

Evaluación de los niveles de metales totales y materia orgánica, en sedimento superficial, de manglar asociado a la desembocadura del río Atrato y a la ensenada Río Negro - Antioquia Colombia

Margara Alquerque Camargo
Autor

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Walter Murillo Arango PhD
Asesor

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

2020

Resumen

Con el objetivo de determinar la calidad del sedimento (para la protección de la vida acuática) de manglares del golfo de Urabá, se cuantificó la concentración de materia orgánica y ocho metales (cadmio, cromo, níquel, mercurio, manganeso, aluminio, arsénico y plomo) en sedimento superficial de manglar asociado a la desembocadura del río Atrato y a la Ensenada de Río Negro. El muestreo se realizó en 8 estaciones (ensenada 1 y 2, Matuntugo, Bocas De Atrato, El roto, La Paila, Marirrio y Yerbasal), dos de ellas alejadas de la influencia del río y 6 asociadas a la desembocadura. En cada estación se tomaron muestras al inicio, en la mitad y al final de esta. Las concentraciones de los metales en los sedimentos superficiales se determinaron bajo la técnica de espectroscopia de absorción atómica y estuvieron entre los siguientes rangos (mg/kg): Cd (0,1044- 0,2896), Pb (0,2569- 1,1677), Hg (0,1032- 0,2176), Al (5219- 28497), Cr (33,2- 121,0), Ni (8,9- 37,9), As (2,0- 12,8), Mn (100- 576,4); siendo Matuntugo, Bocas De Atrato, Yerbasal y El Roto las parcelas donde generalmente se encontraron las mayores concentraciones y la ensenada 1 la parcela donde generalmente se encontró las menores concentraciones; la materia orgánica osciló entre 1,77% y 9,22%, siendo la ensenada 2, la estación donde se registró la mayor concentración.

En general, las concentraciones de los metales en los sedimentos de los manglares de la desembocadura del río Atrato y de la ensenada Río Negro están por debajo de los valores normativos y de guía a partir de los cuales existe un alto potencial de que sean tóxicos para la vida acuática. Sin embargo, en algunas estaciones se encontraron valores cercanos a estos límites.

Palabras clave: manglares, metales pesados, materia orgánica, contaminación.

Summary

In order to determine the quality of the sediment (for the protection of aquatic life) of mangroves in the Golfo de Urabá, the concentration of organic matter and eight metals (cadmium, chromium, nickel, mercury, manganese, aluminum, arsenic and lead) in superficial mangrove sediment associated with the mouth of the Atrato River and the Ensenada de Río Negro was quantified. The sampling was carried out in 8 stations (Ensenada 1 and 2, Matuntugo, Bocas De Atrato, El Roto, La Paila, Marirrio and Yerbasal), two of them far from the influence of the river and 6 associated with the mouth. At each station, samples were taken at the beginning, in the middle and at the end of this. The concentrations of the metals in the surface sediments were determined using the atomic absorption spectroscopy technique and were between the following ranges (mg/kg): Cd (0.1044-0.2896), Pb (0.2569-1, 1677), Hg (0.1032- 0.2176), Al (5219-28497), Cr (33.2- 121.0), Ni (8.9- 37.9), As (2.0-12 , 8), Mn (100- 576.4); Matuntugo, Bocas De Atrato, Yerbasal and El Roto being the plots where generally the highest concentrations were found and the Ensenada 1 the plot where generally the lowest concentrations were found; organic matter ranged between 1.77% and 9.22%, with Ensenada 2 being the station where the highest concentration was recorded.

In general, the concentrations of metals in the sediments of the mangroves at the mouth of the Atrato River and the Río Negro inlet are below the normative and guideline values, from which there is a high potential that they are toxic for aquatic life. However, in some stations values close to these limits were found

Keywords: mangroves, heavy metals, organic matter, contamination.

Dedicatoria

Dedicado a mis padres, fueron fuente de inspiración, motivación y resiliencia en momentos donde era difícil continuar, a mis hermanos por su constante apoyo y a mi esposo por motivarme y acompañarme durante todo el camino.

Agradecimientos

A Dios en primer lugar, por darme salud y ser mi luz en cada momento de oscuridad, a la corporación para el desarrollo sostenible del Urabá (CORPOURABA), por el apoyo económico y logístico para la ejecución de la propuesta, en especial al laboratorio de análisis de agua por poner sus recursos a la disposición del desarrollo de mi propuesta, y a la ingeniera Kelis Hinestroza por brindarme su asesoría y conocimientos relacionados, también quiero agradecer a mi asesor Walter Murillo por su guía en todo el proceso.

CONTENIDO

Resumen.....	ii
Summary.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	13
3. OBJETIVOS.....	16
3.1. Objetivo General.....	16
3.2. Objetivos específicos.....	16
4. JUSTIFICACIÓN.....	17
5. MARCO REFERENCIAL.....	19
5.1. METALES PESADOS.....	19
5.2. METALES PESADOS Y MATERIA ORGÁNICA EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS.....	19
5.3. MOVILIDAD DE LOS METALES Y FACTORES QUE AFECTAN SU CONCENTRACION.....	22
5.3.1. EFECTO DEL pH.....	22
5.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL.....	26
5.3.3. AGENTES OXIDANTES Y POTENCIAL REDOX.....	27
5.3.4. LA MATERIA ORGÁNICA.....	29
5.3.5. SALINIDAD.....	29
5.4. ECOTOXICIDAD DE LOS METALES.....	29
5.5. MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE METALES Y MATERIA ORGÁNICA..	35
5.5.1. espectrofotometría de absorción atómica por llama.....	35
5.5.2. Espectroscopia de absorción atómica electrotérmica.....	36
5.6. GUÍAS INTERNACIONALES RELACIONADAS A LA CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS.....	37
5.6.1. Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA).....	37
5.6.2. Documento de detección y evaluación de sedimentos contaminados del Estado de Nueva York División de Pesca, Vida Silvestre y Recursos Marinos Oficina de Hábitat.....	38

6. MARCO TEÓRICO	40
6.1. ANTECEDENTES	40
6.1.1. Metales en sedimento de ecosistemas acuáticos.....	41
6.1.2. Metales en sedimento de manglar.....	43
7. DISEÑO METODOLÓGICO	47
7.1. Área de estudio.....	47
7.2. MUESTREO	49
7.3. FASE DE LABORATORIO.....	52
7.3.1. Secado de las muestras	52
7.3.2. Tamizaje.....	52
7.3.3. Digestión.....	52
7.3.4. Cuantificación de metales pesados y materia orgánica.....	53
7.4. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS.....	55
7.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	55
8. RESULTADOS	56
8.1. CONCENTRACIÓN DE LOS METALES PESADOS Y MATERIA ORGÁNICA EN LOS DIFERENTES SITIOS DE MUESTREO:	56
8.2. RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES.....	57
8.3. NIVEL DE CONTAMINACION DE LOS MANGLARES.....	58
8.3.1. Nivel de contaminacion de los manglares por Cadmio.....	58
8.3.2. Nivel de contaminacion de los manglares por plomo.....	59
8.3.3. Nivel de contaminacion de los manglares por arsénico.....	60
8.3.4. Nivel de contaminacion de los manglares por mercurio	61
8.3.5. Nivel de contaminación de los manglares por níquel.....	62
8.3.6. Nivel de contaminación de los manglares por cromo	63
8.3.7. Nivel de contaminación de los manglares por manganeso.....	64
8.3.8. Nivel de contaminación de los manglares por aluminio	65
9. CONCLUSIONES.....	72
10. RECOMENDACIONES	74
11. BIBLIOGRAFÍA	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Movilidad de metales en función del pH.....	24
Tabla 2 Movilidad Relativa de los Metales Pesados en el Suelo	26
Tabla 3. Condiciones oxidantes y reductoras de los metales.....	28
Tabla 4. Niveles PEL y TEL (NOAA).....	37
Tabla 5. Valores guía de contaminantes en sedimentos - Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York División de Pesca, Vida Silvestre y Recursos Marinos.	39
Tabla 6. Resultados de metales en rio Magdalena - tramo Tolima.....	43
Tabla 7. Coordenadas puntos de muestreo	47
Tabla 8. Resultados de concentraciones promedio.	56
Tabla 9. Comparacion de resultados con investigaciones del país y extranjeras.	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Solubilización de metales en agua.....	23
Figura 2. Cambio en la concentración de un metal disponible con el pH.	25
Figura 3. Oxidación de los metales	27
Figura 4. Diagrama conceptual simple que ilustra las vías causales, desde las fuentes hasta las degradaciones, relacionadas con los metales.	31
Figura 5. Modelo conceptual de las posibles rutas de exposición de los organismos en los sedimentos contaminados	33
Figura 6. Modelo conceptual de los principales procesos contaminantes en sedimentos	34
Figura 7. Ubicación geográfica estaciones de muestreo.....	48
Figura 8. Ubicación de los puntos de muestreo en cada parcela.....	50
Figura 9. Toma de muestras	51
Figura 10. Manglar desembocadura Rio Atrato.....	51
Figura 11. . Gráfico de componentes principales	57
Figura 12. Comparación entre cadmio y niveles de referencia NOAA y guía estadounidense.....	58
Figura 13. Comparación entre plomo y niveles de referencia NOAA y guía estadounidense.....	59
Figura 14. Comparación entre arsénico y niveles de referencia NOAA y guía estadounidense.....	60
Figura 15. Comparación entre mercurio y niveles de referencia NOAA y guía estadounidense.....	61

Figura 16. Comparación entre níquel y niveles de referencia NOAA y guía estadounidense	62
Figura 17. Comparación entre cromo y niveles de referencia NOAA y guía estadounidense	63
Figura 18. Comparación entre manganeso y niveles de referencia de la USEPA para suelos contaminados.....	64
Figura 19. Concentraciones de aluminio.....	65
Figura 20. Concentraciones de MO.	67

1. INTRODUCCIÓN

Los manglares son considerados como uno de los ecosistemas costeros más productivos y con mayor biodiversidad en la tierra, suministran varios beneficios y juegan un papel indispensable en la sostenibilidad de los trópicos (Hogarth, 2007). De hecho, los manglares son considerados como los principales reservorios de biomasa y carbono aéreo en zonas marino-costeras; tanto tropicales como subtropicales (Adame *et al.*, 2013; Donato *et al.*, 2011, 2012; Kauffman *et al.*, 2011). De igual manera, como lo afirma Manglares (s,f) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, los manglares son considerados como ecosistemas únicos que albergan una alta biodiversidad, convirtiéndolos en una de las cinco unidades ecológicas con más productividad a nivel mundial. Su productividad primaria está por encima incluso de muchos ecosistemas agrícolas.

Del mismo modo, Manglares (s,f) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, afirma que los manglares albergan y protegen cantidades enormes de organismos, llegando a ser indispensable para la supervivencia de muchas especies marinas. Incluso un 80% de estas dependen del ecosistema del manglar para subsistir, lo que los convierte en zonas de gran importancia ecológica, económica y cultural que hay que proteger.

Por otro lado, es preciso decir que el sedimento de los manglares además de tener grandes cantidades de materia orgánica y sulfuros, posee una alta capacidad de acumulación de metales los cuales no se encuentran fácilmente biodisponibles, ya que físicamente y químicamente poseen características reductoras (Vane *et al.*, 2009). Sin embargo, debido al cambio del pH del sedimento, a la disminución del oxígeno disuelto,

a la variación en el contenido de arcillas, a la salinidad, al potencial de óxido reducción al contenido de MO; los sulfuros metálicos pueden movilizarse y resuspenderse hacia el agua y de esta manera convertirse en una fuente de contaminación (Medel, 2009).

Con esta investigación se pretende conocer el grado de contaminación por metales pesados y materia orgánica del sedimento superficial de manglares asociados a la desembocadura del río Atrato y a la ensenada de Río Negro, de modo que se permita conservar la calidad de los mismos y así prevenir problemáticas ambientales y sobre la salud humana. También se pretende levantar información base de algunas condiciones fisicoquímicas de ecosistemas de manglar en Colombia.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Los ecosistemas de manglar asociados a la desembocadura del río Atrato tienen gran influencia de asentamientos rurales que aportan gran cantidad de materia orgánica proveniente principalmente de actividades domésticas; las comunidades carecen de alcantarillado, tratamiento de aguas residuales, recolección de basura y como consecuencia de esto, los residuos y desechos generados pasan directamente a los ecosistemas provocando su contaminación. Efectivamente, de acuerdo con Arizaga (2015), la conservación de los ecosistemas de manglar se ve afectada, resultado de actividades antrópicas y por el no tratamiento y/o mala disposición final de los desechos domésticos.

En el orden de las ideas anteriores, los manglares del golfo de Urabá al tener influencia del río Atrato reciben los contaminantes que son arrastrados por su gran caudal; contaminantes como metales pesados que se vierten producto de la minería ilegal, poniendo en peligro la salud de este ecosistema y de los organismos que lo habitan. Todo esto se convierte en una problemática global ya que la contaminación por metales, viaja y recorre toda la red trófica hasta que finalmente llega a los humanos generando consecuencias irreversibles para aquellos que están expuestos a ellos, puesto que los mismos, poseen una alta capacidad de bioacumulación y biomagnificación.

De igual manera, en la sentencia T-622/16 que reconoce al río Atrato como sujeto de derechos, se indica que según datos de CODECHOCÓ (Corporación autónoma regional para el desarrollo sostenible del Chocó), para el 2013 se encontraban funcionando 200 entables mineros y 54 gradas de operación aproximadamente en el río Atrato, sus

afluentes y territorios contiguos, en donde sustancias tóxicas como metales pesados son utilizadas en el proceso de extracción de oro y platino principalmente, es decir, la minería ilegal a gran escala es frecuente, lo que genera grandes cantidades de vertimientos contaminados que son arrastrados por el río a lo largo de su cauce, llegando esa contaminación a expandirse a otros ecosistemas como los manglares asociados a la desembocadura del río.

Todas las situaciones anteriores, generan temor en las comunidades alrededor de estos ecosistemas, temor de que en algún momento vayan a desaparecer; de igual manera, esta situación preocupa a las autoridades ambientales, pues además de la importancia ecológica de los manglares, también está la económica, la cultural y la social.

También, es importante señalar que en Urabá los ecosistemas de manglar han sido poco estudiados, en sedimentos de estos la información es muy limitada, situación preocupante debido a los problemas de contaminación mencionados anteriormente; los estudios existentes se han enfocado en la biomasa aérea, captura de carbono, algunos aspectos fitosanitarios y pérdida de cobertura vegetal por actividades de extracción de madera y ampliación de la frontera agrícola. Es decir, la información sobre la contaminación de los sedimentos superficiales por metales es escasa por no decir que nula, a pesar de que existe la problemática nunca se le ha dado la importancia que esta requiere, poniéndose en riesgo la viabilidad de estos en el tiempo.

Finalmente, es necesario mencionar que, en Colombia existen pocos documentos normativos que conlleven a la protección y uso sostenible de los ecosistemas de manglar, los dos primeros en expedirse para estos propósitos fueron la resolución 1602 del 1995 y la 020 del 1996, las cuales dictaminaban estudios acerca del estado de los

manglares y algunas restricciones, un año más tarde se fija un programa de monitoreo y control de calidad tanto de los organismos vivos como de la parte abiótica.

