. Concentración de Metales Traza en Músculo, Branquias e Hígado en la lisa *M. incilis* por muestreo, (a): muestreo 3, (b): muestreo 4.

8.5.1.2 Zinc (Zn)

Se hallaron concentraciones de Zinc en las branquias superiores a los encontrados en hígado y músculo para los dos meses de muestreo, con una media de 1323 mgkg⁻¹. No obstante, los individuos capturados en el cuarto muestreo registraron valores de zinc en músculo mayores a los encontrados en hígado y branquias, con un valor medio de 237

mgkg⁻¹. Los altos valores en las branquias están sujetos a la capacidad de captación de sustancias en disolución que presenta este órgano (Fernandes 2007, Hauser *et al.* 2016) permitiendo inferir que las concentraciones en disolución en el agua puedan estar altas.

8.5.2 Factor de Bioacumulación (FB)

En la tabla 9 se observan los valores del Factor de Bioacumulación de MP, en músculo, branquias e hígado del pez *M. incilis*. El FB se realizó con relación al promedio de los metales (Cu y Zn) presentes en los 2 muestreos realizados. Teniendo en cuenta que el metal es bioconcentrado cuando el factor de Bioacumulación es igual o mayor a 1.

El FB evidencio que el cobre se bioacumula en el tejido hepático, tanto para las muestras recolectadas en el M3 como en M4 (figura.11), existiendo mayores niveles de bioconcentración para los individuos de mayor tamaño; asimismo las branquias también están acumulando este metal en el M3. El músculo por el contrario no presenta bioacumulación en ninguna de las muestras.

El Zn por su parte se bioacumuló en los tres tejidos para las especies recolectadas en el muestreo 3, existiendo la mayor bioacumulación en el tejido branquial. Para el muestreo 4 no se presentó bioacumulación en ninguno de los tejidos.

Tabla 9. Factor de Bioacumulación (FB) de metales pesados en *M. incilis* en la ciénaga de Los Manatíes.

Tejido	M3	
	Cu	Zn
Musculo	0,73	2,30
Branquias	5,50	4,48
Hígado	77,62	2,18

Tejido	M4	
	Cu	Zn
Musculo	0,83	0,80
Branquias	0,45	0,37
Hígado	8,80	0,51

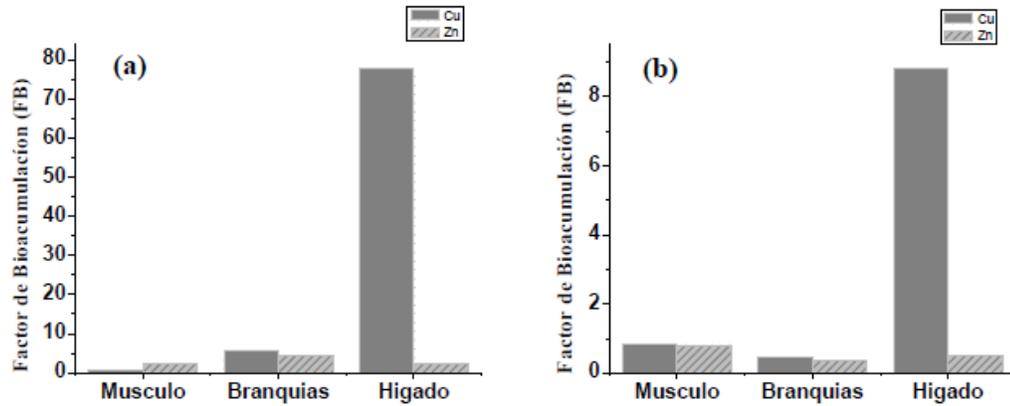


Fig. 11. Factor de Bioacumulación del pez *M. incilis* en Músculo, Branquias e Hígado, (a). muestreo 3; (b). muestreo 4.

9 DISCUSIÓN

9.1 Variables Físicoquímicas

La CM presentó un ambiente somero con características estuarinas, de salinidades altas, debido a su conexión permanente con el mar y la baja pluviosidad que se presentó durante los meses de estudio. El valor máximo se encontró en el mes de enero (36,7 ups) (figura. 6), correspondiente a la baja pluviosidad y la alta evapotranspiración. Y los valores más bajos (22 ups) en el mes de noviembre, puesto que el cierre de la barra y las precipitaciones influenciaron este comportamiento. La tendencia de la salinidad es similar a resultados de Sosa *et al.*, (2013) en una laguna costera de México y Mangones & León (2014) en la ciénaga de Mallorquín Atlántico.

En cuanto a los valores de pH del agua se encontró, que su comportamiento es básico durante el periodo de estudio. Los meses de octubre y noviembre presentaron los mayores valores (8,48-8,43) (figura. 5), estos resultados pueden deberse a las precipitaciones, puesto que las lluvias lavan el suelo arrastrando así los minerales que se encuentran en él. Por el contrario, los dos meses restantes presentaron un comportamiento similar entre ellos, obteniendo los mayores valores hacia la zona sureste, donde se produce el intercambio de agua de mar. Estos resultados siguieron la misma tendencia que los resultados obtenidos por la CRA 2015 en la CM y los reportados en la ciénaga de Mallorquín (Mangones & León 2014).

La temperatura del agua superficial, presentó los valores más altos, en el mes de octubre (29,6 °C) (figura. 7) y los más bajos para los meses de diciembre y enero (25,8- 25,3°C respectivamente), esto está sujeto a las temporadas climáticas, ya que las temporadas de lluvias se caracterizan por las altas temperaturas atmosféricas (González *et al*

2008). Además de las intensidades y frecuencias de las mezclas del agua de mar, que junto con las lluvias determinan los cambios estacionales de las características químicas del agua (postman 1969, Margalef 1969). Siendo estos datos congruentes con los obtenidos en la laguna de chacmunch-Mexico, en donde se presenta un descenso en la temperatura, en la misma temporada (Aguilar 2015). Asimismo, nuestros datos estuvieron por debajo de los reportados por la CRA 2015, donde obtuvieron temperatura máxima de 33 °C y entre los límites encontrados para la ciénaga de Mallorquín (Mangones & León 2014).

9.2 Granulometría y Materia Orgánica Total

La CM presentó dos tipos de grano: Arena y Fango, la más abundante fue la arena presentando la mayor proporción (99,87-99,73) en las E1 y E2, lo cual está relacionado con el transporte de arena proveniente de los sitios aledaños por medio de escorrentías. Las E3 y E4 también estuvieron representadas por arena, sin embargo, las proporciones fueron más bajas, puesto que se encontró grandes cantidades de material fino producto de la entrada de los sedimentos que entran en el mar Caribe procedentes del río Magdalena. Otra de las particularidades que favorecieron estos resultados fueron las características en las profundidades de la ciénaga, puesto que las condiciones de la ciénaga facilitaron la deposición de estas partículas, ya que, a profundidades altas, estas actúan como trampas de sedimentos finos (Llanos 1987). No obstante, a esto se ha mencionado que los sedimentos finos se depositan en ambientes donde la velocidad de las corrientes de transporte no es fuerte, puesto que las corrientes al entrar pierden velocidad, disminuyendo su capacidad de carga, por consiguiente, depositan primero las partículas más gruesas y hacia el interior las que requieren menos velocidades (Llanos 1987;

Chávez & Álvarez 2006), lo cual no explica el porcentaje de material fangoso encontrado en la E4. Por lo tanto, se sugiere que la ciénaga en este punto puede estar presentando un vertimiento de aguas residuales.