En la actualidad, en Colombia no hay ninguna norma que regule los niveles permisibles de contaminación para estos ecosistemas, ni tampoco las concentraciones mínimas a partir de las cuales los metales son nocivos o tóxicos para la vida en el manglar. De hecho, los estudios que se encuentran en la bibliografía son escasos, por tanto, no hay suficiente información de base que permitan tomar decisiones normativas respecto a lo mencionado. Consecuentemente, cuando se hacen las comparaciones con normativas, siempre se toman referencias extranjeras las cuales entre si no son homogéneas en los niveles permisibles de estos contaminantes. Esto pone de manifiesto el gran vacío que existe tanto de información base como de compromiso por parte de las autoridades competentes y a su vez motiva a empezar a generar ese conocimiento que permita tener normas propias acorde con las características de nuestros propios ecosistemas.

3. OBJETIVOS

3.1.OBJETIVO GENERAL

Establecer los niveles de contaminación por metales pesados (Cd, Pb, As, Hg, Cr, Ni, Mn y Al) y materia orgánica (MO), presentes en el sedimento superficial de manglar asociado a la desembocadura del Rio Atrato y de manglar asociado a la ensenada de Rio Negro, Antioquia-Colombia.

3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la concentración de los metales pesados Cd, Pb, As, Hg, Cr, Ni, Mn y Al y materia orgánica, en los diferentes sitios de muestreo.
- Comparar los niveles de metales obtenidos con diferentes guías y/o parámetros normativos a nivel internacional.
- Determinar si existe correlación entre los metales pesados y la MO en las distintas estaciones de estudio.

4. JUSTIFICACIÓN

Debido a la presencia de grandes concentraciones de metales y materia orgánica en muchos ecosistemas de Colombia, es necesario conocer el estado real de ellos, sobre todo si se encuentran ubicados geográficamente en zonas donde se desarrolla la minería; los resultados de estos estudios en caso de estar por encima de los niveles de referencia, permitirán tomar medidas tanto de control como de seguimiento de esta problemática, por parte de las autoridades competentes.

Por otro lado, el hecho de que los metales se encuentren por lo general en los sedimentos, hace que este medio pueda utilizarse como indicador para detectar la contaminación ambiental originada por la actividad humana. Es decir, los sedimentos son capaces de absorber el material particulado en suspensión, acumulado en su superficie, constituyendo un testigo confiable del grado de contaminación de los ecosistemas. Así lo asegura Abreu *et al.*, (2008), quienes manifiestan que los análisis de sedimentos acuáticos tienen un papel especial en la valoración de la contaminación por metales, porque sus resultados pueden revelar el estatus actual de la deposición ambiental.

Al mismo tiempo, los manglares son potenciales acumuladores de contaminantes de origen antrópico, especialmente metales pesados (Solisio *et al.*, 2007) ya sean producto de escorrentías o de la entrada de aguas residuales domésticas e industriales (Gomes *et al.*, 2001; Yu *et al.*, 2002). También como se manifiesta en la publicación Manglares (s,f) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, los mismos, son acumuladores de sedimentos como consecuencia del denso crecimiento de las plantas y a que las raíces de los mangles funcionan como trampas de partículas sedimentarias y de MO incrementando el sedimento superficial.

Lo anterior sumado a que ecológicamente los manglares son ecosistemas que cumplen funciones vitales en el mantenimiento del equilibrio natural de la zona, hace que estos se conviertan en áreas de interés ambiental. Igualmente no existen investigaciones de las condiciones químicas de los sedimentos superficiales de los manglares en la zona, por tanto, la información y resultados obtenidos en este estudio, servirán de base para empezar a levantar información que a su vez permita establecer normativas propias eficientes y efectivas, respecto a los niveles permisibles de estos contaminantes para la protección de la vida acuática; ya que en Colombia, las investigaciones que existen en la actualidad no son suficientes ni representativas de las condiciones de los ecosistemas de manglar en el país.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. METALES PESADOS

En la actualidad, aún no se ha llegado a una uniformidad en la definición de metales pesados, algunos autores consideran que son aquellos que tienen una densidad mayor a 6g/cm^3 , mientras que otros como Barceló utilizan una densidad de 5g/cm^3 para esta clasificación. Además de la densidad, también el peso y número atómico son otras de las características para esta clasificación, este debe ser mayor a 20 (Duffus, 2001). Dentro de los metales pesados hay algunos que son considerados esenciales para los organismos vivos, ejemplo de ellos son el Fe, Mn, Zn, Cu y Mo; otros como el níquel y el cromo son beneficiosos en ciertas circunstancias, mientras que metales como el mercurio, plomo y el cadmio, son tóxicos para los seres vivos aún en concentraciones bajas (Ansari et al., 2004).

5.2. METALES PESADOS Y MATERIA ORGÁNICA EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

En los sedimentos, la concentración de elementos químicos como los metales se encuentran generalmente de tres a cinco veces más que las concentraciones encontradas en el agua, dicha concentración está determinada a su vez por la composición química y mineralógica de los mismos (Kennis, 2002). Los sedimentos están compuestos de minerales como arcillas, MO, óxidos de Fe y Mn, entre otros, todos ellos forman complejos con iones metálicos. Cuando la MO se une a un metal se convierte en un mecanismo de transporte y dispersión de los metales en el ecosistema acuático (Kennis, 2002).

Es así, que los metales pesados debido a su alta toxicidad inciden de manera directa en la biodegradación natural de desechos orgánicos, esto conlleva a que un sedimento contaminado con metales pesados se convierta en un peligro potencial no solo para la salud humana si no para los ecosistemas en general. Estos afectan toda la red trófica y la productividad primaria de dicho ecosistema (De La Cruz-Landero *et al.*, 2010). Además, pueden ser transportados a distancias grandes del lugar de contaminación debido a que no son degradados por los organismos vivos por tanto se acumulan en estos (Acquavita *et al.*, 2010).

En los ecosistemas de manglar la distribución de las especies de mangle está condicionada por factores como la salinidad y la duración de la marea. Estas características pueden influir en la especiación y disponibilidad de los sedimentos entre las diferentes partes de los bosques de manglar (Özlem *et al.*, 2009).

En los sedimentos, los metales presentes pueden ser de origen litogénico o antropogénico (desechos domésticos, agrícolas e industriales), no obstante, su concentración está directamente relacionada a factores químicos y físicos como el tipo y tamaño de partícula, la composición de la roca madre, el pH y el potencial redox (Bradl *et al.*, 2005).

En otro orden de ideas, la materia orgánica del suelo hace referencia tanto al material no vivo proveniente de plantas y animales, como al de origen microbiano, el cual puede estar fresco o descompuesto y/o transformado. Esta es de gran importancia para los ecosistemas ya que influye en gran medida en el movimiento del agua y constituye una fuente de nutrientes (Trujillo, 2016). En otras palabras, la MO es de gran importancia para los sedimentos pues tiene gran influencia sobre las propiedades físicas, químicas,

biológicas y mineralógicas, influyendo en gran medida en su productividad. La humificación de la MO está condicionada por la acción de los microorganismos, siendo controlada esta última por factores como la temperatura, pH, potencial redox y disponibilidad de nutrientes (Negroni, 2009).

Generalmente, cuando los sedimentos son ricos en materia orgánica se concluye que es la respuesta al estancamiento y condiciones anóxicas de las aguas profundas que evitan su descomposición (Canfield, 1994). El oxígeno es suministrado sólo desde el agua y va disminuyendo con la profundidad debido a la descomposición bacteriana y a una limitada difusión (Brown et al., 1994). De hecho, diversos autores (Jones y Manning 1994; Calvert et al., 1996) plantean que el rápido decaimiento de la concentración de oxígeno disuelto ejerce un fuerte control sobre la cantidad y calidad de la materia orgánica preservada en estos ambientes. No obstante, en los últimos años se ha comprobado que la productividad primaria también juega un papel importante en la acumulación de materia orgánica en los sedimentos.

Específicamente en ecosistemas de manglar, la materia orgánica está directamente relacionada a su alta productividad, ya que esta es determinada generalmente a partir de la hojarasca (un alto porcentaje de la productividad neta es producto de hojas, frutos y espículas que eventualmente caen al suelo). Efectivamente, las hojas son el componente más abundante de la misma, llegando a representar entre el 70 y 80% del peso seco total. Esta hojarasca es fundamental pues constituye un flujo de materia orgánica que representa uno de los aportes más importantes del manglar a las cadenas alimentarias del estuario (Cintrón y Schaeffer, 1983). En concordancia con lo anterior, Pedersen y Calvert (1990) propusieron que el aumento de la productividad marina era

un factor determinante para la acumulación de carbono orgánico, es decir, la MO puede ser exportada a las zonas circundantes, (López-Medellín & Ezcurra, 2012) en donde se incorpora a la red trófica y se convierte en un factor determinante de la fertilización de las aguas y la alta producción secundaria de los sistemas costeros (López-Medellín y Ezcurra, 2012).

En el manglar, las bacterias y los hongos son de gran importancia a la hora de descomponer la materia orgánica (ChapinIII, Matson & Mooney, 2002). También algunos crustáceos juegan un papel importante en la eliminación y reducción del tamaño de la hojarasca, lo que facilita el proceso de descomposición (Meentmeyer, 1978). Esta descomposición rápida asegura que gran parte de la MO se recicle dentro del ecosistema y que sirva como aporte de nutrientes para el mismo (Hemminga et al., 1994; Lee, 1998)

5.3. MOVILIDAD DE LOS METALES Y FACTORES QUE AFECTAN SU CONCENTRACION

Las concentraciones de un metal específico, en una forma determinada, dependen de la solubilidad del mismo. La misma puede verse afectada por algunos factores como el pH, el potencial redox, características del material, salinidad y materia orgánica.

5.3.1. EFECTO DEL pH

En medio acuoso el pH es la variable que determina la acidez o basicidad del mismo, siendo de gran importancia, puesto determina la afinidad de un medio para disolver una sustancia. Es así, que los compuestos metálicos cuando están en un medio acuoso pueden encontrarse de varias maneras: libres en su forma iónica si el pH es ácido, ya que en un medio ácido la cantidad de iones OH^- es baja, por tanto, este toma los iones

de carga negativa (aniones) de los complejos metálicos, y el metal queda libre en el medio.

La forma en como están distribuidos los metales pesados en el agua, está relacionada tanto como con su composición como con el pH; este último afecta la solubilidad, la especiación química y también la movilidad de muchas sustancias en el sistema (Palacio, 2007). Cuando los valores de pH son bajos, los iones de hidrógeno desplazan a los metales de los óxidos (Triverdi y Axe, 2000, citado por Ascencio 2018). Para metales como Cd, Hg, Pb, la electro-positividad determina su susceptibilidad para disolverse. En la figura 1 se observa la solubilización de los metales en agua.

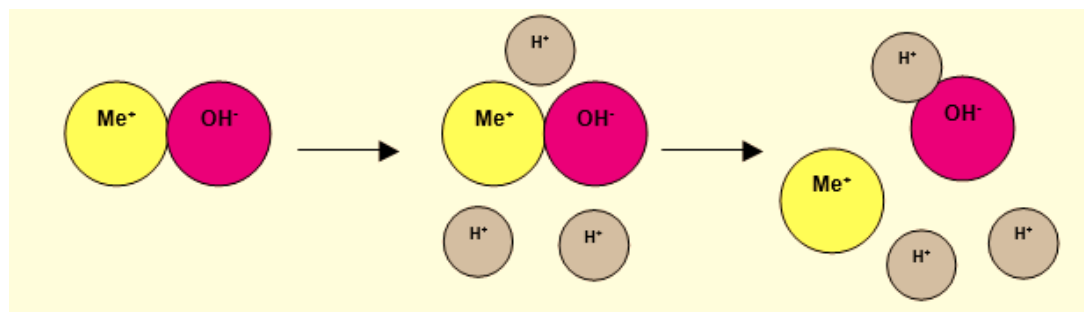


Figura 1. Solubilización de metales en agua. Fuente: Gutiérrez; 2005

El pH también participa en las interacciones de los metales pesados con los carbonatos, los sedimentos, la materia orgánica y los sólidos suspendidos. A un pH comprendido entre 5 y 9 las concentraciones de los iones suelen ser bajas, no obstante, para metales como Cd cuando se encuentra a pHs bajos su concentración aumenta (Palacio, 2007). Los iones metálicos que se hidrolizan a un pH inferior a 8,5 pueden ser adsorbidos por los sólidos suspendidos (Forstner y Solomons, 1980; Bejarano, 1992; Chen *et al.*, 1996; Moalla *et al.*, 1996 citado por CENMA, 2010).

A unidades bajas de pH, la solubilidad en algunos metales se incrementa; por el contrario, se disminuye la adsorción en los sedimentos. Lo anterior conlleva al aumento de su movilidad, lo cual fue demostrado por Rosello y Planas (2011) en un estudio experimental de la movilidad de metales pesados en sedimentos de la cuenca del Jequetepeque, Perú. Los resultados mostraron que a medida que el pH es más ácido, los metales se hacen más solubles, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Movilidad de metales en función del pH.

	Zn	Cu	Hg	Cd	Pb	Cr	As	Ni
M1 pH 1-2	57,94	407,5	0,01	0,92	8,91	2,07	4,54	3,32
M1 pH 2-3	32,73	167,9	0,01	0,83	2,06	0,46	0,18	1,96
M1 pH 3-4	30,37	108,44	0,01	0,74	0,61	0,12	0,07	1,56
M1 pH 4-5	15,83	16,98	0	0,45	0,34	0,04	0,04	0,63
M1 pH 5-6	11,3	12,56	0,01	0,46	0,2	0,02	0,04	0,62

Fuente: Rosello y Planas 2011

En la figura 2 también se muestra la solubilidad de algunos metales teniendo en cuenta distintos valores de pH.

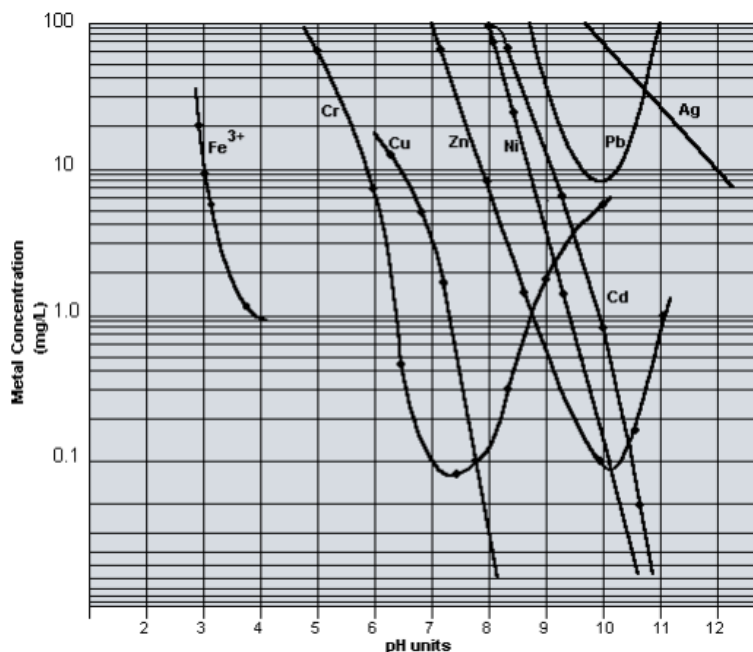


Figura 2. Cambio en la concentración de un metal disponible con el pH. Fuente http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lpro/camacho_m_ma/capitulo3.pdf

De la anterior figura se puede afirmar que el plomo y el cadmio se precipitan en condiciones alcalinas del medio donde se encuentren; en el caso de plomo se observa cómo a pH 10 alcanza su mayor precipitación. Sin embargo, al aumentar el pH nuevamente se ioniza el metal hasta volver a su valor original.

Generalmente, la movilidad de los metales en el suelo ha sido considerada escasa y normalmente quedan acumulados en los estratos superiores de este (capa superficial), por tanto, el estudio de metales en sedimento se realiza mayoritariamente en los estratos superiores. Cuando un estudio involucra estratos más profundos es porque se quiere verificar condiciones ambientales de periodos pasados o algún tipo de contaminación puntual. En la tabla 2 se presenta de manera cualitativa cómo es la movilidad de los metales teniendo en cuenta el medio donde se encuentren.

En sedimentos, la biodisponibilidad y la movilidad de elementos como los metales, también están condicionadas por su forma química; por ejemplo, para el cobre un aumento de pH en el agua, ocasiona la disminución de las concentraciones del metal en este medio. Mientras que en el sedimento ocurre lo contrario (las concentraciones aumentan). En el caso del aluminio cuando se tiene un pH mayor a 5, las concentraciones en medio acuoso disminuyen mientras que en el sedimento aumentan (Balintova *et al.*, 2012).

Tabla 2. Movilidad Relativa de los Metales Pesados en el Suelo

Movilidad	Oxidante	Ácido	Neutro y Alcalino	Reductor
Alta	Zn	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au		
Media	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd	Cd	Cd	
Baja	Pb	Pb	Pb	
Muy Baja	Fe, Mn, Al	Al, Sn, Pt, Cr	Al, Sn, Cr, Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd, Pb

Fuente: Tecnología de Suelos, Contaminación por Metales, <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/fact.htm>

5.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL

Los metales traza poseen una mayor afinidad por las arcillas que tengan un grano fino, capacidad de intercambio catiónico moderada, alta carga superficial negativa y gran área superficial negativa (Hirst, 1962 citado por Horowitz, 1985). Para metales como Cd,

Ni, Co, Zn, Pb y Cu el tamaño del grano incide de manera significativa en la concentración de los mismos, por lo tanto, es preciso afirmar que el tamaño del grano del sedimento es de gran importancia en la composición química del mismo. De hecho, las concentraciones de cobre para un mismo sedimento fueron de 750, 60, 110, 60, 25 y 20 ppm, tal variación estuvo relacionada con el tamaño de partículas analizadas: <2, 2-6, 6-10, 10-20, 20-32 y 32 a 64 μm respectivamente (Rex y Goldberg, 1958).

5.3.3. AGENTES OXIDANTES Y POTENCIAL REDOX

Las sustancias oxidantes en especial el oxígeno y el ozono, buscan tomar electrones de otras especies especialmente agentes metálicos, produciendo reacciones de oxidación. Esta oxidación es de mayor magnitud en especies metálicas con varias valencias. El cobre y el cromo son fiel ejemplo de ello, pues frente a un exceso de oxígeno ceden muchos electrones y caen a un estado de oxidación más bajo. Lo contrario sucede con cadmio y plomo ya que al ser monovalentes, el efecto oxidante es menor debido a que el O_2 intentará apoderarse de electrones de otros elementos con mayor probabilidad de oxidación. A continuación, en la figura 3 se presenta el proceso básico de oxidación de los metales (Gutiérrez, 2005)

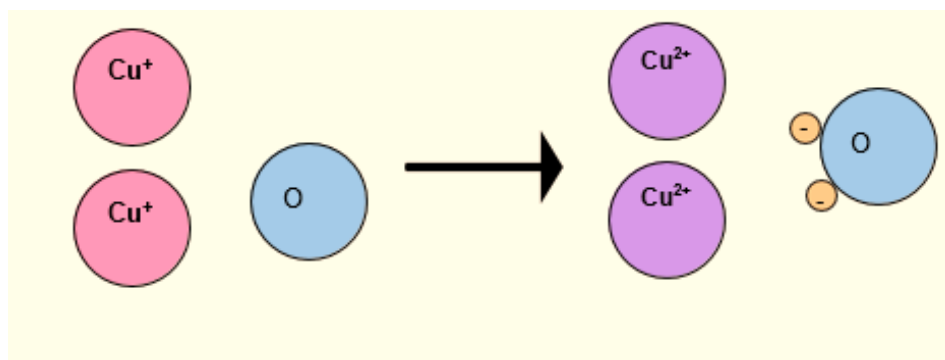


Figura 3. Oxidación de los metales. Fuente: Gutiérrez; 2005

De forma general, el proceso de óxido-reducción es simultáneo e influye directamente en la especiación y adsorción de los metales en los materiales (Palacio, 2007). Una especie de un mismo compuesto que se encuentre oxidada o reducida puede presentar distintas características. Un ejemplo de ello es el hierro y el manganeso los cuales se encuentran en estado Fe^{+3} y Mn^{+4} cuando están presentes en ambientes oxidantes, sin embargo, cuando las condiciones son reductoras entonces se encuentran como Fe^{+2} y Mn^{+2} . La forma química en cómo se encuentran en ambientes oxidantes convierte a las especies en insolubles en agua mientras que en condiciones reductoras si son solubles en agua convirtiéndolas en biodisponibles (Palacio, 2007). Los metales pueden encontrarse en ambas condiciones químicas como se observa en la tabla 3.

Tabla 3. Condiciones oxidantes y reductoras de los metales

Metal	Condiciones oxidantes	Condiciones reductoras
Cd	$CdCO_3$	CdS
Cu	$CU_2(OH)_2CO_3$	CuS
Fe	$Fe_2O_3.X(H_2O)$	FeS, FeS_2
Mn	$MnO_2.X(H_2O)$	$MnS, MnCO_3$
Hg	HgO	HgS
Ni	$Ni(OH)_2, NiCO_3$	NiS
Pb	$PbCO_3.Pb(OH)_2, PbCO_3$	PbS
Zn	$ZnCO_3, ZnSiO_3$	ZnS

Fuente: Manahan, 2007

5.3.4. LA MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica, a través de diversas reacciones químicas y físicas es capaz de adsorber los contaminantes y esto contribuye a su inmovilización; sin embargo, cuando los metales forman complejos y quelatos con la misma, facilitan la migración de los metales mediante los horizontes del suelo (Gustafsson *et al.*, 2003). Así, la complejación de la materia orgánica del suelo influye en la solubilidad y asimilación biológica de los metales. De hecho, la materia orgánica puede llegar a adsorber tan fuertemente algunos metales, como el Cu, que pueden quedar en posición no disponible por las plantas (Zhao Lu *et al.*, 2007).

En otras palabras, cuando la materia orgánica compleja metales se produce un descenso del pH, al liberarse iones H^+ provoca la acidificación del medio. Al acidificarse el medio, los metales pueden movilizarse y solubilizarse hacia la columna de agua, suponiendo un riesgo de contaminación pues la biodisponibilidad de los mismos aumenta (Németh *et al.*, 1996)

5.3.5. SALINIDAD

El aumento de la salinidad puede incrementar la movilización de metales y su retención mediante dos mecanismos. En el primero, los cationes de Na y K pueden reemplazar a los metales pesados que se encuentran en posiciones de intercambio catiónico. En segundo lugar, los aniones cloruro y sulfato, pueden formar compuestos más estables con metales como Pb, Zn, Cu, Cd y Hg (Galán y Romero, 2008).

5.4. ECOTOXICIDAD DE LOS METALES

Una sustancia tóxica es aquella que aún en corto plazo puede causar daño a los tejidos biológicos luego del contacto o la absorción. La exposición de los organismos

vivos a ella puede ser por ingestión, inhalación, o asimilación directa o indirecta en cualquier organismo (EPA, 2012).

Los metales pesados son considerados sustancias tóxicas ya que generalmente no proporcionan ningún beneficio fisiológico, pero si pueden producir efectos graves sobre la salud de los organismos expuestos a ellos debido a que son bioacumulables, por tanto, son absorbidos por los seres vivos y a través de la cadena trófica se van biomagnificando, lo que quiere decir, que las concentraciones van aumentando a medida que suben los niveles de la red trófica por lo que los individuos que estén en la parte superior de esta, suelen tener una mayor concentración de estos contaminantes en comparación con los que están más abajo, todo esto a su vez producido por que este tipo de sustancias no son absorbidas, ni descompuestas ni eliminadas por los organismos vivos (EPA, 2012). A continuación, en la figura 4, se representa el flujo de los metales en los ecosistemas, desde las fuentes de contaminación hasta su disposición final en los organismos vivos.

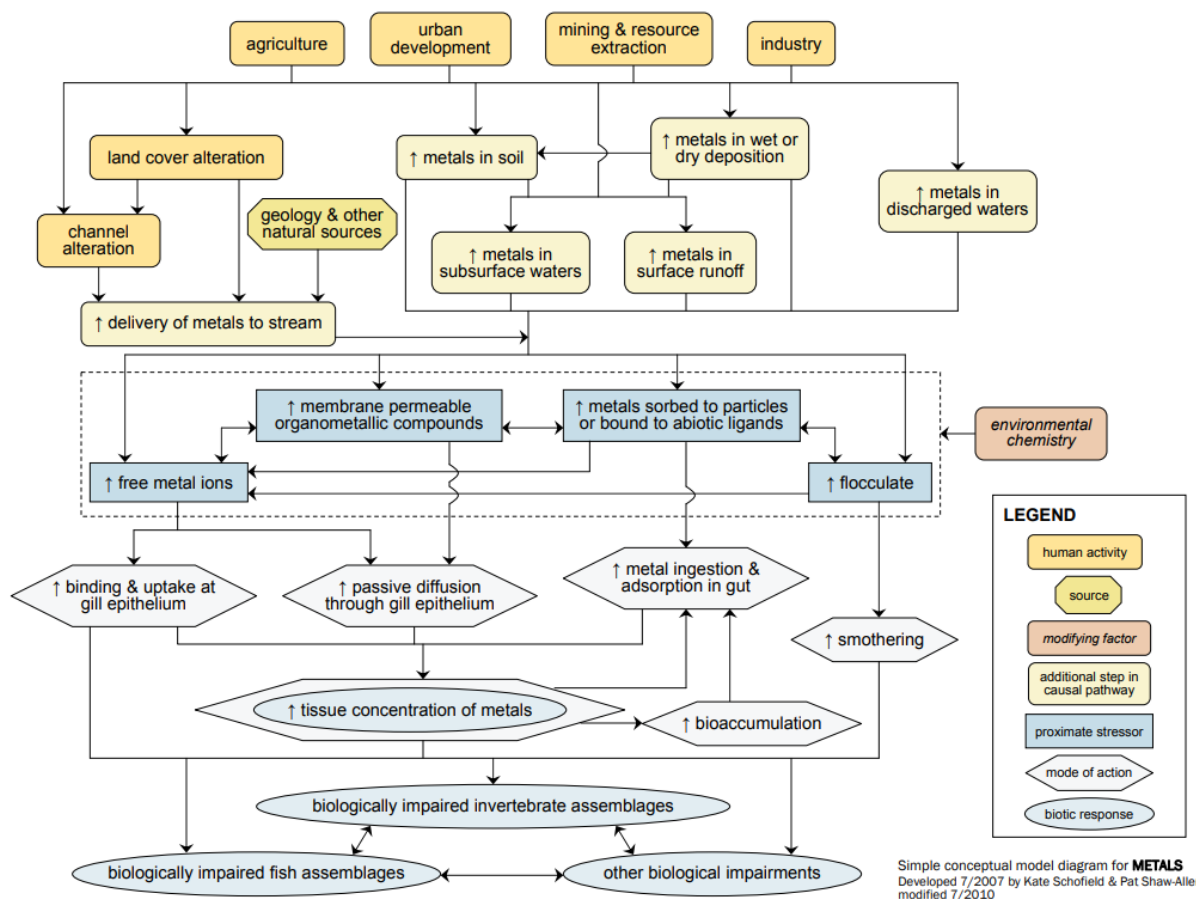


Figura 4. Diagrama conceptual simple que ilustra las vías causales, desde las fuentes hasta las degradaciones, relacionadas con los metales. Fuente: Schofield y Shaw-Allen2010

Dentro de los metales que la EPA incluye como contaminantes prioritarios tenemos los siguientes: arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel y plomo y de manera general los daños que podrían causar según esta agencia se encuentran los siguientes:

Transmisión mucosa de las branquias.

- Daño branquial.
- Anomalías espinales.
- Colas ennegrecidas.
- Reemplazo de especies sensibles a metales con especies tolerantes.

- Las plantas presentan patrones de decoloración y malformación en las hojas en respuesta a los metales
- Perturbaciones no autorreguladoras en peces (alteraciones de la regulación de sodio y cloruro. se ha informado que es el resultado de la exposición a niveles elevados de cobre o plata) y la interrupción de La regulación del calcio se ha atribuido a la exposición al cadmio o al zinc.
- En peces, las sustancias toxicas como los metales pesados causan la inhibición del crecimiento, principalmente en estadíos larvarios, por tanto, la longitud y la masa del cuerpo se ven reducidos reduciendo su capacidad para competir por comida, hábitat y nicho ecológico. También causan anomalías de comportamiento (locomotoras deterioradas, rendimiento que resulta en una mayor susceptibilidad a los depredadores) o daños estructurales (principalmente deformidades vertebrales).
- Los sedimentos contaminados pueden ser una amenaza para los organismos bentónicos (gusanos, crustáceos e insectos) llegando incluso estos a morir, lo que a su vez ocasiona la disminución en la disponibilidad de alimentos para animales más grandes como los peces.

Además de los efectos anteriores, los microorganismos son sensibles a las perturbaciones de los ecosistemas, llegando a poder ocasionar grandes impactos sobre la dinámica de los mismos. Los metales pueden unirse a la membrana plasmática de los microorganismos interfiriendo con el metabolismo normal de ellos. Metales como el mercurio, el arsénico el plomo, el aluminio y el cadmio disminuyen la biomasa microbiana

y altera la actividad de determinadas enzimas lo que produce pérdida de la biodiversidad del ecosistema y cambios en la estructura microbiana.

En la figura 5 se muestra el modelo conceptual de las posibles rutas de exposición de los organismos en los sedimentos contaminados y en la figura 6, el modelo conceptual de los principales procesos contaminantes en sedimentos (donde M indica "Metal", POC es carbono orgánico en partículas, y Org se refiere a compuestos orgánicos, por lo que POC - Org es orgánicos asociados con POC).