Asimismo, los altos valores (20,75% - 23,75%) de MOT en las estaciones E3 y E4 nos indican que la ciénaga presenta una contaminación orgánica en estos puntos, no obstante, a las condiciones de la ciénaga, puesto que la profundidad (0,61m) y las altas temperaturas (27,36) aumentan los procesos de descomposición, los cuales no deberían permitir las altas concentraciones de MOT (Esteves 1998). Asimismo, que están relacionados positivamente ($r=1,000$) (Anexo 13), con el contenido de fango.

9.2.1 Comparación de los resultados de Granulometría y MOT con otros estudios.

Al comparar los valores de MOT y las proporciones de fango y arena, con estudios realizados en la ciénaga de Mallorca y otros estudios internacionales, se evidencian las diferencias en el comportamiento de la ciénaga, respecto a estos parámetros (tabla 10). Una de las características es la dominancia del material arenoso para CM (81,75%) y los valores altos de fango encontrados en los estudios en la ciénaga de Mallorca. Sin embargo, los resultados encontrados en este estudio se han obtenido en otras investigaciones (Pérez *et al.* 2006 y Martínez 2002).

Tabla 10. Comparación de variables granulométricas (arena y fango), profundidad, MOT y metales traza (Cu y Zn) en sedimentos en este estudio y en otras investigaciones.

ESTUDIOS	Profundidad (m)	% Arena	% Fango	% MOT	Cu	Zn	Técnica de Espectrofotometría
Este estudio	0,61	81,71	18,29	12,53	62,2 mgkg⁻¹	295,24 mgkg⁻¹	Fluorescencia de rayos X por reflexión total
García & Luque 2008	-----	12,09	87,96	11,25	8,31 µg g ⁻¹	57,34 µg g ⁻¹	Absorción Atómica
Padilla & León 2008		90	10	3,08	32,56 mgkg ⁻¹	98,83 mgkg ⁻¹	Absorción Atómica
Franco & León 2010	1,00	-----	-----	13,55	0,126 mgkg ⁻¹	20,80 mgkg ⁻¹	Absorción Atómica
Franco & León 2012					18.60 µg g ⁻¹	80.73 µg g ⁻¹	Absorción Atómica
Salazar & Pérez 2014	-----	23,38	76,62	8,25	-----	-----	Absorción Atómica
Aguilera & Andrade 2014	-----	23,7	73,9	17,6	-----	-----	Absorción Atómica
Martínez 2002 Costa norte	-----	74,90	23,81	-----	17,99 µgg ⁻¹	50,82 µgg ⁻¹	Absorción Atómica
Pérez <i>et al</i> 2006	-----	94,63	0,3	3,97	-----	-----	Absorción Atómica
Fernández <i>et al</i> 2007	-----	-----	-----	-----	83 mgkg ⁻¹	241 mgkg ⁻¹	Absorción Atómica de llama
García <i>et al</i> 2003	-----	-----	-----	-----	22,9 mgkg ⁻¹	124,34 mgkg ⁻¹	Fluorescencia de rayos X por en energía dispersión
Chui <i>et al</i> 2009	-----	-----	-----	-----	15 ppm	101,7 ppm	Fluorescencia de rayos X en energía dispersiva

9.3 Metales traza en sedimento

La distribución espacial de las concentraciones de metales en los sedimentos tiende a variar entre las estaciones, mostrando en algunas zonas (E1 y E2) niveles altos de metales traza (figura 9). Las variaciones encontradas pueden deberse a las diferencias en las fuentes de contaminación por metales y las condiciones físicas y químicas del sedimento (Fernandes 2007). Los resultados obtenidos muestran que las estaciones con mayores cantidades de metales traza, presentan como fracción dominante la arena, lo cual difiere con la literatura que plantea, que el tipo de partícula predominante en los sedimentos determina el contenido de metales traza, así los sedimentos donde predominan las partículas finas, retendrán mayor humedad, materia orgánica y metales (Pérez *et al.* 2006, Calderón & Valdés 2012), asimismo, la profundidad y la intensidad de las corrientes, son otra de las características que determinan la retención de metales en los sedimentos (León & Padilla 2008). Lo cual sugiere que las concentraciones halladas en las E1 y E2 tienen un origen alóctono; producto de la deposición de desechos puntuales (Anexo 15).

El Zinc presentó concentraciones altas para todas las estaciones, indicando que existe un proceso de contaminación en la ciénaga. Corroborando que es un buen indicador de las actividades humanas, ya sea domésticas o industriales (León *et al.* 2004), Una de las causas que podrían estar aumentando su concentración es la poca circulación del material en suspensión, las deposiciones puntuales de aguas residuales.

Al comparar estos valores con otras investigaciones (Tabla 10), se observa que el valor medio de Cu encontrados en el estudio, no supera

la concentración (83 mgkg^{-1}) hallada por Fernández *et al* 2007, mediante la técnica de espectrometría de absorción atómica. No obstante, comparando los resultados con los reportados en la ciénaga de Mallorquín y el litoral costero del departamento del Atlántico, la ciénaga de Los Manatíes presenta un alto grado de contaminación por los metales Cu y Zn, puesto que sus valores superan las concentraciones encontradas por: Padilla & León 2010, Franco & León 2010 y Franco & León 2012 (Cu: $32,56 \text{ mgkg}^{-1}$ - $0,126 \text{ mgkg}^{-1}$ - $18.60 \mu\text{g Cu/g}$) respectivamente.

9.3.1 Correlación de Metales traza en sedimento, variables fisicoquímicas, granulometría y materia orgánica total.

cobre y zinc en los sedimentos de la ciénaga de Los Manatíes mostraron una correlación negativa significativa ($r=-1,000^{**}$) con la MOT y la fracción fina del sedimento (Anexo 11), lo cual indica que existen fuentes distintas de los contenidos de estas variables. Por el contrario, entre ellos (Cu y Zn) presentaron una correlación positiva significativa entre ellos ($r=1,000^{**}$), lo que podría indicar una fuente común de ingreso al cuerpo de agua, diferente a la materia orgánica y los materiales finos. En cuanto a las variables fisicoquímicas (Anexo 14), se encontró que la temperatura, la salinidad y el pH tienen una relación negativa para el Cu y por el contrario el Zn muestra una relación positiva para las variables temperatura y salinidad (Anexo 14).

9.4 Metales traza en tejidos

La captación de contaminantes asociados a los sedimentos por parte de los peces. Puede ocurrir por vías respiratorias y dietéticas, mientras

que la vía dérmica suele ser un mínimo contribuyente de la exposición, debido a la barrera a menudo efectiva proporcionada por el externo epitelio (Fernandes et al 2007). Los datos del estudio indican que las concentraciones medias de los metales traza (Cu y Zn) en los tres tejidos son muy variables, proporcionando que las mayores concentraciones de cobre se encuentran en el hígado y las de zinc en las branquias. Schuhmacher *et al* 1992 y Ribas 2010, mencionan que el cobre es captado en el hígado para formar metalotioneína tetrahedral y especies del complejo metaloenzimas. Las cuales contienen un grupo tiol (-Sh) que facilita la unión al metal, lo que podría explicar las altas concentraciones halladas en este tejido. Las concentraciones de Zn en branquias se deben a la facilidad que presenta para atravesar las membranas celulares (Olivares *et al* 2014), además que tienden a formar complejos con el mucus de las lamelas branquiales, lo que favorecería su acumulación (Yilmaz et al 2007). En el músculo se encontraron valores inferiores a los encontrados en las branquias e hígado; sin embargo, las concentraciones estuvieron por encima de la media reportadas en otras investigaciones (Tabla 11). Las concentraciones de los metales en las branquias reflejan la disponibilidad de estos elementos en las aguas donde hábitat los peces, mientras que el hígado representa el almacenamiento de metales.

Las concentraciones de Cu (Tabla 11), superaron las concentraciones encontradas en *Mugil curema*, en los estudios realizados por Fuentes *et al* (2018) y Corrales (2013) y los valores de Zn superan los valores medios para *Mugil cephalus* (Dural *et al* 2006). El músculo presentó las concentraciones más bajas, sin embargo, estos valores se encuentran por encima de los reportados por Franco & León 2012 & Fuentes *et al* 2018. Las concentraciones de Zn en el músculo son más altas que las encontradas para el Cu, esto se debe a que los

requerimientos en la dieta para cobre son más bajos (Ribas, 2010). Las altas concentraciones registradas pueden deberse a la importancia que tiene el Zn en el metabolismo y que a menudo se regula por la actividad fisiológica de los organismos (Molina et al 2012).

El Hígado tiene la función de desintoxicación en el metabolismo del organismo y es un órgano altamente activo en la captación y almacenamiento de metales pesados (Zorrilla 2011, Dural 2006). Las branquias son la principal vía de transferencia del Cu y Zn al interior de los tejidos y es fundamental en la ingesta de cobre, debido a que interviene en la función del sistema nervioso, debido a que está involucrado en el metabolismo del hierro (Benedetti *et al* 1989; Lemus *et al* 1992; Argota *et al* 2012). Asimismo, es el órgano principal para la absorción de compuestos en disolución, por tanto, provee información de la disponibilidad de sustancias químicas en el medio (Lemus 1992; Dural *et al* 2006). Bercorhotmail.com

Los tres órganos muestran concentraciones altas para los dos metales lo cual puede estar sujeto a las altas concentraciones que se encuentran en el medio. Trayendo como consecuencia que el Hígado que es el órgano encargado en la desintoxicación no pueda regular los valores hepáticos, produciéndose la acumulación en otros tejidos u órganos (Arellano 1999; Benedetti *et al* 1989).

Tabla 11. Comparación de las concentraciones de metales traza en tejidos (Músculo, Branquias y Hígado) en *Mugil incilis*.

Órgano	Este estudio		Marcovecchio (2004). <i>M. liza</i> (µg g-1)		Hauser et al (2016) <i>M. liza</i> (µg g-1)		Fuentes et al 2018 <i>M. curema</i> (µg g-1)		Corrales 2013 <i>M. plantanus</i> (µg g-1)		Franco & león 2012 <i>M. incilis</i> (µg g-1)		Fernandes et al 2007. <i>Liza saliens</i> (mgkg-1)		Dural et al 2006 <i>Mugil cephalus</i> (µg g-1)	
			Espectrometría de absorción atómica		Espectrometría de absorción atómica		Espectrometría de absorción atómica con vapor frío		Espectrometría de fluorescencia de rayos x		Espectrometría de absorción atómica		Espectrometría de absorción atómica		Espectrometría de absorción atómica	
	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Zn	Cu
Músculo	48,7 ± 4,5	458 ± 312,5	----	48,8 ± 3,92	---	3,57	0,51	17,36	2,7	20,9	20,21	9,12	2,64	---	42.2±16,01	---
Branquias	184,9 ± 222,2	716,4 ± 857,9	----	----	0,81	64,61	-----	----	----	----	----	---	253,68	---	----	---
Hígado	2687,75 ± 3026,8	396,25 ± 349,0	----	52,0 ± 4,14	0,94	11,27	---	---	2330,7	359,6	524,17	41,99	---	---	125,7±6,45	---

9.4.1 Factor de Bioacumulación

El FB más alto (77,6) para cobre se presentó en el hígado y para Zn (4,48) se encontró en las branquias. El musculo por su parte presentó los más bajos valores. Los altos valores para Cobre pueden estar asociados a la proteína metalotioneina, puesto que el 36% del cobre en el hígado está ligado a la metalotioneina (Ribas 2010). Estos resultados son similares a los reportados por Fernandes 2007, Franco & León 2012 (Tabla 12). Las concentraciones de Zinc, se deben a que este se asocia principalmente con la materia en suspensión antes de acumularse finalmente en el sedimento Márquez *et al* 2008.

El Zinc mostró bioacumulación para los tres tejidos correspondientes al muestreo 3 y no reveló ninguno tipo de bioacumulación para los tejidos del muestreo 4, demostrando de esta forma que los individuos de mayor talla son los que mayor concentran metales traza (Vergara & Rodríguez 2015; Bermeo & Céleri 2016). Además, se encontró que el FB del Zn tiene una correlación positiva ($r= 0,848^*$), con el Zn presente en el sedimento, lo cual indica que la fuente de bioacumulación de este metal sería los biodisponibles en el sedimento, por el contrario, el Cu no tiene una asociación significativa ($r= 0,419$), indicando que este metal podría estar siendo bioacumulado de una fuente alóctona. (Anexo 13).

Tabla 12. Comparación del Factor de Bioacumulación con otros estudios, utilizando los peces como bioindicador.

Órgano	Este estudio		Barros et al 2016 <i>Lutjanus synagris</i> y <i>L. vivanus</i>		Fernandes et al 2007 <i>Liza saliens</i>		García & Luque 2008 <i>Mugil incilis</i>		Franco & León 2012 <i>Mugil incilis</i>	
	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
Músculo	0,78	1,55	--	5,6	3.17	10,72	5,19	1,085	2,41	0,15
Branquias	2,97	2,43	--	--	10.34	447,45	--	--	--	--
Hígado	43,21	1,34	--	--	304.9	36,3	--	--	62,55	0,69

10 CONCLUSIÓN

- Las concentraciones de metales trazas Cu y Zn, están siendo bioacumulados por el pez *M. incilis*. El Cu es bioacumulado en el tejido hepático y branquial y el Zn ha sido bioconcentrado por los tres tejidos.
- La fuente de bioacumulación de cobre no es el sedimento, debido a que, según el índice de correlación de Pearson, no se presenta asociación entre el Cu encontrado en el sedimento y en el pez *M. incilis*. Por otro lado, el Zn si presenta una relación, por lo cual una posible fuente sea el sedimento.
- Las concentraciones de Cu y Zn (Tabla 6) halladas en la ciénaga de los Manatíes no se relacionan con el contenido de materia orgánica y las partículas finas del sedimento; lo cual puede indicar que las altas concentraciones encontradas en las E1 y E2 tienen un origen alóctono.