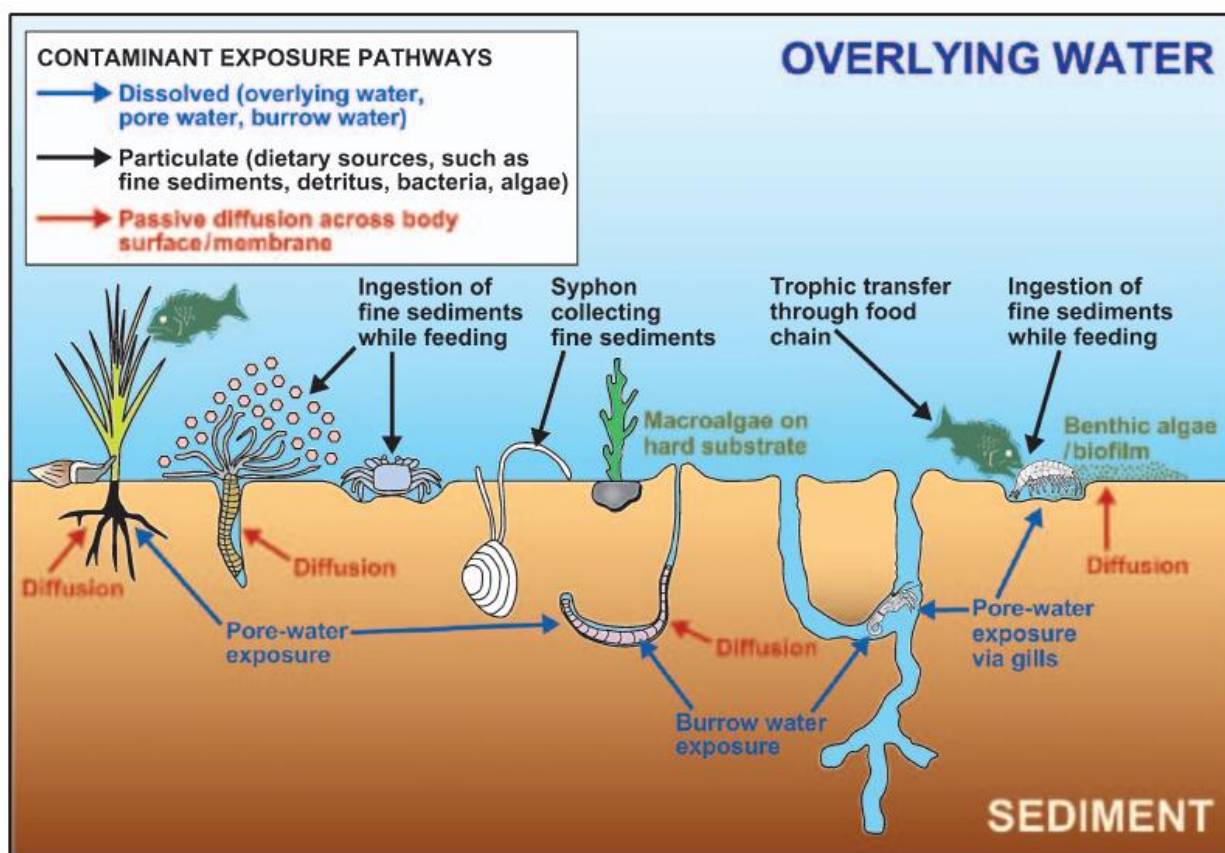


Figura 5. Modelo conceptual de las posibles rutas de exposición de los organismos en los sedimentos contaminados. Fuente: Simpson *et al.*, (2016).

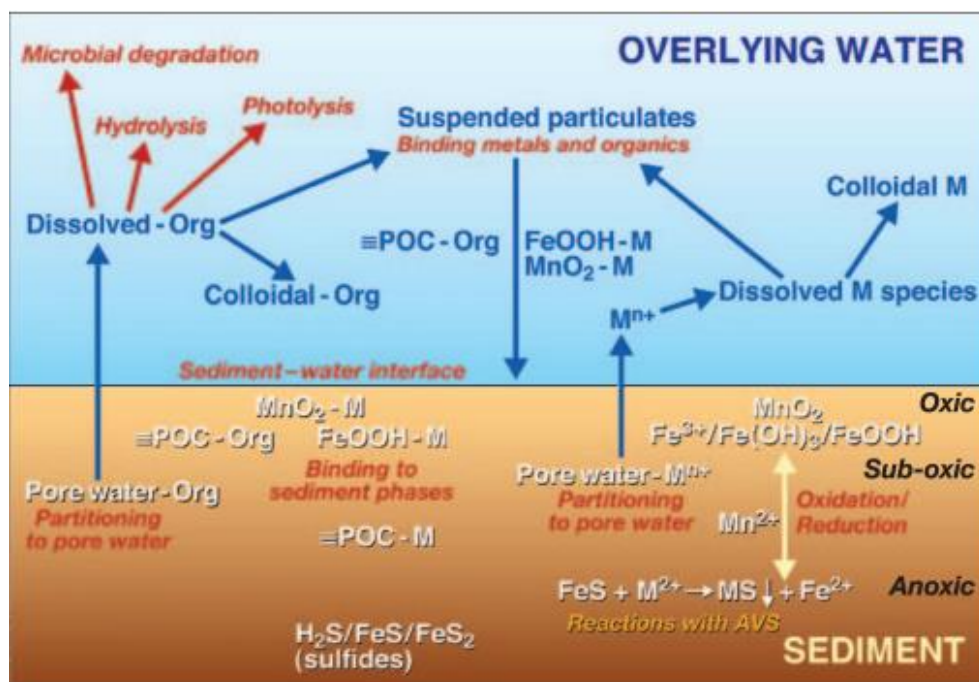


Figura 6. Modelo conceptual de los principales procesos contaminantes en sedimentos. Fuente: Simpson et al., (2016).

5.5. MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE METALES Y MATERIA ORGÁNICA

5.5.1. espectrofotometría de absorción atómica por llama: En la espectrometría de absorción atómica de llama, una muestra se aspira en una llama y se atomiza. Un haz de luz se dirige a través de la llama, en un mono-cromador, y en un detector que mide la cantidad de luz absorbida por el elemento atomizado en la llama. Para algunos metales, la absorción atómica muestra una sensibilidad superior a la emisión de llama. Debido a que cada metal tiene su propia longitud de onda de absorción característica, se utiliza una lámpara de cátodo hueco como fuente compuesta del elemento específico: esto hace que el método esté relativamente libre de interferencias espectrales o de radiación. La cantidad de energía en la longitud de onda característica absorbida en la llama es proporcional a la concentración del elemento en la muestra en un rango de concentración limitado. La mayoría de los instrumentos de absorción atómica también están equipados para funcionar en modo de emisión, lo que puede proporcionar una mejor linealidad y una respuesta más ajustada para algunos elementos (Eaton et al., 2017).

5.5.2. Espectroscopia de absorción atómica electrotérmica: se basa en el mismo principio que la atomización de llama directa, pero un atomizador calentado eléctricamente o un horno de grafito reemplaza la cabeza estándar del quemador. Se inyecta un volumen discreto de muestra en el tubo de muestra de grafito (o copa). Típicamente, las determinaciones se realizan calentando la muestra en tres o más etapas. Primero, una corriente baja calienta el tubo para secar la muestra, la segunda etapa, o carbonización, destruye la materia orgánica y volatiliza otros componentes de la matriz a una temperatura intermedia, finalmente, una corriente alta calienta el tubo a incandescencia y, en una atmósfera inerte, atomiza el elemento que se está determinando. El vapor atómico del estado fundamental resultante absorbe la radiación monocromática de la fuente. Un detector fotoeléctrico mide la intensidad de la radiación transmitida. La inversa de la transmitancia se relaciona logarítmicamente con la absorbancia, que es directamente proporcional a la densidad numérica de los átomos en estado fundido vaporizados (la ley de BeerLambert) en un rango de concentración limitado (Eaton *et al.*, 2017).

5.5.3. Pérdida por calcinación a 550°C: el método de calcinación o pérdida de peso por ignición (LOI), cuantifica el contenido de MO a partir de diferencias gravimétricas, luego de ser sometida la muestra a temperaturas elevadas durante un determinado tiempo (David, 1988). LOI ha demostrado ser de bajo costo (De Vos *et al.*, 2005), lo que facilita su utilización para realizar monitoreos del contenido de MO del suelo en tiempo y forma.

5.6. GUÍAS INTERNACIONALES RELACIONADAS A LA CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS

5.6.1. Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA): La

NOAA, es una agencia científica del Departamento de Comercio de los Estados Unidos, responsable de la investigación de cambios en ambientes oceánicos, el espacio, la atmosfera y el sol; de igual manera, la NOAA es responsable de conservar y administrar los recursos costeros y marinos. Las referencias de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) representan un espectro de concentraciones que se han asociado con varias probabilidades de efectos biológicos adversos. Este espectro varía desde niveles presumiblemente casi no tóxicos hasta tóxicos. Cuando la concentración de un analito está por debajo de los valores de umbral inferior (TEL), esto apunta con un alto grado de confianza que las probabilidades de que sea tóxica es baja, en cambio, si la concentración del analito supera el umbral de toxicidad más alto (PEL) es muy probable que los niveles sean tóxicos y amenacen la vida acuática. En la tabla 4 se muestran las concentraciones de los metales para los niveles PEL y TEL

Tabla 4. Niveles PEL y TEL (NOAA)

	PEL (mg/kg)	TEL (mg/kg)
Arsenic	7,24	41,6
Cadmium	0.68	4,21
Chromium	52,3	160
Lead	30,24	112
Mercury	0.13	0.70

Nickel	15,9	42,8
---------------	------	------

Fuente: Buchman 2008

Nota: Los niveles PEL y TEL de la NOAA, corresponden a los valores ISQG y PEL estipulados en las pautas canadienses sobre la calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática (Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life), por tanto, cuando se haga el análisis de los resultados usando el PEL y TEL de la NOAA, también se estará haciendo referencia a la guía canadiense.

5.6.2. Documento de detección y evaluación de sedimentos contaminados del Estado de Nueva York División de Pesca, Vida Silvestre y Recursos Marinos

Oficina de Hábitat: el documento de proyección y evaluación de sedimentos contaminados del Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York División de Pesca, Vida Silvestre y Recursos Marinos Oficina de Hábitat, es aplicable a cualquier proyecto que investigue riesgos potenciales para la vida acuática por contaminantes en sedimentos y es más aplicable para nuevos proyectos para los que hay poca o ninguna información disponible, aparte de las concentraciones de contaminantes en muestras de sedimentos. Para este documento hay tres clasificaciones (clase A, clase B y clase C) definidas por distintos niveles de toxicidad como se muestra en la tabla 5.

Clase A: si la concentración de un contaminante en el sedimento está por debajo del SGV que define esta clase, se puede considerar que el contaminante presenta poco o ningún riesgo potencial para la vida acuática.

Clase B: si la concentración de un contaminante se encuentra entre los valores de orientación para sedimentos (SGV) que definen la Clase A y Clase C, se necesita información adicional para determinar el riesgo potencial para la vida acuática.

Clase C: si la concentración de un contaminante está por encima del SGV que define esta clase, existe un alto potencial para que los sedimentos sean tóxicos para la vida acuática.

Tabla 5. Valores guía de contaminantes en sedimentos - Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York División de Pesca, Vida Silvestre y Recursos Marinos.

	Clase A	Clase B	Clase C
As	<8.2	8.2-70	> 70
Cd	< 1.2	1.2-9.6	> 9.6
Cr	< 81	81-370	> 370
Pb	< 47	47-220	> 220
Hg	< 0.15	0.15-0.71	> 0.71
Ni	< 21	21-52	> 52

Fuente: Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York División de Pesca, Vida Silvestre y Recursos Marinos, 2014

6. MARCO TEÓRICO

6.1. ANTECEDENTES

La presencia de metales pesados en ecosistemas acuáticos ha generado numerosas situaciones de impacto sobre estos y la salud pública en general (Thomann, 1982). A nivel mundial, se han presentado casos críticos como la contaminación por cadmio en Japón (Friberg et al., 1971) en el río Jintsu y por metilmercurio en la bahía de Minamata (Berglund, 1971). En ambos casos, se ocasionó daños a la salud de las poblaciones afectadas, demostrándose así, cómo la presencia de sustancias tóxicas en el medio ambiente acuático puede afectar la salud pública.

Consecuentemente, a nivel internacional y nacional se han realizado numerosos estudios de evaluación de metales pesados en sedimento, donde ha quedado confirmado que esta matriz es buena indicadora de contaminación por estos elementos químicos tóxicos.

En Colombia, uno de los metales con más usos en las industrias es el mercurio, este ha estado presente desde hace muchos años, pero se volvió más frecuente, con la llegada de los españoles al país y con el proceso de revolución industrial; este ha sido utilizado desde los inicios en actividades mineras, principalmente minería de oro y carbón y consigo se han generado problemáticas ambientales y sociales por su toxicidad. Por lo anterior, en Colombia existe la preocupación por los efectos que pueda generar este metal en la salud de los ecosistemas y en los humanos, es por eso, que a partir de la década de los 70 se han hecho muchas investigaciones con el fin de cuantificar la bioacumulación del mercurio y otros metales tanto en agua, como en sedimentos, suelos, aire y organismos.

6.1.1. Metales en sedimento de ecosistemas acuáticos

Países como España han hecho estudios que indican la calidad de los sedimentos de sus ecosistemas, uno de ellos es el que se realizó en sedimentos recientes del estuario del río Nalón (Asturias, N De España) en el año 2017. Para este lugar se encontraron concentraciones promedias de As de 43,1 mg/Kg, 0,6 mg/Kg para mercurio, 28,8 mg/Kg en el caso de níquel, 46,9 mg/Kg de plomo, 59000 mg/Kg para Al, y 300 mg/Kg de Mn (García *et al.*, 2017)

México no es ajeno a los estudios de evaluación de materia orgánica y metales pesados; en el año 2014 se hizo una evaluación de MO y metales pesados en sedimento del lago de Chapala, donde se encontró que la MO no es abundante en los sedimentos llegando a tener < 2% en su composición. En el caso de metales como plomo, cromo y níquel se evidencio que las concentraciones fueron bajas indicando que este lago está poco contaminado (Gonzales, 2014). También en el año 2016 se analizaron sedimentos y materia orgánica en 10 puntos de la zona cañera del sur de Quintana Roo, México; las concentraciones de mercurio no superaron los 0,13 mg/kg, la máxima concentración de cadmio fue de 0,75mg/L y para materia orgánica la mayor cantidad encontrada fue del 0,66%. (Tun-Canto *et al.*, 2017).

En este mismo país, se analizaron metales en sedimento superficial de la Laguna de las Ilusiones, Tabasco donde los resultados arrojaron concentraciones desde 1,1 hasta 4,0 mg Cd/Kg, en el caso de plomo las concentraciones estuvieron entre 7,5 y 204,7 mg/kg; para níquel las cantidades halladas se encontraron en un rango de 18,6 a 52,1 mg/kg, el cromo encontrado fue de 23,1 mg/kg a 99,5 mg/kg, el manganeso fue de 42,4

mg/kg a 341,9 mg/kg y el aluminio estuvo entre 2563 mg/kg y 738811 mg/Kg (Flores *et al.*, 20018)

Siguiendo con los mismos objetivos, Moreno *et al* (2018) cuantificaron metales en sedimentos superficiales de la bahía interior, lago Titicaca-Perú en 6 estaciones de muestreo; los resultados de determinación de la concentración de plomo estuvieron entre 0.0023 y 0,0583 mg/kg; para cadmio, el rango fue de 0,0013 a 0,0583 mg/kg y para arsénico y mercurio el promedio fue de 0,00013mg/kg. De igual manera, en el año 2017 en Perú se analizaron niveles de metales como cadmio, plomo, arsénico, cromo y mercurio en sedimentos de la Sub Cuenca Del Rio Azángaro, donde los resultados arrojaron concentraciones de 5,95-10,27 mg Cd/Kg; 19,23-26,74 mg Pb/Kg, 16,65-36,72mg As/Kg; 6,02-9,00 mg Cr/Kg y <0,041mg Hg/Kg. (Salas, 2017).

En Ecuador también se han analizado metales en sedimento, un ejemplo de ello es el estudio realizado en La Cuenca Del Río Puyango en el año 2016, donde se encontraron concentraciones de manganeso que van desde 374 hasta 2079 mg/kg, para plomo las concentraciones fueron de 19,1 a 3272 mg/kg, el níquel encontrado fue de 8,1 a 32,7 mg/kg, el mercurio de 0,03 a 2,96 mg/Kg y aluminio de 7800 a 35600 mg/kg (Mora *et al.*, 2016).