11 RECOMENDACIONES

Realizar estudios donde se involucren otras variables que influyan en la bioacumulación de metales pesados en sedimentos y organismos, con el fin de determinar la fuente alóctona que está influyendo en las concentraciones de los metales traza.

Mejorar el acceso a la ciénaga de los manatíes, puesto que sus orillas están ocupadas por sitios turísticos privados. Que no permiten el fácil acceso de la comunidad Atlánticense y de los investigadores.

12 BIBLIOGRAFÍA

- ALVARADO C. Análisis multielemental de fertilizantes (mezclas físicas) por Fluorescencia de Rayos X por Reflexión Total, Guatemala, 2013, Informe de tesis, Universidad de san Carlos de Guatemala, Facultad de ciencias Químicas y Farmacia.
- AL-YOUSUF, M, El-Shahawi M, Al-Ghais S. Trace metals in liver, skin and muscle of *Lethrinus lentjan* fish species in relation to body length and sex. *The science of the Total Environment*. 2000; 256:87-94.
- ARELLANO, J.M, Storch, V, Sarasquete, C. Histological changes and copper accumulation in liver and gills of the senegales sole, *Solea senegalensis*. *Ecotoxicol Environ*. (1999); 44, 62–72.
- ARGOTA, G, H Argota, D Larramendi, Y Mora, R Fimia, J Lannacone. Histología y química umbral de metales pesados en hígado, branquias y cerebro de *Gambusia punctata* (Poeciliidae) del río Filé de Santiago de cuba. 2012, REDVET: Revista Electrónica de Veterinaria, Vol 13, núm. 5.
- AGUILERA, A, E Andrade. Moluscos bentónicos asociados al sedimento superficial de la ciénaga de mallorquín, Atlántico– Colombia. 2014, Trabajo de grado, Universidad del Atlántico.
- AGUILAR, P. Variación estacional de parámetros ambientales e hidrobiológicos de la laguna Chacmochuch, Quintana Roo, 2015, Tesis de posgrado, Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- AHUMADA, R, L Gerli, I Sánchez, E Fernández. Metales trazas en aguas costeras y organismos de canales y fiordos australes, Valparaíso, 2006, trabajo de grado, Universidad Católica de Valparaíso, pp. 45-49.
- AHUMADA, R. Nivel de concentración e índice de bioacumulación para metales pesados (Cd, Cr, Hg, Ni, Cu, Pb, y Zn) en tejidos de invertebrados

bénticos de bahía San Vicente, Chile, Rev. Biol. Mar. (1994), Valparaíso, 29(1): 77-87.

- ÁLVAREZ A, R Aru, M Barrero, E Gonzales, & G Sepúlveda. Estudio biogeoquímico del embalse suata, Venezuela, de acuerdo con el contenido metálico de sus sedimentos de fondo, aguas y peces. 2012, ACI: VOL. 3(1).
- ALBIERI, R, F Araujo. Reproductive biology of the mullet *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) in a tropical Brazilian bay. 2010 ZOOLOGIA 27 (3): 331–340.
- ARELLANO, J, J Ortiz, D Capeta, Da Silva, M Gonzales, C Sarasquete, J Blasco. Levels of copper, zinc, manganese and iron in two fish species from salt marshes of Cadiz Bay (southwest Iberian Peninsula). 1999, Bol. Inst. Esp. Oceanogr. 15 (1-4). 485-488
- ANSARI, TM, Marr IL, Tariq N. Heavy Metals in Marine Pollution Perspective- A Mini Review. 2004, Journal of Applied Sciences 4:1-20
- BAUTISTA, F. Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. Yucatán, 1999, Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- BARROS, O, C Argumedo, J Marrugo. Metales pesados (Pb, Cd, Ni, Zn, Hg) en tejidos de *Lutjanus synagris* y *Lutjanus vivanus* de la Costa de La Guajira, Norte de Colombia. 2016 Veterinaria y Zootecnia, Vol. 10, No:2.
- BERMEJO, J, A Céleri. Cuantificación de la cantidad de metales pesados presentes en dos especies de peces (*Oncorhynchus mykiss* y *Cyprinus carpio*), y su relación con edad y tamaño en el embalse Daniel Palacios Proyecto Hidroeléctrico Paute- Molino. 20016, trabajo de grado; Universidad del AZUAY.
- BEDOYA, C. Caracterización de la pesquería artesanal, en la laguna de navío quebrado, departamento de la Guajira, Caribe-Colombia. 2004, Trabajo de grado, Universidad Jorge Tadeo Lozano.

- BENEDETTI, J, G Albano, L Mola. Histomorphological changes in some organs of the brown bullhead, *Zctalurus nebulosus* LeSueur, following short- and long-term exposure to copper, *J. Fish Bid.* 1989, 34, 273-280.
- BOLAÑO, L, M Cárdenas, F Vásquez. Anélidos poliquetos de fondos blandos de las zonas mesolitoral e infralitoral del Golfo de Morrosquillo y su relación con parámetros físicos durante el periodo comprendido entre octubre de 2003 a marzo de 2004. 2005, Univ. Del Atlántico. Col.
- BOY, A. Determinación de metales pesados en agua, peces, almejas e *Hydrilla verticillata* del lago Izabal. 2015, Trabajo de grado, Universidad de San Carlos Guatemala.
- BORJA, G, I Dilia, V Olivero. Evaluación de parámetros de infección parasitaria y lesiones hispatológicas producidas por *Ascocotyle longa* (*Phagicola longus*, Ranson, 1920) en hígado de lisas (*Mugil incilis*) de la bahía de Cartagena. 2009, Universidad de Cartagena.
- BUSTOS, D, A Santafé, M Grijalva, A Jáuregui, A Franco, A Sanjuán. Bioecología de la lisa (*Mugil incilis* Hancock) en la bahía de Cispatá, Caribe Colombiano. 2012, Bol. Invest. Mar. Cost. 41 (2) 447-461.
- CALDERÓN, C, J Valdés. Contenido de metales en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge, Antofagasta, Chile. 2012, Revista de Biología Marina y Oceanografía Vol. 47, N°1: 121-133.
- CASTRO, F, J Marín. comparison of heavy metal ecotoxicity on heterotrophic bacteria from two contrasted sites at the lake. Maracaibo (Venezuela), 2018, Facultad de ciencias básicas, Vol. 14 (1), 1- 10.
- CAPÓ, M. Principio de ecotoxicología. 2007, Editor Tébar, pág. 139.

- CAMPOS, N. La contaminación por metales pesados en la ciénaga grande de santa marta, Caribe Colombia. 1990, *Caldasia* 16 (77): 231-244.
- CAMPOS N. Concentraciones de metales traza en *Ariopsis bonillai* (Pisces: Siluriformes) de Santa Marta, Caribe colombiano. 1992 *Rev. Biol. Trop.*, 40 (2): 179-183.
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico(CRA) 2007. Documentación del estado de las cuencas hidrográficas en el departamento del atlántico.
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico(CRA) 2012. Plan de acción 2012-2015.
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico(CRA) 2015. Monitoreo fisicoquímico, microbiológico e hidrobiológico sobre la calidad y estado de los cuerpos de agua, las fuentes hídricas del departamento del Atlántico y la caracterización de los humedales sabanagrande, santo tomas y palmar de Varela en cumplimiento de lo establecido en el plan de acción institucional 2012 - 2015 informe final.
- CORRALES, D, Acuña A, Salhi M, Saona G, Odino R. Metales pesados en dos especies de peces de la zona costera de Montevideo. 2013, Universidad de la Republica Uruguay.
- COBELO, A, Labandeira A, Prego R. Dos casos opuestos en la acumulación de metales en el sedimento de una ría: Ferrol y Corme-Laxe (Galicia, NO Península Ibérica). 2005, *Ciencias Marinas*, 31(4), 653–659.
- Corporación autónoma regional del Atlántico, plan de acción cuatrienal PAC 2016-2019. Síntesis ambiental- versión preliminar 2016.
- CONTRERAS, J, C Mendoza, A Gómez. Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del Río Haina. 2004, *Ciencia y Sociedad*, vol. 29, núm. 1, pp. 38-71.

- CHAVEZ, S, A Álvarez. Batimetría, sedimentos y ambientes de depósito en la laguna costera de Guásimas Sonora, México. 2006, Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, N: 60, 7-21.
- CHUI, H, B Miramira, P Olivera, J Jacay. Determinación de metales pesados en sedimentos del río Chillón mediante la técnica de fluorescencia de rayos X. 2009, Rev. Per. Quím. Ing. Quím. Vol. 12 N.º 2. Págs. 9-14
- DURAL, M, Lugal M, Akif A, Derici B. Bioaccumulation of some heavy metals in different tissues of *Dicentrarchus labrax* L, 1758, *Sparus aurata* L, 1758 and *Mugil cephalus* L, 1758 from the CamLik lagoon of the eastern coast of mediterranean (turkey). 2006, Environmental Monitoring and Assessment. 118: 65–74
- DELGADO, J. Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca baja del río Guadiana. 2012, Tesis y trabajos fin de Master. Universidad de huelva. Pág. 3.
- FRANCO A, I León. Bioacumulación de metales traza en *Mugil incilis* (Hancock, 1830); una herramienta útil para el biomonitorio de la contaminación metálica en el litoral costero del departamento del atlántico, Colombia. 2012, Costas - Vol. 1 - N.º.1.
- FRANCO A. Determinación de las concentraciones de metales pesados (Pb, Cd, Cu, Zn) en sedimentos y organismo de interés comercial (*Corbula caribaea*) de la zona superficial submareal de la ciénaga de mallorquín-atlántico. 2007, Trabajo de grado de biología, Univ. Atl. BQA.
- FRANCO A, León I. Geoquímica y concentraciones de metales pesados en un organismo de interés comercial (*Corbula caribaea*. D'orbigny, 1842) en la zona submareal superficial de la ciénaga de Mallorquín-Atlántico. 2012, *Boletín Científico CIOH*, 83(28), 69–83.

- FUENTES F, J Pinedo, J Marrugo. Metales pesados en especies ícticas de la ciénaga de mallorquín, Colombia. 2018, Revista espacios vol. 39.
- FERNANDES, C, A Fontáinhas, F Peixoto. Salgado Bioaccumulation of heavy metals in *Liza saliens* from the Esmoriz–Paramos coastal lagoon, Portugal. 2007, Elsevier. 426-431.
- FERNANDEZ, I. contenido de metales pesados tóxicos, macroconstituyentes, microconstituyentes y elementos traza en la cabrilla *Serranus cabrilla* (Linnaeus 1758). 2017, Universidad de la laguna.
- FUENTES, F, J Pinedo, J Marrugo, S Díez. Human health impacts of exposure to metals through extreme consumption of fish from the Colombian Caribbean Sea. 2016, Environmental geochemistry and health, 1-14.
- GALVAN, B, J Olivero. Evaluación de parámetros de infección parasitaria y lesiones histopatológicas producidas por *Ascocotyle longa* (*Phagicola longus*, Ranson, 1920) en Hígado de Lisas (*Mugil incilis*) de la Bahía de Cartagena. 2009, Biblioteca digital, Universidad de Cartagena.
- GALLEGO, S. Evaluación de metales pesados (mercurio, plomo y cadmio) en material de descarte de jurel (*Caranx hippos*) en el golfo de Urabá, Caribe Colombiano, como posible materia prima en la elaboración de subproductos. 2016.]
- GARCÍA, A, M Luque. Análisis de metales pesados (Cr, Fe, Zn, Cd y Pb) en el tejido muscular de la mojarra rayada *Eugerres plumieri* y en la Lisa *Mugil incilis* de la ciénaga de Mallorquín, Atlántico. 2008, Trabajo de grado. Universidad del Atlántico, Barranquilla.
- GARCÍA, J, C Díaz, P Morales. Concentración de metales en sedimento y su relación con los patrones de deposición en la presa José Antonio Álzate, Estado de México. 2003, Ingeniería hidráulica en México, vol. XVIII, N:4, pp. 59-71.

- GÁMEZ, D. variación espacio-temporal en la alimentación de los peces en la zona suroriental de la ciénaga grande de santa marta - Colombia. 2011, Trabajo de grado, Universidad de Zulia-Venezuela.
- GARCÍA, J, C Díaz, P Morales. Concentración de metales en sedimentos y su relación con los patrones de deposición en la presa José Antonio Álzate, estado de México. 2003, Ingeniería hidráulica de México, Vol. XVIII, núm. 4, pp. 59-71.
- GÓMEZ, A, P Magaña. Papel de cromo y del zinc en el metabolismo de la insulina. 2004, Revista médica del IMSS, vol. 42,4.
- GONZÁLES, C, A Vallarino, J Pérez, A Low. Bioindicadores, Guardianes de nuestro futuro ambiental, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2014.
- GUIÑEZ, M, J Valdés, A Castillo. Contenido de metales en sedimentos y en *Emerita analoga* (Stimpson, 1857), en bahía Mejillones del sur, Chile. 2015, Latin America Journal of Aquatic Research, Vol.43, núm.1 pp. 94-106.
- GUITIÁN, F, Carballas T. Técnicas de Análisis de Suelos. 2006, Santiago de Compostela: Pico Sacro; 288p.
- GUTIÉRREZ, M, I Ranz. Utilización de un equipo portátil de fluorescencia de rayos X para el estudio de metales pesados en suelos: Puesta a punto y aplicación a vertederos. 2010, Universidad de Alcalá.
- HAUSER, R, I Bordon T, Oliveira R. Metal bioaccumulation in edible target tissues of mullet (*Mugil liza*) from a tropical bay in Southeastern Brazil. 2016, Elsevier. 38-43
- HARRISON, I. Mugilidae. Addendum to Volume 8. Part 1. In P.J. Miller (eds.), The Freshwater Fishes of Europe, Wiebelsheim. 2004, Germany, AULA-

Verlag 8 (2), 469-471.