En Colombia, en la Guajira en los años 2016 y 2017 se analizaron metales en sedimento del rio Ranchería, en 11 estaciones, las concentraciones de cadmio encontradas estuvieron entre 0,08-1,05 mg/Kg; en el caso de plomo se reportaron niveles comprendidos entre 1,7-15 mg/Kg y para mercurio las concentraciones encontradas fueron de 0,005-0,042 mg/kg (Doria *et al.*, 2017). Un año más tarde (2019), se analizaron metales en sedimentos superficiales de playas turísticas, se evaluaron metales como

romo, plomo, cadmio y níquel, las concentraciones promedio encontradas fueron de 0,55, 0,096, 0,00097 y 0,000026 mg/kg respectivamente (Doria, 2019).

Por otro lado, Ortiz *et al* (2015) determinaron la concentración de metales pesados en sedimentos de 4 estaciones (Purificación, Flandes, Ambalema y Honda) del río Magdalena - tramo Tolima encontrando los resultados mostrados en la tabla 6

Tabla 6. Resultados de metales en río Magdalena - tramo Tolima.

	Purificación		Flandes		Ambalema		Honda	
	AA	AB	AA	AB	AA	AB	AA	AB
Cd	0,05	0,11	0,04	0,11	0,03	0,11	0,02	0,11
Cr	0,04	<0,01	0,05	0,019	0,04	0,027	0,04	<0,01
Pb	36	3	19	29	15	9	41	10
Hg	0,016	0,04	0,014	<0,01	<0,01	<0,01	0,011	<0,01

*AA: aguas altas, AB: aguas bajas Fuente: Ortiz et al (2015)

6.1.2. Metales en sedimento de manglar

Los sedimentos en ecosistemas de manglar también han sido objeto de estudio en muchos países del mundo.

Los metales pesados en los sedimentos de manglar han sido objeto de estudio en países como Arabia Saudita, prueba de ello, es el estudio de los mismos, en la costa central del Golfo Árabe. En el año 2018 se recolectaron 18 muestras de sedimentos para el análisis de Al, V, Cr, Mn, Cu, Zn, Cd, Pb, Hg, Sr, As, Fe, Co, y Ni. Los resultados indicaron que la distribución de algunos metales estaba controlada en gran medida por los insumos antropogénicos, mientras que otros eran de origen indígena y estaban más fuertemente asociados con la distribución de aluminio y carbono orgánico total en los sedimentos. Los valores promedio de Sr, V, Hg, Cd, Cu, Ni, As y Cr encontrados, fueron

mayormente superiores a los registrados en el mar Mediterráneo, el mar Rojo, el golfo de Aqaba, el mar Caspio, y la costa de Tanzania, esto se debió al desarrollo de infraestructura costera alrededor de los manglares, los derrames de petróleo y los efluentes petroquímicos y de desalinización de la ciudad industrial de Al-Jubail (Al-Kahtany *et al.*; 2018).

Algo semejante realizaron en China, para el año 2019 se evaluó la variación espacial y el riesgo ecológico de metales pesados en sedimentos de manglar. El muestreo fue realizado en 6 estaciones, las cuales contenían niveles más altos de Zn, Cr, Pb y Cu que los otros metales pesados (Co, Ni, Mo, Cd y As), esto sugirió que la contaminación actual de metales pesados a lo largo de la costa en el sur de China está dominada principalmente por esos 4 metales. La concentración máxima de Mo fue de 3,2 µg/g, mientras que las concentraciones máximas para Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb y As fueron respectivamente de 95,4 µg/g, 15,8 µg/g, 29,2 µg/g, 77,6 µg/g, 282,1 µg/g, 3,5 µg/g, 63,8 µg/g y 20,1 µg/g, respectivamente. La concentración mínima de Cu fue de 13,6 µg/g, la Mo de 1,1 µg/g, la de Cr de 42 µg/g, la de Co de 3,4 µg/g, la de Ni de 9,7 µg/g, la de Zn de 11,8 µg/g, la de Cd de 0,5 µg/g, la de Pb de 11,5 µg/g y la de Ad de 4,0 µg/g (Shi *et al.*; 2019)

Por su parte, en el Salvador Landaverde y Rivas (2019) analizaron sedimentos de manglar en zonas de reproducción de *Anadara tuberculosa* en la Bahía De Jiquilisco Usulután, encontrando concentraciones promedio de arsénico que van desde los 6,63 mg/ Kg a 12,02 mg/Kg; para cromo las concentraciones promedios se encontraron en un rango de 1,69 mg/ Kg a 3,56 mg/ Kg; en el caso de níquel el rango de concentraciones

promedio estuvo entre 0,14mg/Kg y 0,91 mg/Kg y para plomo se encontraron concentraciones promedio desde 4,89 mg/kg a 9,27 mg/ Kg.

En Ecuador, Echeverría (2019), determinó metales en sedimentos de la Reserva Ecológica Manglares Cayapas Mataje, Provincia De Esmeraldas, encontrando concentraciones de plomo desde los 22,43 mg/Kg hasta 54,13 mg/Kg; en el caso de cadmio la mínima concentración fue de 0,65 y la máxima fue de 1,80. También, Pernía *et al* (2018) evidenciaron una alta contaminación por metales pesados en el Estero Salado, ubicado en la ciudad de Guayaquil, en la costa de Ecuador; los resultados de plomo y cadmio encontrados superaron los límites permisibles por la normativa canadiense y ecuatoriana.

De la misma manera, en el 2016 en Brasil también se analizaron sedimentos de manglares, un ejemplo de ello es el estudio de metales traza (Cd, Pb, Zn, Cu, Al y Fe) y materia orgánica realizado en sedimentos de dos estaciones de manglares tropicales, NE Brasil (Estuario del río Coreaú frente a la costa noreste de Brazi). La cuantificación de la MO osciló entre 1,82 y 3,6% en la estación 1 y 2,45 a 5.3% en la estación 2 (el tamaño de partícula influyó directamente en el contenido de MO de los sedimentos). La concentración de Al (60,074 mg/kg) encontrada en las capas superficiales de la estación 2 fue mayor que la concentración de aluminio encontrada en la estación 1 (17,110 mg · kg), para plomo se encontraron concentraciones promedios que van desde 2 a 19 mg/kg y para cadmio <1,2 mg/kg (Miola et al,; 2016).

En Colombia, el contenido de metales también ha sido evaluado en ecosistemas de manglar. En el año 2008 se evaluó la distribución de Pb, Cd Y Zn (no biodisponibles y potencialmente biodisponibles) en distintos perfiles de sedimento asociado a *Rhizophora*

Mangle en el Río Sevilla - Ciénaga Grande De Santa Marta, este estudio arrojó que la materia orgánica se hace menor a medida que la profundidad aumenta y que los altos valores encontrados en los primeros 15 cm (20% a 40%) se deben a que las muestras fueron tomadas cerca de las raíces de los árboles de manglar. En el caso del cadmio, la menor concentración no biodisponible fue de 0,142 µg/g, para plomo La máxima concentración de Pb potencialmente biodisponible fue de 9,6 µg/g y la mayor no biodisponible fue de 92 µg/g (Parra y Espinosa, 2008).

También, Espinosa *et al* (2011) realizaron una investigación donde se evaluó el contenido de metales en las fracciones geoquímicas del sedimento superficial asociado a manglares de la Ciénaga Grande De Santa Marta, encontrando concentraciones promedio de arsénico de hasta 25,6 µg/g; para cadmio el rango de concentraciones promedios estuvo entre 1,04 y 2,99 µg/g; para plomo entre 29,2 µg/g y 81,7 µg/g, para cromo entre 34,57 µg/g y 50,9 µg/g, para manganeso entre 77,9 µg/g y 160 µg/g y para níquel entre 8,30 µg/g y 19,8 µg/g. Para MO el mayor porcentaje encontrado fue de 27.3%.

7. DISEÑO METODOLÓGICO

7.1. Área de estudio: el muestreo se realizó en bosque de manglar ubicado cerca de la desembocadura del río Atrato y bosque de manglar ubicado en la ensenada de Río Negro, ambos lugares se encuentran en el Golfo de Urabá - Colombia. En la tabla 7 se muestran las estaciones (parcelas); donde se realizaron los muestreos; mientras que la figura 7 muestra gráficamente la ubicación de estas coordenadas.

Tabla 7. Coordenadas puntos de muestreo

Sector	Estación	Parcela	Ubicación (coordenadas)	
			N	W
Delta del Río Atrato	Bahía Marirrio	Marirrio 2	8 02 10.3	76 52 39.6
	Bahía La Paila	Bahía La Paila	8 03 19.0	76 51 56.2
	Brazo Matuntugo	Matuntugo	8 07 21.8	76 51 11.0
	Bahía Coco Grande	Bocas del Atrato	8 05 25.1	76 50 36.1
	Yerbasal	Yerbasal	8 14 59.9	76 57 03.6
	Bahía El Roto	Bahía El Roto	8 10 37.1	76 54 42.2
Ensenada de Rionegro	Caño Urabalito	Urabalito o Ensenada de Rionegro 2	8 29 58.8	76 49 47.3
	Ensenada de Rionegro	Ensenada de Rionegro1	8 32 20.5	76 55 02.1

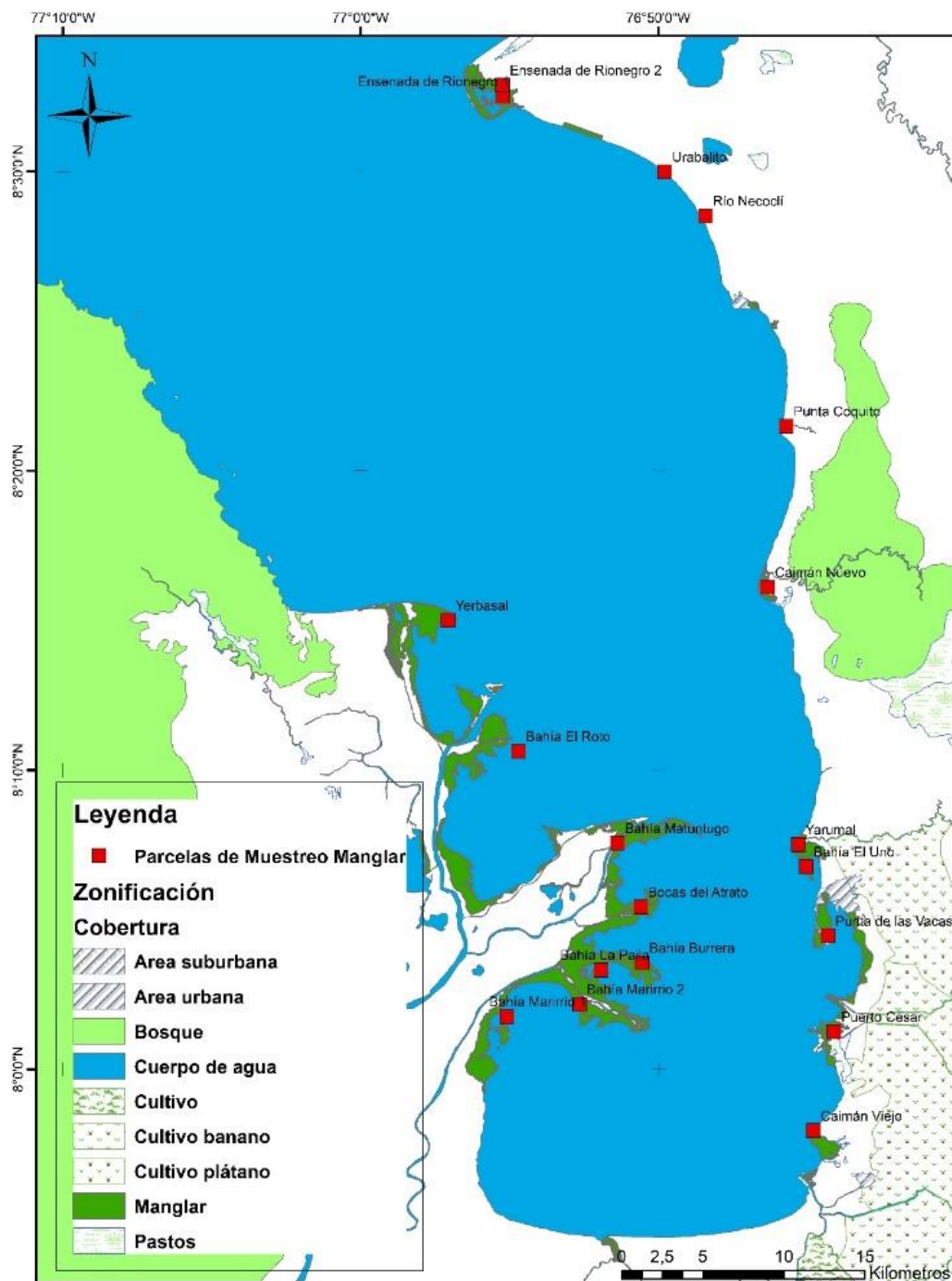


Figura 7. Ubicación geográfica estaciones de muestreo

7.2. MUESTREO: Debido a que los manglares son ecosistemas con características peculiares en donde la accesibilidad a algunos lugares de estos se ve obstruida, y también a la falta de una metodología estandarizada para muestreo en sedimento de manglar, el tipo de muestreo que se usó fue no probabilístico y a conveniencia del investigador. Así mismo, debido a que los metales en sedimento son acumulables con el tiempo, y que de acuerdo a Simpson y Batley (2016), la frecuencia del muestreo realizado en los estudios de sedimento está condicionada por los cambios de las industrias (por ejemplo, condiciones de descarga), se hizo una campaña de muestreo.

Se ubicaron a gran escala dos zonas de muestreo, una zona asociada a la desembocadura del Rio Atrato y una zona alejada de la zona de influencia del Rio (Ensenada de Rio Negro). En la ensenada de Rio Negro se tomaron muestras en dos parcelas (ensenada 1 y ensenada 2) y en la desembocadura del Rio se tomaron muestras en 6 parcelas (Bocas de Atrato, Matuntugo, El Roto, La Paila, Yerbasal y Marirrio). En total se muestrearon 8 parcelas, cada una de ellas con un área de 100m² (10 de largo por 10 de ancho). Se escogieron estos puntos de muestreo debido a que son lugares donde la corporación autónoma regional realiza monitoreo de condiciones fisicoquímicas y sucesiones vegetales; por tanto, son zonas conocidas y sobre las cuales había certeza de que el acceso era posible y se podía hacer el muestreo. Para cada parcela se tomaron 3 muestras, una muestra al inicio de la parcela, una en la parte media y la otra hacia el final de la parcela, de manera que la muestra obtenida fuera representativa de las condiciones de esta. En vista de que aún no hay una metodología estandarizada para el muestreo de sedimentos en ecosistemas de manglar, en la figura 8 se representa gráficamente la ubicación de la toma de las 3 muestras dentro de cada parcela.