- HARRISON, I. Family Mugilidae, Species identification guide for fishery purposes the living marine resources of the Weatern. 2002, Central Atlantic Vol. 2. Fao, Roma, p. 1071-1085.
- HETTICH, S, A Wibbertmann 2001. Criterios de salud ambiental, visto en línea: [Http://www.inchem.org/pages/ehc.html](http://www.inchem.org/pages/ehc.html).
- HERRERA, J, J Rodríguez, J Coto, V Salgado, H Borbón. Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. 2013, Tecnología en Marcha, 28 Vol. 26, N° 1.
- INVE-121-07. Determinación del contenido orgánico en suelos mediante perdida por ignición, Instituto nacional de vías.
- INVEMAR, 2007. Ordenamiento Ambiental de la Zona Costera del Departamento del Atlántico. Informe Final. Editado por Ángela López Rodríguez. Santa Marta.
- INVEMAR, 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (agua, sedimento y organismos).
- IBAÑEZ, J. Los Suelos de un Manglar y su Degradación: Repercusiones sobre el Secuestro de Carbono, blogs Madrid. 2010.
- KARADEDE, H, Ahmet S, Ünlü E. Heavy metals in mullet, *Liza abu*, and catfish, *Silurus triostegus*, from the Atatürk Dan Lake (Euphrates), Turkey. 2004, Environmental International 30, 183-188.
- Lagunas costeras. Visto en línea el 11 de junio de 2016.

- LEMUS, M, S chung, J Chópite. Efecto de la temperatura sobre la acumulación y depuración de cobre en tejidos de juveniles de *Petenia kraussi* (Steinhdachner, 1887) (Pisces: Cichlidae). 1992, saber Vol 9.
- LEÓN, I, Méndez G, Rubio B. Fases geoquímicas del Fe y grado de piritización en sedimentos de la Ría de Pontevedra (NO de España): implicaciones del cultivo del mejillón en bateas. 2004, Ciencias Marinas 30(4), 585-602.
- LEÓN, L, S Padilla. Geoquímica y contaminación por metales pesados (Fe, Cu, Pb y Zn) en sedimentos superficiales intermareales y submareales en la ciénaga de mallorquín (Barranquilla-Colombia). 2008, Pág.16.
- LEYTON, S, E Muñoz, M Gordillo, G Sánchez, L Muñoz, A Soto. Estimación del Factor de Condición de Fulton (K) y la relación longitud-peso en tres especies ícticas presentes en un sector sometido a factores de estrés ambiental en la cuenca alta del río cauca. 2015, Rev. Asoc. Col. Cienc. (Col.), 27: 24-31.
- LÓPEZ, N, J Borrego, B Carro, O Lozano. Bioavailability of Fe and heavy metals in sediments from the Ria of Huelva (South-Western Spain). 2005, Geogaceta, 37. 219-222.
- LLANO, M. Dinámica sedimentaria de la laguna de punta de piedras I: Época de mareas mínimas. Sociedad de ciencias naturales la Salle. 1997, Tomo XLVII, N: 127-128.
- MANCERA, J, Álvarez R. Current state of knowledge of the concentration of mercury and other heavy metals in fresh water fish in Colombia. 2006, *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 3–23. Visto <http://doi.org/doi.org/toc/1900-1649/11/0>
- MADRID, G, L Gracia, J Marrugo, I Urango. Genotoxicidad de metales pesados (Hg, Zn, Cu, Pb y Cd) asociado a explotaciones mineras en pobladores de la cuenca del río San Jorge del departamento de CÓRDOBA,

COLOMBIA. 2011, Rev. Asoc. Col. Cienc. (Col.), 23: 103-111.

- MÁRQUEZ, A, W Senior, I Fermín, G Martínez, J Castañeda, A Gonzales. Cuantificación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces y crustáceos de la laguna de Unare. 2008,
- MARRUGO, J. Evaluación de la contaminación por metales pesados en la ciénaga la Soledad y bahía de cispatá, cuenca del bajo sinú, departamento de córdoba. 2011, Proyecto presentado para la convocatoria interna de la universidad de córdoba.
- MARCOVECCHIO, J. The use of *Micropogonias furnieri* and *Mugil liza* as bioindicators of heavy metals pollution in La Plata river estuary, Argentina. 2004, Elsevier. 219–226
- MANGONES, A, I León. Elementos nutritivos la clorofila a y su relación con las variables físico químicas en la ciénaga Mallorquín, Colombia. 2014, Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, 53 (2): 127-141.
- MÁRMOL, D, E Viloría, J Blanco. Efectos de la pesca sobre la biología reproductiva de la lisa *mugil incilis* (pisces: mugilidae) en la ciénaga grande de santa marta, caribe colombiano. 2010, Bol. Invest. Mar. Cost. 39 (2) 215-231.
- MARGALEF, R. Comunidades planctónicas en lagunas litorales. En Ayala-Castañares & Phleger (ed.) Lagunas costeras. Mem. Simp. Intern. Lagunas costeras. 1996, UNAMUNESCO. México D.F.: 545-562.
- MARTÍNEZ, G. Metales pesados en sedimentos superficiales del golfo de cariacó, Venezuela. 2002, Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela, Univ. Oriente 41 (1&2): 83-96.
- MEDINA K, Y Montano. Determinación del factor de bioconcentración y translocación de metales pesados en el *Juncus arcticus* willd. y *Cortaderia*

rudiuscula stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero alianza – ANCASH. 2014, tesis de grado, Universidad Nacional.

- MELÉNDEZ, C, A Camacho. Espectrometría de fluorescencia de rayos x, Aventuras del pensamiento. 2009.
- MENDOZA, E. Evaluación del índice de disponibilidad de elementos nutritivos a diferentes niveles de altitud en el distrito de Jangas, provincia de Huaraz, Departamento de Ancash. 2017, trabajo de grado, Universidad Nacional.
- MZIMELA, H, V wepener, D Cyrus. Seasonal variation of selected metals in sediments, water and tissues of the groovy mullet, *Liza dumerelii* (Mugilidae) from the Mhlathuze Estuary, South Africa. 2003, Marine Pollution Bulletin. 659-676.
- MOLINA, C, C Ibañez, F Gibon. Proceso de biomagnificación de metales pesados en un lago hipersalino (Poopó Oruro, Bolivia): Posible riesgo en la salud de consumidores. 2012, Rev. Scielo 47 (2), 99-118.
- NARVÁEZ, J, F Herrera, J Blanco. efecto de los artes de pesca sobre el tamaño de los peces en una pesquería artesanal del caribe colombiano. 2008, Bol. Invest. Mar. Cost. 37 (2) 163-187
- ORTEGÓN, L, Henao B, Guio A, Peláez C. Efectos genotóxicos de los contaminantes ambientales, en peces de importancia comercial del río Magdalena, en el departamento del Tolima. 2014, *Revista Tumbaga*, (53), 21–53.
- OSORIO, D. Ecología trófica de *Mugil curema*, *M. incilis* y *M. liza*. (Pisces: Mugilidae). En la ciénaga grande de santa marta, Caribe colombiano. I. Análisis cualitativo y cuantitativo. 1988, Invemar, 18 (113-126).