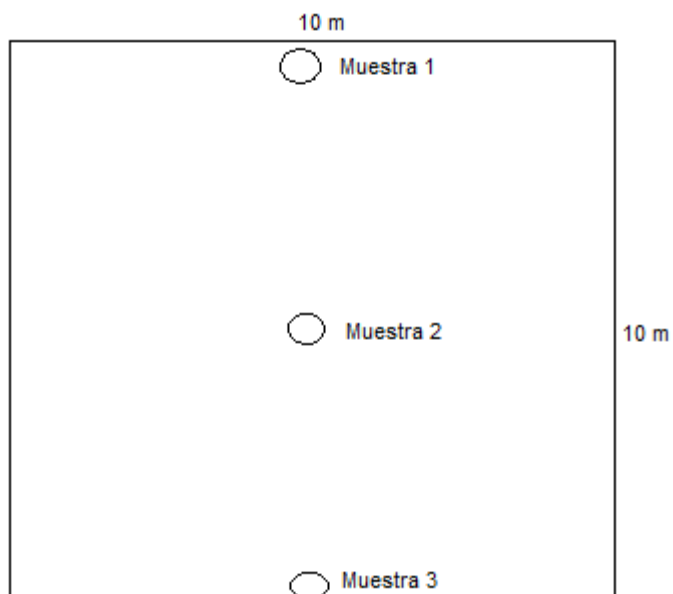


Figura 8. Ubicación de los puntos de muestreo en cada parcela

Siguiendo las recomendaciones del INVEMAR (2003) en su manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos para la colección del sedimento; se utilizaron tubos cilíndricos de PVC de 1m de largo y 5 cm de diámetro, procurando tomar la muestra de los primeros 10 cm, se evitó usar equipos contruidos de metal que pudieran contaminar la muestra. El sedimento se depositó en bolsas con cierre hermético evitando cualquier contaminación cruzada, se rotularon las muestras inequívocamente con el lugar y hora de muestreo, así como con el nombre de quien realizó la toma, posteriormente se transportaron hasta el laboratorio conservando siempre la cadena de frío. Como las muestras no se analizaron inmediatamente llegaron al laboratorio, se mantuvieron congeladas a -20°C hasta su tratamiento para el análisis. En las figuras 9 y 10 se muestra la toma de la muestra y el ecosistema de manglar de la desembocadura del río Atrato.



Figura 9. Toma de muestras



Figura 10. Manglar desembocadura Rio Atrato

7.3. FASE DE LABORATORIO

7.3.1. Secado de las muestras: las muestras fueron secadas mediante liofilización; para ello, se congelaron a -20°C y luego en el liofilizador fueron sometidas a vacío con ayuda de una bomba de succión para que el agua se evaporara sin necesidad de pasar a estado líquido.

7.3.2. Tamizaje: Las muestras fueron tamizadas con el objetivo de analizar la porción de limos y arcillas, para ello el sedimento se tamizó pasándolo por una malla de $63\ \mu\text{m}$.

7.3.3. Digestión: el proceso de digestión para metales se realizó basado en la norma EPA 3050 B (acid digestion of sediments, sludges, and soils) y en las recomendaciones del fabricante del equipo usado en la digestión del sedimento (Ethos one-Milestone). En efecto, la digestión de las muestras se efectuó mediante una digestión asistida cerrada en un horno microonda (Ethos One). Para ello, en un vaso de digestión (Ethos one) se pesaron entre 0.1 g y 0.25 g de muestra seca, luego se le adicionaron 6 ml de ácido nítrico, 1 mL de ácido perclórico y 1 mL de peróxido de hidrogeno. Se selló bien el vaso para evitar que durante la digestión hubiera pérdidas de los analitos y se digestó siguiendo las sugerencias del fabricante del equipo para la matriz sedimento.

Luego de la digestión, se dejó enfriar las muestras y se diluyeron a 15mL, posteriormente se filtraron con filtro whatman 40, quedando así la muestra lista para el análisis.

7.3.4. Cuantificación de metales pesados y materia orgánica: Los metales a excepción del mercurio se analizaron por espectroscopía de absorción atómica (A.A), el equipo utilizado fue un espectrofotómetro de absorción atómica Thermo Scientific iCE 3000 SERIES, el cual tiene acoplado un automuestreador con horno de grafito para la cuantificación de metales a nivel traza. Para la técnica por llama el equipo trabaja con aire-acetileno o con oxidonitroso-acetileno, en cambio, para horno de grafito el gas utilizado es el argón. Para esta última, el equipo además debe contar con un enfriador y una fuente. Los análisis por A.A se sustentaron en normas EPA, 7000 B “flame atomic absorption spectrophotometry” para la técnica por llama y 7010 “graphite furnace atomic absorption spectrophotometry” para la absorción atómica por horno de grafito.

Por llama se analizó cromo, manganeso, aluminio y níquel, todos ellos con aire-acetileno, y todas las muestras fueron analizadas por triplicado; mientras que por horno de grafito se analizó arsénico, cadmio, y plomo, todos ellos con horno normal. Para estos metales, se hizo una sola lectura por muestra, debido a que las altas concentraciones de los reactivos, pueden deteriorar el horno. Cabe resaltar que para garantizar la validez de los resultados se analizó un estándar de sedimento (MESS-4) cada que se analizaron las muestras y tanto las muestras como los estándares se analizaron bajo las mismas condiciones. En el anexo 1 se encuentran todas las condiciones de análisis para cada metal (rango de trabajo, rampa de temperatura en caso de los metales analizados por horno de grafito, ionizante o modificador de matriz, factor de dilución y peso de la muestra).

El mercurio se analizó bajo la técnica estipulada en la EPA 7473, “Mercury In Solids And Solutions By Thermal Decomposition, Amalgamation, And Atomic Absorption

Spectrophotometry". En esta técnica, no se necesita la digestión de la muestra, por tanto, después de la liofilización y tamizaje antes mencionados, se tomó una fracción del sedimento, se pesó y se analizó directamente en un analizador directo de mercurio (DMA-80 Tri Cell, Milestone).

La materia orgánica, se analizó usando la metodología de pérdida por calcinación a 550°C (Norma Chilena, protocolos, Sadzawaka *et al.*, 2005). En un crisol se pesaron 5 g de muestra seca, luego se le agregó ácido clorhídrico 0.05 N hasta que el burbujeo desapareciera (eliminación de carbonatos), luego se secó la muestra en un horno a una temperatura de 70±5 °C hasta peso constante. Luego se pesó la muestra seca y se colocó en la mufla a una temperatura de 550°C por dos horas, posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente y se pesó nuevamente. El contenido de materia orgánica, expresado en porcentaje en base seca a 70±5 °C, se calculó según la siguiente ecuación:

$$\text{materia orgánica (\%)} = \frac{(a - b)}{a} * 100$$

Dónde:

a = peso, en g, de la muestra seca a 70±5°C, antes de la calcinación

b = peso, en g, de la muestra calcinada a 550°C

7.4. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN DE LOS

ECOSISTEMAS: Para determinar el grado de contaminación del sedimento en las distintas estaciones de muestreo, se hizo una comparación de los resultados del presente estudio con los valores de referencia NOAA (Buchman, 2008) para sedimento marino, de igual manera, se tuvo en cuenta las referencias de guías estadounidense, esto teniendo en cuenta la ausencia de normativas colombianas relacionadas a la calidad de sedimentos para la protección de la vida acuática. También, se compararon los resultados de la presente investigación, con investigaciones similares, de manera que pueda verse como están las estaciones de muestreo, respecto a ecosistemas de otros países y otros lugares de Colombia.

7.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO: los datos se analizaron mediante el paquete estadístico Statgraphics Centurión XVI. Para determinar diferencias significativas entre las concentraciones de cada parámetro en cada sitio de muestreo se realizó análisis de varianza ANOVA, previa verificación de la normalidad de los datos. Para comparación de los grupos se usó el test LSD con un 95% de confianza. Para determinar la correlación entre las distintas variables en las estaciones de muestreo y para determinar si había o no diferencias significativas entre los grupos se realizó análisis de componentes principales.

8. RESULTADOS

8.1. CONCENTRACIÓN DE LOS METALES PESADOS Y MATERIA ORGÁNICA EN LOS DIFERENTES SITIOS DE MUESTREO: en la tabla 8 se encuentran las concentraciones promedio obtenidas en cada estación de muestreo y la dispersión de los datos para cada parámetro, representada como coeficiente de variación.

Tabla 8. Resultados de concentraciones promedio.

Concentración de los metales (peso seco) en mg/kg									
	Cd	Pb	As	Hg	Ni	Cr	Mn	Al	MO
Ensenada 1	0,15 ^{24.5}	0,29 ⁷⁸	5,21 ⁵³	0,18 ²	13,8 ⁵⁶	33,23 ⁴⁶	100 ⁷⁸	9841 ⁵⁴	8,01 ^{9.02}
Ensenada 2	0,13 ^{28.8}	0,48 ⁷⁹	5,56 ⁵⁹	0,16 ^{37.3}	18,11 ⁷⁰	53,49 ⁶⁷	307 ⁸¹	20732 ⁷⁹	9,22 ^{6.5}
BDA	0,18 ^{7.4}	1,14 ³⁰	12,29 ²⁸	0,14 ^{16.5}	37,9 ¹⁷	117,17 ¹⁵	406 ²⁴	26890 ³¹	5,95 ²⁶
Matuntugo	0,2 ^{8.4}	1,17 ^{1.3}	12,75 ¹²	0,19 ^{22.4}	37,14 ⁸	120,96 ¹²	576 ²⁵	26657 ¹²	4,83 ^{9.3}
Marirrio	0,1 ^{8.2}	0,26 ²³	1,97 ¹³	0,13 ^{53.3}	8,94 ⁸	42,45 ¹²	136 ⁵⁶	11552 ⁴⁰	8,19 ^{50.8}
La paila	0,15 ^{61.7}	0,48 ⁸³	4,44 ¹¹²	0,11 ²⁰	13,29 ⁴¹	43,23 ³⁹	248 ⁸⁵	13261 ⁷²	8,04 ¹⁰
El roto	0,23 ^{37.3}	0,82 ²⁵	9,23 ⁹⁸	0,22 ^{6.1}	29,59 ³⁴	81,69 ⁴	432 ⁴⁸	5219 ⁵⁵	1,77 ^{6.3}
Yerbasal	0,29 ³⁴	0,86 ¹⁷	8,04 ^{4.7}	0,18 ^{94.6}	26,67 ¹⁸	77,36 ⁵	208 ²⁰	28497 ⁵	5,76 ^{32.5}

*Los números encima de cada concentración representan la dispersión (coeficiente de variación) de las repeticiones dentro de cada parcela

Como se puede observar en la tabla anterior, el coeficiente de variación para algunas mediciones es alto; esto puede deberse a que cada concentración está dada por el promedio de 3 muestras tomadas en sitios y momentos distintos dentro de cada parcela, lo que a su vez evidencia la heterogeneidad del sustrato superficial de los manglares asociados a la desembocadura del río Atrato y a la ensenada Río Negro.

8.2. RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES: de acuerdo al análisis de componentes principales se extrajeron 2 componentes que explican el 77,3656% de la variabilidad en los datos originales. El gráfico de componentes principales (figura 11) demostró que todas las variables a excepción del mercurio se encuentran del lado positivo respecto al origen, traduciendo esto una relación positiva entre ellas, relación que es más estrecha entre variables como Cr, Pb, Mn, As, Ni, y Cd. También se observa que el comportamiento de estas 5 variables puede ser independiente al del de mercurio, de la misma manera, el del mercurio puede ser independiente del aluminio y la materia orgánica. Además, puede observarse que la distancia entre las variables y las líneas de referencia 0 son similares lo que significa que la contribución de cada una de ellas a los componentes es similar. De lo anterior se podría decir que la fuente de contaminación del aluminio, del mercurio y de materia orgánica es diferente si y con el resto de los metales.

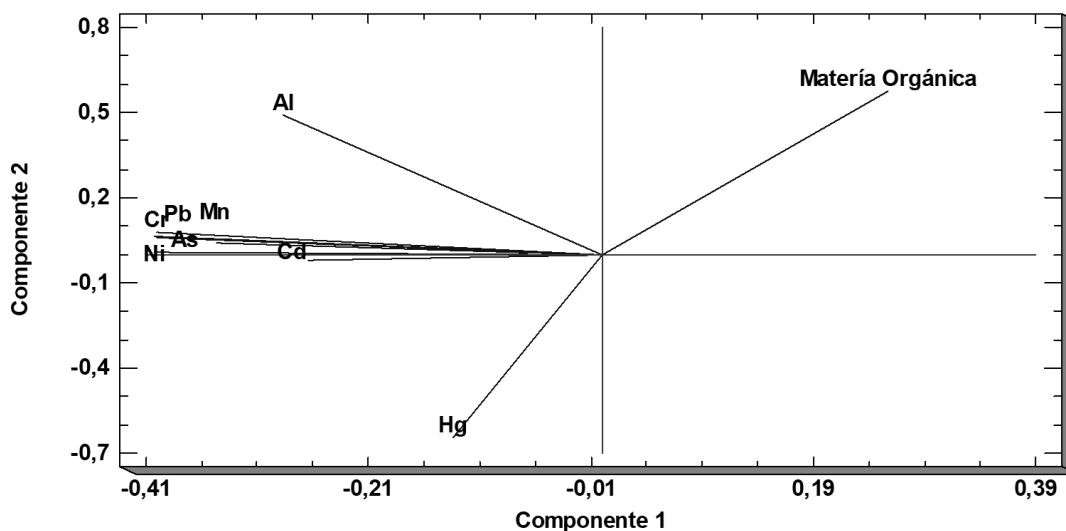


Figura 11. . Gráfico de componentes principales

8.3. NIVEL DE CONTAMINACION DE LOS MANGLARES

8.3.1. Nivel de contaminación de los manglares por Cadmio: el rango de concentraciones de cadmio estuvo entre 0,1 mgCd/Kg y 0,29 mgCd/Kg lo que demuestra que en todas las estaciones de muestreo las concentraciones están por debajo de los valores de referencia de la NOAA y de la guía del Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York División de Pesca, Vida Silvestre y Recursos Marinos, 2014. Los valores más altos se presentaron en Matuntugo con 0,29 mg/Kg-1, seguido del Roto con 0,23 mg/Kg-1 y los valores más bajos en Marirrio con 0,10 mg/Kg-1 y La ensenada punto 2 con 0,13 mg/Kg-1; sin embargo, como se muestra en la figura 12 los valores no difieren mucho uno del otro.



Figura 12. Comparación entre cadmio y niveles de referencia NOAA y guía estadounidense.

*Las letras sobre las barras representan la variabilidad de las concentraciones de cadmio en las estaciones. Letras iguales indican que no existe diferencias estadísticamente significativas entre la concentración del metal en las diferentes estaciones de muestreo. PEL (nivel de efectos probables) y TEL (nivel de efecto umbral) de la NOAA. Clase A, clase B y clase C, representan las categorías de contaminación de la guía para la detección y evaluación de sedimentos contaminados Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York.

8.3.2. Nivel de contaminación de los manglares por plomo: el rango de concentraciones para plomo estuvo entre 0,26 mgPb/Kg y 1,17 mgPb/Kg lo que demuestra que en todas las estaciones de muestreo las concentraciones están por debajo de los valores de referencia de la NOAA y de la guía del Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York División de Pesca, Vida Silvestre y Recursos Marinos. Los valores más altos de plomo se encontraron en Matuntugo y Bocas de Atrato (1,17 mgPb/Kg y 1,14 mgPb/Kg, respectivamente) mientras que los valores más bajos se encontraron en Marirrio y la ensenada punto 1 (0,26 y 0,29 mg/Kg-1 respectivamente), llegándose a presentar diferencias significativas entre algunas estaciones como se muestra en la figura 13.