- OLIVERO, J, B Arroyo, G Manjarrez. Parasites and hepatic histopathological lesions in lisa (*Mugil incilis*) from Totumo mash, North of Colombia. 2013, Rev.MVZ Córdoba 18(1).
- OLIVARES, H, R Muñoz, D Carvajal, M Mukarker, G Lobos. Evaluación de la genotoxicidad de las aguas costeras de Chile central sobre los peces *Mugil cephalus* y *Odontesthes brevianalis*.2014, Hidrobiológica 24 (3): 271-279.
- PADILLA, k, I León. Formas químicas de los metales pesados (Fe, Pb, Cu y Zn) y su relación con los macroinvertebrados bentónicos asociados al sedimento superficial de la ciénaga de mallorquín. 2005.
- PÁJARO, D, P Sánchez. Evaluación de las concentraciones de Metales Pesados (Cd Y Pb) en especies ícticas comercializadas en la plaza del pescado de la ciudad de Barranquilla y riesgo potencial para la salud humana. 2016, trabajo de grado, universidad CUC.
- PEDRAZA, L. Análisis de metales pesados (Zn-Cu-Cd-Fe-Cr) en la almeja *Tivela mactroides* (Born, 1778) en la ciénaga de mallorquín del departamento del atlántico. 2009, Trabajo de grado, universidad del Atlántico.
- PEÑA, V. Evaluación de la concentración de plomo y cadmio en suelo superficial de parques y plazas públicas, en tres municipios del área metropolitana de monterrey, nuevo león, México. 2014, Universidad autónoma de nuevo león. Pág. 160.
- PÉREZ, T, Pouilly M. Bioacumulación y biomagnificación del mercurio en los peces de la cuenca Itenez. Horizon pleins textes. 2008, <https://www.uprm.edu/biology/public/public/profs/massol/manual/p2-ph.pdf>
- PÉREZ, M, Martínez G, I Fermín. Biodisponibilidad de metales traza en sedimentos superficiales del ecosistema lagunar costero bocaripo-chacopata (península de Araya, estado Sucre). 2006, Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela,

Univ. Oriente 45 (2): 81-91.

- POSTMA, H. Sediment, transport and sedimentation in the marine environment. 1969, en Lauff, G.H. E-ctuarirs, AAAS n. O83: 158-179.
- RUIZ, L, A vallejo. Parámetros De Infección Por Nematodos De La Familia Anisakidae Que Parasitan La Lisa (*Mugil Incilis*) En La Bahía De Cartagena (Caribe Colombiano). 2013, Rev. intropica, 53-60.
- RIBAS, B. Metalotioneína y algunos elementos minerales como bioindicadores en toxicología y clínica. 2010, Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia.
- ROSA, C, J Marrugo. Efectos genotóxicos asociados a metales pesados en una población humana de la región de La Mojana, Colombia, 2013. 2015, Biomédica 139-51.
- SCHMIDT, H, D Bernet, T Wahli, W Meier, P Burkhard. Active biomonitoring with brown trout (*salmo trutta*) and rainbow trout (*oncorhynchus mykiss*) in diluted sewage plant effluents Journal of Fish Biology. 1999, 54 (3). pp. 585-596.
- SAMY, A. Leyton F, E, Muñoz, M, Gordillo, G, Sánchez, L, Muñoz, A, Soto. Estimación del factor de condición de Fulton (k) y la relación longitud-peso en tres especies ícticas presentes en un sector sometido a factores de estrés ambiental en la cuenca alta del río cauca. 2015, Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas.
- SANCHEZ, C, M Rueda, A Santos. Dinámica poblacional y pesquería de la lisa *Mugil incilis*, en la ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano. 1998, Rev. Acad. Colomb. Cienc. 22(83): 507-517.

- SALAMANCA, M, B Jara, T Rodríguez. niveles de Cu, Pb y Zn en agua y *perumytilus purpuratus* en bahía San Jorge, norte de Chile. 2004, Gayana (Concepc.) v.68 N.1
- SALAZAR, R, T Pérez. Análisis de metales pesados (Zn, Cu, Pb y Cd) en raíces y sedimentos asociados al mangle rojo *Rhizophora mangle*, en la Ciénaga de Mallorquín - Departamento del Atlántico- Colombia. 2014, Trabajo de grado, Universidad del Atlántico.
- SOSA, R, G Gaxiola, A Olivos, L Silva. Nutrientes inorgánicos y producción del fitoplancton en una laguna costera subtropical de México. 2013, Revista de Biología Marina y Oceanografía, Vol. 48, Nº1: 143-154.
- SUAMI, R, Sivalingam P, Kabala C, Otamonga J, Mulaji C, Mpiana P, Poté J. Concentration of heavy metals in edible fishes from Atlantic Coast of Muanda, Democratic Republic of the Congo. 2018, Elsevier. 1-9
- Schuhmacher M., Domingo J., orbella J., Bosque M. Heavy metals in marine species from the Terragona Coast, Spain. 1992, J Environ Sci Health A;27(7):1939-1948.
- TESSIER, A, Campbell P. Partitioning of trace metals in sediments. Metal speciation: theory, analysis and application, Kramer, J, Allen, H. (Eds.). 1988, Lewis Publishers Inc., USA, 181-199.
- TAPIA, F, J Herrera-Silvera y M, Aguirre-Macedo. Water quality variability and eutrophic trends in karstic tropical coastal lagoons of the Yucatán Peninsula. 2008, Estuarine coastal and Shelf Science, 76: 418-430.
- USERO, J, C Izquierdo, J Morillo, I Gracia. Heavy metals in fish (*Solea vulgaris*, *Anguilla anguilla* and *Liza aurata*) from salt marshes on the southern Atlantic coast of Spain. 2003, Environment International 29 (2003) 949– 956.

- USERO, J. Estudio de la calidad ambiental de los sedimentos de las bahías de Cádiz y Algeciras mediante un método integrado. 2015, proyecto de grado, Universidad de Sevilla.
- VALAREZO, M. Determinación de metales pesados (Cd y Pb) en moluscos bivalvos de interés comercial de cuatro esteros del golfo de Guayaquil. 2010, Tesis de grado, universidad de Guayaquil facultad de ciencias naturales.
- VANESSA, A, C Lodeiros. Metales pesados en la almeja *Tivela Mactroides* Born, 1778 (Bivalvia: Veneridae) en localidades costeras con diferentes grados de contaminación en Venezuela. 2004, Redalyc. Vol 30
- VERGARA, E, P Rodríguez. Presencia de mercurio, plomo y cobre en tejidos de *Oreochromis niloticus*: sector de la cuenca alta del Rio Chicamocha, vereda Volcán, Paipa, Colombia. 2015, Producción + limpia Vol 10. No 2-114—126.
- YILMAZ, A. Levels of heavy metals (Fe, Cu, Ni, Cr, Pb, and Zn) in tissue of *Mugil cephalus* and *Trachurus mediterraneus* from Iskenderun Bay, Turkey. 2003, Environmental Research.
- YILMAZ, F, N Ozdemir, A Demirak, L Tuna. Heavy metal levels in two fish species *Leuciscus cephalus* and *Lepomis gibbosus*. 2007, ELSEVIER 830-835.
- ZAPATA, L, J Usma. Guía de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia peces. 2013, Ministerio de Ambiente y Desarrollo, Vol 2, Pág. 138.
- ZEVALLOS, S. Calidad de agua, Bioacumulación de metales pesados y niveles de estrés en la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en challhuahuacho Apurímac. 2018, tesis de grado; Universidad Peruana Cayetano Heredia.