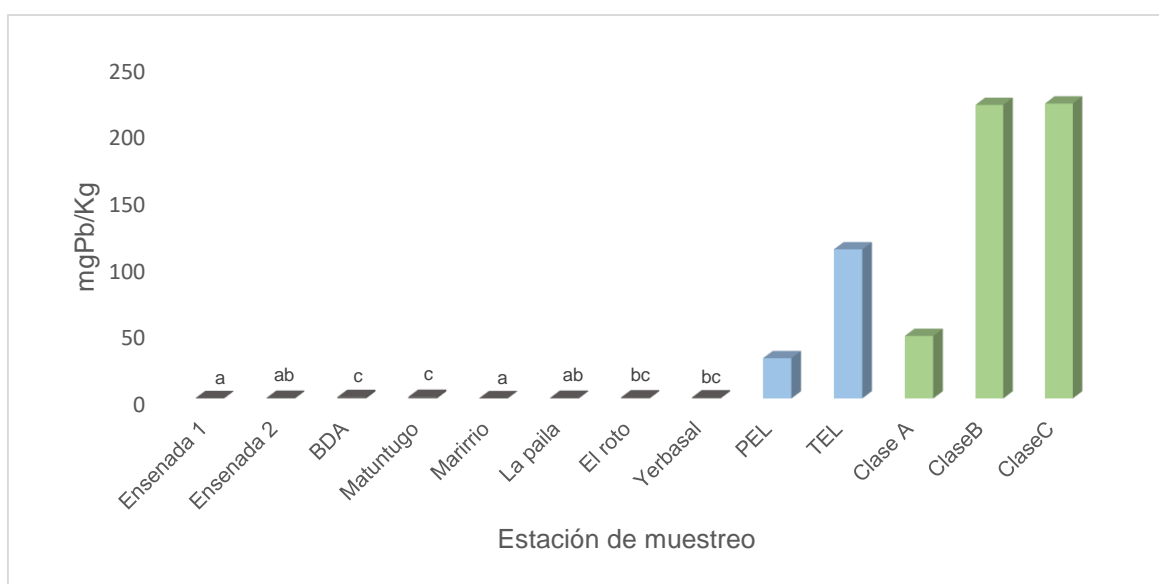


Figura 13. Comparación entre plomo y niveles de referencia NOAA y guía estadounidense.

**Las letras sobre las barras representan la variabilidad de las concentraciones de plomo en las estaciones. Letras iguales indican que no existe diferencias estadísticamente significativas entre la concentración del metal en las diferentes estaciones de muestreo. PEL (nivel de efectos probables) y TEL (nivel de efecto umbral) de la NOAA. Clase A, clase B y clase C, representan las categorías de contaminación de la guía para la detección y evaluación de sedimentos contaminados Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York.

8.3.3. Nivel de contaminación de los manglares por arsénico: las concentraciones para arsénico estuvieron entre 1,97 mgAs/Kg y 12,75 mgPb/Kg lo que evidencia que en cuatro estaciones (BDA, Matuntugo, El Roto y Yerbasa), las concentraciones superan el TEL de la NOAA, así mismo, tres de ellas (BDA, Matuntugo y El Roto) se encuentran en el rango de la clase B de la guía del Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York División de Pesca, Vida Silvestre y Recursos Marinos; en el resto de estaciones, las concentraciones se encuentran por debajo de los valores de referencia. Los valores más altos se presentaron en Matuntugo con 12,75 mgAs/Kg, seguido del Bocas de Atrato con 12,29 mgAs/Kg, mientras que los valores más bajos se encontraron en Marirrio con 1.97 mgAs/Kg y La Paila con 4.44 mgAs/Kg-. Se presentaron diferencias significativas entre algunas estaciones como se muestra en la figura 14.

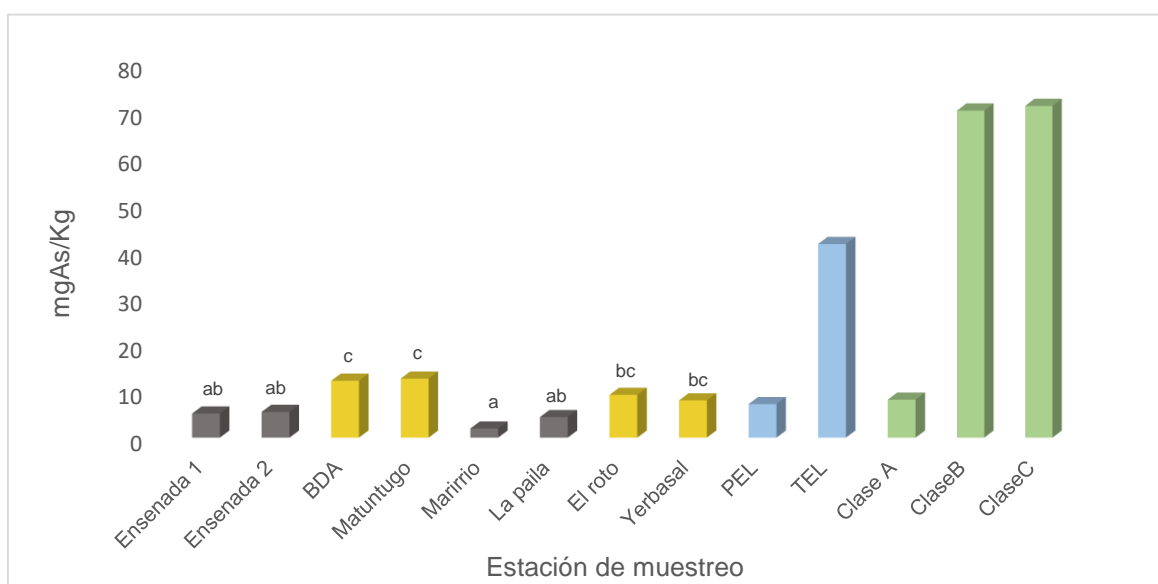


Figura 14. Comparación entre arsénico y niveles de referencia NOAA y guía estadounidense

*Las letras sobre las barras representan la variabilidad de las concentraciones de arsénico en las estaciones. Letras iguales indican que no existe diferencias estadísticamente significativas entre la concentración del metal en las diferentes estaciones de muestreo. PEL (nivel de efectos probables) y TEL (nivel de efecto umbral) de la NOAA. Clase A, clase B y clase C, representan las categorías de contaminación de la guía para la detección y evaluación de sedimentos contaminados Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York.

**Las barras en amarillo representan las estaciones en donde las concentraciones superan al menos una de los mínimos valores de referencia (PEL o Clase A)

8.3.4. Nivel de contaminación de los manglares por mercurio: las concentraciones para mercurio estuvieron entre 0,1 mgHg/Kg y 0,22 mgHg/Kg lo que demuestra que solo en la Ensenada 1 y en la Paila se encontraron concentraciones por debajo de los mínimos valores de referencias de la NOAA y de la guía del Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York División de Pesca, Vida Silvestre y Recursos Marinos; sin embargo, ninguna de las otras estaciones supera los valores TEL la NOAA ni tampoco los valores de la Clase C de la normatividad de estados unidos. El valor más alto se presentó en El Roto con 0,22 mg/Kg, mientras el valor más bajo se presentó en la ensenada punto 1 con 0,10 mg/Kg. No se presentaron diferencias significativas entre las estaciones como se muestra en la figura 15.

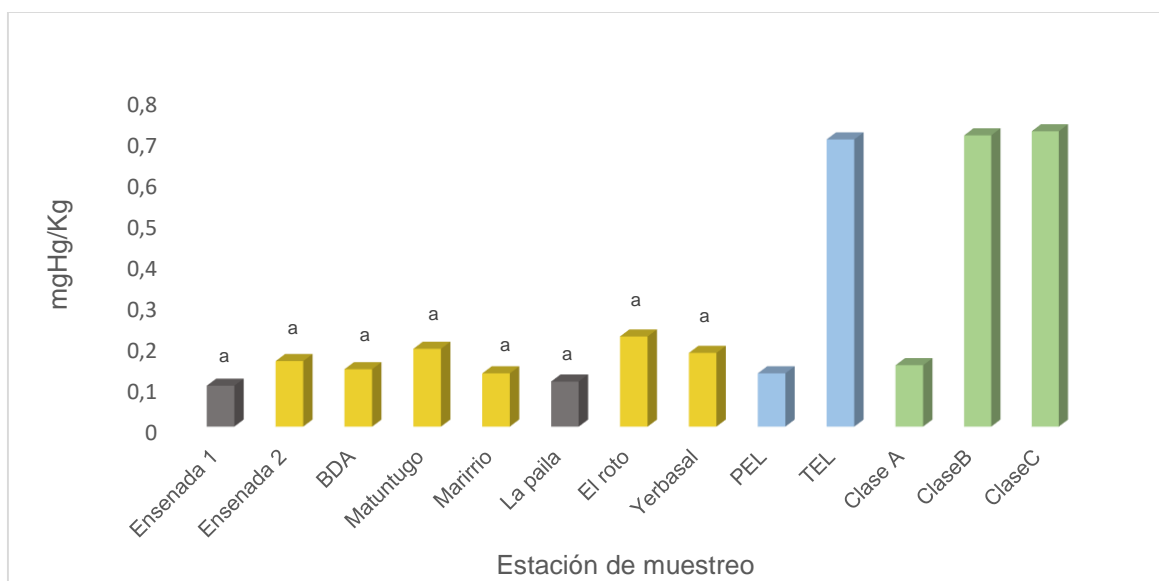


Figura 15. Comparación entre mercurio y niveles de referencia NOAA y guía estadounidense

* Las letras sobre las barras representan la variabilidad de las concentraciones de mercurio en las estaciones. Letras iguales indican que no existe diferencias estadísticamente significativas entre la concentración del metal en las diferentes estaciones de muestreo. PEL (nivel de efectos probables) y TEL (nivel de efecto umbral) de la NOAA. Clase A, clase B y clase C, representan las categorías de contaminación de la guía para la detección y evaluación de sedimentos contaminados Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York.

**Las barras en amarillo representan las estaciones en donde las concentraciones superan al menos una de los mínimos valores de referencia (PEL o Clase A)

8.3.5. Nivel de contaminación de los manglares por níquel: el rango de concentraciones de níquel fue de 8,94 mgNi/Kg a 37,9 mgNi/Kg demostrando que 5 estaciones (Ensenada 2, BDA, Matuntugo, El Roto y Yerbasal) superaron los valores de referencia del TEL de la NOAA, y están en el rango de la clase B de las referencias de la guía del Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York División de Pesca, Vida Silvestre y Recursos Marinos, no obstante, en ninguna estación se encontraron valores por encima del PEL de la NOAA ni de la clase C de la guía del Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York División de Pesca, Vida Silvestre y Recursos Marinos. Los valores más altos se presentaron en Matuntugo y Bocas de Atrato (37,13 y 37,90 mgNi/Kg respectivamente), mientras el valor más bajo se presentó en la Marirrio (8,94 mgNi/Kg-1). Hubo diferencias significativas entre varias estaciones de muestreo como se evidencia en la figura 16

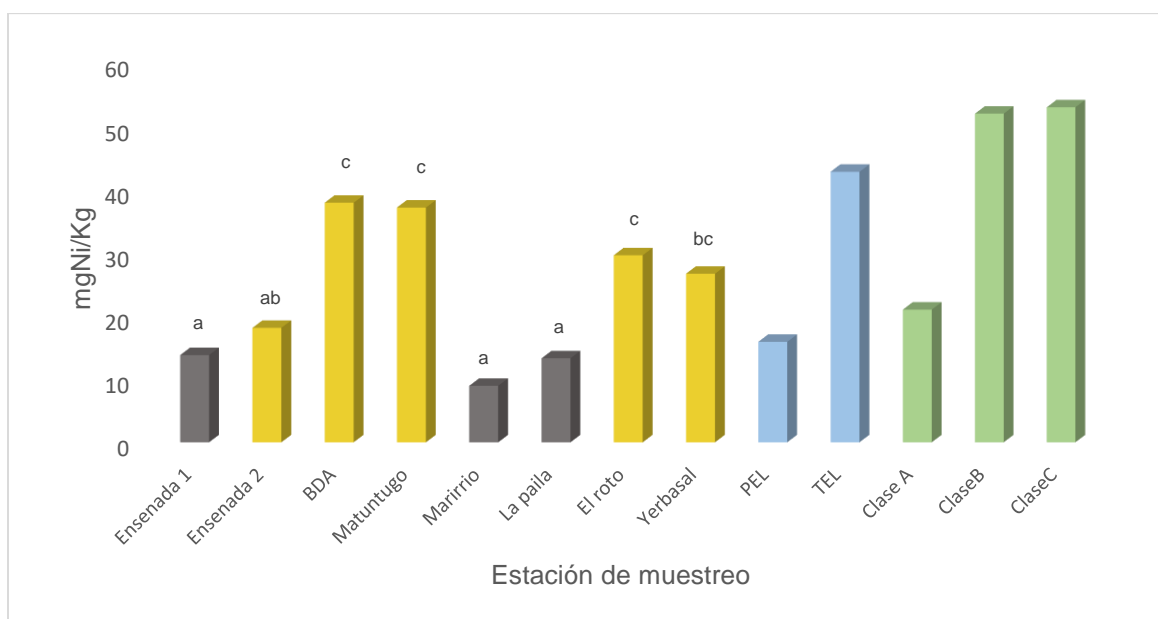


Figura 16. Comparación entre níquel y niveles de referencia NOAA y guía estadounidense

* Las letras sobre las barras representan la variabilidad de las concentraciones de níquel en las estaciones. Letras iguales indican que no existe diferencias estadísticamente significativas entre la concentración del metal en las diferentes estaciones de muestreo. PEL (nivel de efectos probables) y TEL (nivel de efecto umbral) de la NOAA. Clase A, clase B y clase C, representan las categorías de contaminación de la guía para la detección y evaluación de sedimentos contaminados Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York.

**Las barras en amarillo representan las estaciones en donde las concentraciones superan al menos una de los mínimos valores de referencia (PEL o Clase A)

8.3.6. Nivel de contaminación de los manglares por cromo: las concentraciones de cromo se encontraron entre 8,94 mgCr/Kg y 37,9 mgCr/Kg lo que demuestra que 5 estaciones (BDA, Matuntugo, Ensenada 2, El Roto y Yerbasal) presentan concentraciones por encima del TEL de la NOAA, sin embargo, ninguna supera el PEL. Cuatro estaciones (BDA, Matuntugo, El Roto y Yerbasal), se encuentran en el rango de la clase B de las referencias de la guía del Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York División de Pesca, Vida Silvestre y Recursos Marinos. Los valores más altos se presentaron en Matuntugo y Bocas de Atrato (121 mgCr/Kg y 117 mgCr/Kg respectivamente), mientras el valor más bajo se presentó en la ensenada punto 1 con 33 mg/Kg. Se presentaron diferencias significativas entre algunas estaciones como se muestra en la figura 17.