- ZORRILLA, M. Estado del arte sobre la presencia de metales pesados en tejidos y agallas de peces. 2011, trabajo de grado, Universidad Autónoma de Occidente.
- ZHOU, Q, J Zhang, J Fu, J Shi, G Jiang. Biomonitoring: An appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. 2008, Analytica Chimica Acta 606:135-150.

13 ANEXO

Anexo 1. Pez Mugil incilis, capturado en la ciénaga de Los Manatíes-Atlántico.



Anexo 2. Recolección de muestras de sedimento.



Anexo 3. Faena de pesca, por medio de una atarraya en la ciénaga de Los Manatíes-Atlántico.



Anexo 4. Eliminación de la materia orgánica mediante la utilización de peróxido de hidrogeno (35%).



Anexo 5. Determinación del porcentaje de MOT.



Anexo 6. Límite de detección del equipo, para cada muestreo.

	LLDCu	LLDZn
M1	4,5	3,9
M2	4,7	4,1
M3	5,6	4,8
M4	6,2	4,8

Anexo 7. Límite de detección del equipo, para cada tejido en los dos muestreos.

	M3 LLDCu	M3 LLDZn	M4 LLDCu	M4 LLDZn
Musculo	34	31	12,4	11
Branquias	61	55,3	24,3	21,6
Hígado	31	27,3	22,3	19,3

Anexo 8. test de normalidad de shapiro wilk, para las variables evaluadas.

	pH	Temperatura °C	Salinidad (UPS)	MOT	Arena	Fango
N	16	16	16	16	16	16
Shapiro-Wilk W	0,8888	0,8956	0,9626	0,7872	0,8117	0,8117
p(normal)	0,0534	0,0685	0,7093	0,001851	0,003906	0,003906
Jarque-Bera JB	1,512	2,189	0,7343	2,23	1,745	1,745
p(normal)	0,4695	0,3347	0,6927	0,3279	0,418	0,418
p(Monte Carlo)	0,1846	0,0959	0,5491	0,0897	0,1328	0,1382
Chi^2	0,5	1,5	0	10	8	8
p(normal)	0,4795	0,22067	1	0,0015654	0,0046777	0,0046777
Chi^2 OK (N>20)	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Anderson- Darling A	0,6156	0,6538	0,1676	1,444	1,233	1,233
p(normal)	0,08997	0,07151	0,9216	0,0006332	0,002223	0,002223

Anexo 9. Test de tukey para la variable pH.

pH	M1	M2	M3	M4
M1		0,8229	0,0001992	0,002824
M2	1,222		0,0001993	0,01195
M3	15,96	14,74		0,000303
M4	6,587	5,365	9,372	

Anexo 10. Test de tukey para la variable salinidad.

SALINIDAD	M1	M2	M3	M4
M1		0,0007782	0,9008	0,003412
M2	7,873		0,001995	0,0001994
M3	0,969	6,904		0,001213
M4	6,419	14,29	7,388	

Anexo 11. Test de tukey para la variable temperatura.

TEMPERATURA	M1	M2	M3	M4
M1		0,8116	0,02441	0,01243
M2	1,255		0,1114	0,05798
M3	4,784	3,529		0,9793
M4	5,333	4,078	0,549	

Anexo 12. Batimetría por meses de muestreo en la CM.

Profundidad (m)	Min-Max	Promedio-DS
Octubre	0,66-1,24	0,85 ± 0,27
Noviembre	0,65-1,11	0,81 ± 0,21
Diciembre	0,47-0,68	0,56 ± 0,09
Enero	0,41-0,75	0,55 ± 0,14

Anexo 13. Coeficiente de correlación de Pearson de las variables del sedimento y de la especie.

	Cobre	Zinc	FBCu	FBZn	F Condición K	CuS	ZnS	MOT	Arena	Fango	
Cobre	Correlación de Pearson	1	,142	,999**	,143	-,441	,441	,441	-,441	,441	-,441
	Sig. (bilateral)		,788	,000	,787	,381	,381	,381	,381	,381	,381
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Zinc	Correlación de Pearson	,142	1	,106	1,000**	-,848*	,848*	,848*	-,848*	,848*	-,848*
	Sig. (bilateral)	,788		,842	,000	,033	,033	,033	,033	,033	,033
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
FBCu	Correlación de Pearson	,999**	,106	1	,106	-,419	,419	,419	-,419	,419	-,419
	Sig. (bilateral)	,000	,842		,841	,409	,409	,409	,409	,409	,409
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
FBZn	Correlación de Pearson	,143	1,000**	,106	1	-,848*	,848*	,848*	-,848*	,848*	-,848*
	Sig. (bilateral)	,787	,000	,841		,033	,033	,033	,033	,033	,033
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
F Condición K	Correlación de Pearson	-,441	-,848*	-,419	-,848*	1	-1,000**	-1,000**	1,000**	-1,000**	1,000**
	Sig. (bilateral)	,381	,033	,409	,033		,000	,000	,000	,000	,000
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

CuS

	Correlación de Pearson	,441	,848*	,419	,848*	-1,000**	1	1,000**	-1,000**	1,000**	-1,000**
	Sig. (bilateral)	,381	,033	,409	,033	,000		,000	,000	,000	,000
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
ZnS	Correlación de Pearson	,441	,848*	,419	,848*	-1,000**	1,000**	1	-1,000**	1,000**	-1,000**
	Sig. (bilateral)	,381	,033	,409	,033	,000	,000		,000	,000	,000
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
MOT	Correlación de Pearson	-,441	-,848*	-,419	-,848*	1,000**	-1,000**	-1,000**	1	-1,000**	1,000**
	Sig. (bilateral)	,381	,033	,409	,033	,000	,000	,000		,000	,000
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Arena	Correlación de Pearson	,441	,848*	,419	,848*	-1,000**	1,000**	1,000**	-1,000**	1	-1,000**
	Sig. (bilateral)	,381	,033	,409	,033	,000	,000	,000	,000		,000
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Fango	Correlación de Pearson	-,441	-,848*	-,419	-,848*	1,000**	-1,000**	-1,000**	1,000**	-1,000**	1
	Sig. (bilateral)	,381	,033	,409	,033	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral). * . La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

Anexo 14. Correlación de Pearson de las variables Físicoquímicas (pH, salinidad y temperatura) en la ciénaga de Los Manatíes- Atlántico.

		Cu	Zn	temperatura	Salinidad	pH
Cu	Correlación de Pearson	1	,025	-,585	-,266	-,595
	Sig. (bilateral)	--	,975	,415	,734	,405
	N	4	4	4	4	4
Zn	Correlación de Pearson	,025	1	,038	,107	-,697
	Sig. (bilateral)	,975		,962	,893	,303
	N	4	4	4	4	4
temperatura	Correlación de Pearson	-,585	,038	1	,936	-,032
	Sig. (bilateral)	,415	,962	--	,064	,968
	N	4	4	4	4	4
Salinidad	Correlación de Pearson	-,266	,107	,936	1	-,326
	Sig. (bilateral)	,734	,893	,064	--	,674
	N	4	4	4	4	4
pH	Correlación de Pearson	-,595	-,697	-,032	-,326	1
	Sig. (bilateral)	,405	,303	,968	,674	
	N	4	4	4	4	4

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Anexo 15. Drenajes de los centros recreacionales aledaños a la ciénaga.