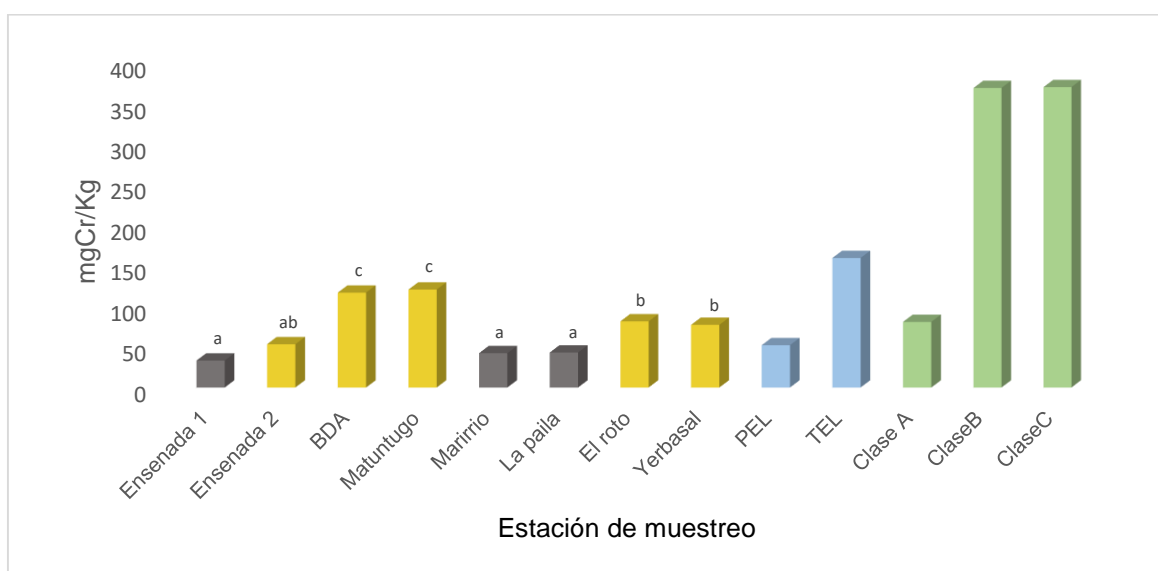


Figura 17. Comparación entre cromo y niveles de referencia NOAA y guía estadounidense

* Las letras sobre las barras representan la variabilidad de las concentraciones de cromo en las estaciones. Letras iguales indican que no existe diferencias estadísticamente significativas entre la concentración del metal en las diferentes estaciones de muestreo. PEL (nivel de efectos probables) y TEL (nivel de efecto umbral) de la NOAA. Clase A, clase B y clase C, representan las categorías de contaminación de la guía para la detección y evaluación de sedimentos contaminados Departamento de Conservación Ambiental del Estado de Nueva York.

**Las barras en amarillo representan las estaciones en donde las concentraciones superan al menos una de los mínimos valores de referencia (PEL o Clase A)

8.3.7. Nivel de contaminación de los manglares por manganeso: Para manganeso ninguna de las dos referencias usadas anteriormente lo contempla dentro de sus contaminantes, por tanto, se usaran los valores de la USEPA para determinar el grado de contaminación de los sedimentos. Las concentraciones para manganeso estuvieron entre 100 mgMn/Kg y 576 mgMn/Kg lo que demuestra que cuatro estaciones presentan concentraciones por encima del las referencias para suelos moderadamente contaminados, incluso las concentraciones en una de ellas está por encima de los valores para suelos muy contaminados. Los valores más altos para manganeso se encontraron en Matuntugo y El Roto (576 y 432 mg/Kg, respectivamente); el valor más bajo se presentó en la ensenada punto 1 con 100 mg/Kg-1. En Matuntugo, la concentración supera el valor de la USEPA para suelos muy contaminados, indicando la contaminación de este ecosistema por este metal.

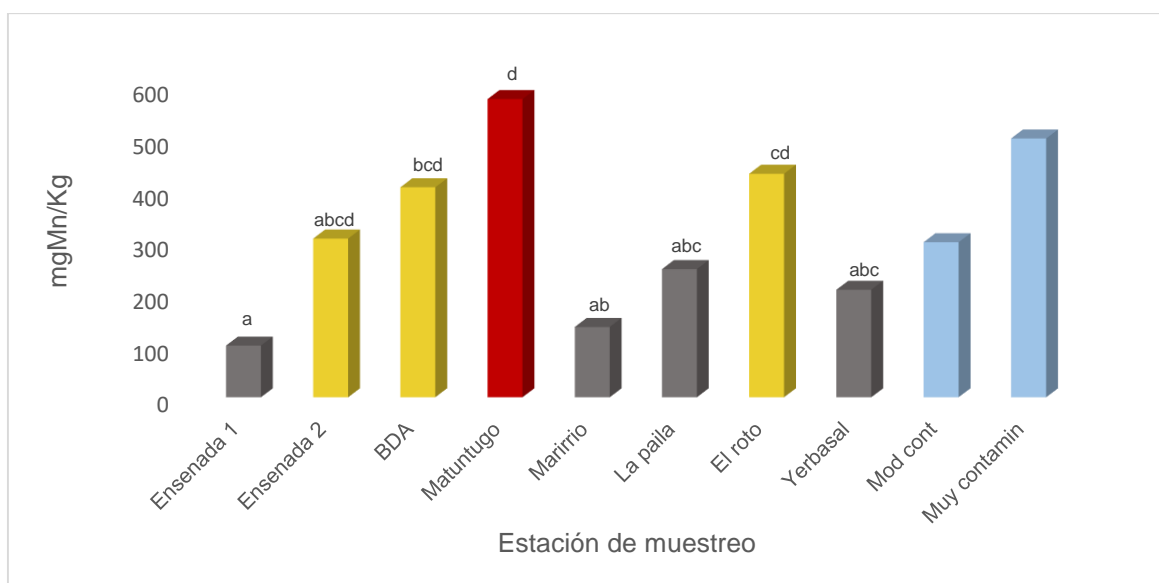


Figura 18. Comparación entre manganeso y niveles de referencia de la USEPA para suelos contaminados.

*Las letras sobre las barras representan la variabilidad de las concentraciones de manganeso en las estaciones. Letras iguales indican que no existe diferencias estadísticamente significativas entre la concentración del metal en las diferentes estaciones de muestreo. Mod cont y muy contamin representa los niveles de contaminación (moderadamente contaminado y muy contaminado, respectivamente) de la USEPA para suelos.

** Las barras en amarillo representan datos por encima del valor minino para suelos moderadamente contaminados y la barra en rojo representa la estación donde las concentraciones supera el valor de referencia para suelos muy contaminados.

8.3.8. Nivel de contaminación de los manglares por aluminio: No se encontraron guías que contemplaran al aluminio dentro de sus contaminantes a pesar de que en los últimos años el aluminio se ha convertido en un metal de interés ambiental puesto que se ha demostrado su toxicidad en ambientes con condiciones ácidas, como por ejemplo, se ha visto una disminución de organismos vivos como los peces en lagos acidificados con altas concentraciones de aluminio, también se han visto afectaciones en el ciclo reproductivo de aves pequeñas que viven cerca de aguas acidificadas (los huevos de varias especies de pájaros aparecen con paredes muy delgadas debido al aluminio ingerido a través de insectos que se desarrollan en aguas acidificadas). Para aluminio los valores más altos se presentaron en Yerbasal, Matuntugo y Bocas de Atrato (28497, 26887 y 26657 mgAl/Kg respectivamente), mientras el valor más bajo se presentó en El Roto (5219 mg/Kg-1). Se presentaron diferencias significativas entre algunas estaciones como se muestra en la figura 18.

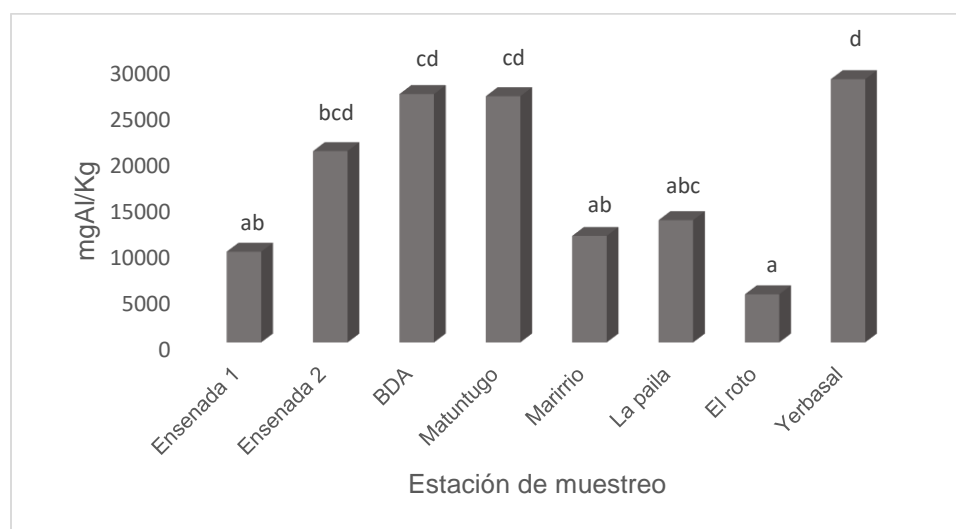


Figura 19. Concentraciones de aluminio.

Las letras sobre las barras representan la variabilidad de las concentraciones de plomo en las estaciones. Letras iguales indican que no existe diferencias estadísticamente significativas entre la concentración del metal en las diferentes estaciones de muestreo.

8.3.9. Nivel de contaminación de los manglares por materia orgánica: No se encontraron guías de referencia que contemplaran a la materia orgánica dentro de sus contaminantes, sin embargo, se tiene estipulado que los suelos tienen bajo contenido de MO cuando está por debajo de 2% y tienen alto contenido cuando esta supera el 5%. Los valores más altos para MO se presentaron en la ensenada 2 y Marirrio (9,22%, y 8,19% respectivamente), mientras el valor más bajo se presentó en El Roto (1,76%), siendo esta la única parcela donde el contenido de MO estuvo por debajo del 2%. El alto contenido de materia orgánica en algunas estaciones (Marirrio, Ensenada 1 y 2) puede indicar que los sedimentos de estas son más anóxicos en comparación con los sedimentos de las otras estaciones y que la productividad primaria también es mayor. Estos resultados concuerdan con las observaciones de campo, pues en estaciones como Ensenada 1, Ensenada 2, Yerbasa y Marirrio se observó que en los horizontes superficiales del suelo había mucha hojarasca coincidiendo así con Lacerda et al., (1995) quienes mencionan que “las hojas pueden ser un aporte significativo de materia orgánica al suelo”.

Por otro lado y debido a que la materia orgánica es una de los factores que influye en la solubilidad o movilidad de los metales en sedimento, es preciso mencionar que aunque la ensenada 1 es la estación donde de manera general se encontró la menor concentración de metales, también es una de las estaciones que tiene mayor concentración de MO, lo que indica que aunque esta estación tenga baja concentración de metales, la solubilidad influenciada por esta variable puede ser más alta que en estaciones como el roto donde las concentraciones de metales son mayores, sin embargo la MO es baja.

Para esta variable, se presentaron diferencias significativas entre algunas estaciones como se muestra en la figura 19.

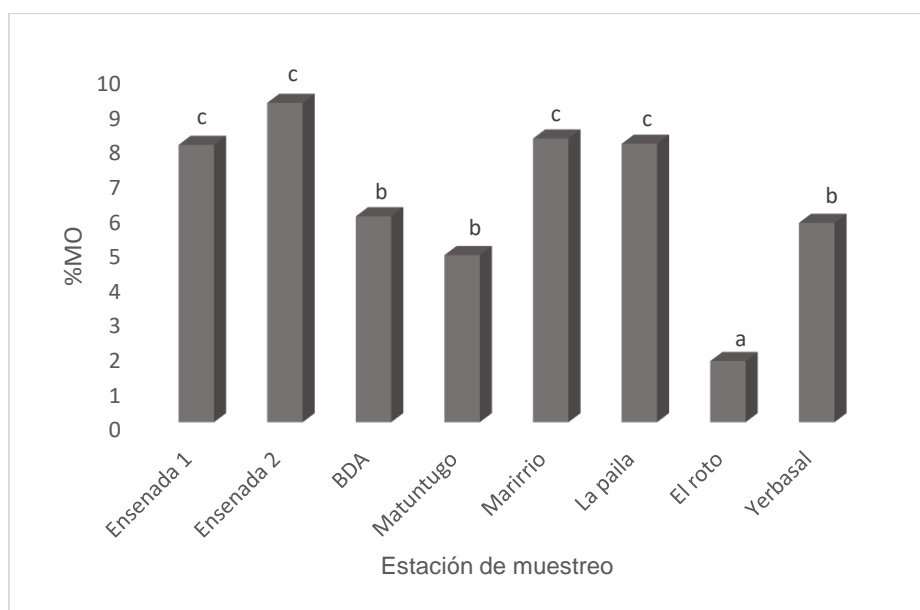


Figura 20. Concentraciones de MO.

Las letras (a, b, c, d) encima de las gráficas representan la variabilidad de las concentraciones de cromo en las estaciones. En las estaciones donde se comparten letras, las concentraciones fueron similares y guardan relación entre ellas (en las estaciones con las mismas letras no hay diferencias significativas, mientras que las estaciones en donde las letras son 100% diferentes se presentan diferencias significativas).

De acuerdo con estos resultados, se identificó que solo en la ensenada 1 no hay contaminación significativa que pueda amenazar la vida en este ecosistema, siendo entonces el más saludable dentro de los 8 puntos estudiados, en contraste con Bocas de Atrato, Matuntugo, Yerbasal y el Roto, que son los puntos más contaminados presentando entre 4 y 5 metales por encima de los valores TEL NNOA así como encontrándose en el rango de la clase B de la guía estadounidense. Cabe destacar que ningún metal en ninguna estación de muestreo supera la clase C de la guía de Estados Unidos ni el PEL de la NOAA; indicando según estas referencias, que los sedimentos no son potencialmente tóxicos para la vida acuática. No obstante, tomando como referencia

los valores de la USEPA (figura 18); Matuntugo presenta contaminación alta por manganeso, pues supera los 500 mgMn/kg.

Es de gran importancia señalar que las menores concentraciones de metales en la ensenada 1 pueden deberse a la lejanía de esta estación de asentamientos rurales y de la desembocadura del río Atrato, también al hecho de que sea un área protegida y actualmente poco intervenida antropicamente. También es necesario mencionar que las mayores concentraciones de los metales presentadas generalmente en Bocas De Atrato y Matuntugo pueden deberse a la presencia de asentamientos rurales cerca de las mismas, y a que estos carecen de alcantarillado y disposición de residuos que finalmente son vertidos directamente a los ecosistemas. También, cerca de estas dos estaciones se encuentran dos grandes bocas del río Atrato que desde mucho tiempo han sido usadas para transporte marítimo, y por ende están muy intervenidas por el hombre, principalmente con procesos de dragado. Esta es una situación que a futuro puede convertirse en un problema sanitario para las mismas comunidades, ya que si por alguna condición, los metales se movilizan hacia el agua, estos contaminantes pueden viajar a otros ecosistemas como el río Atrato que es la fuente de abastecimiento (sin tratamiento) de estas comunidades.

Aunque se estimó que las concentraciones de los metales aún no son potencialmente biotóxicas, si se comparan los resultados con las referencias NOAA, se observa que en estaciones como Matuntugo, Bocas de Atrato, El Roto y Yerbasal, se presenta una alerta para metales como níquel, cromo y manganeso pues las concentraciones en sus sedimentos se encuentran cercanas a los niveles donde son potencialmente biotóxicos; sin embargo, si se comparan las concentraciones con los valores de la guía

estadounidense, estos se alejan un poco de ese riesgo “cercano”. Lo anterior deja evidencia de la falta de unificación de valores de referencia entre las distintas guías normativas y/o referencias bibliográficas, también deja la incertidumbre a cerca del estado real de los sedimentos en estudio, ya que, como se mencionó anteriormente el estado de contaminación varía en relación a las referencias usadas para determinar el grado de contaminación de los sedimentos.

Por otro lado, se puede notar que la ausencia de una normativa o guía propia, obliga usar ajenas, las cuales evidenciándose que presentan diferencias de un país a otro puede que estén determinada por los tipos ecosistemas y las condiciones del lugar (país) donde se origina; en otras palabras, estamos extrapolando nuestros resultados a condiciones que puede que no nos apliquen.

Finalmente, debido a que las concentraciones de los metales generalmente están por debajo de los niveles donde estos son potencialmente tóxicos, no se sabe a ciencia cierta si están produciendo efectos tóxicos adversos sobre la vida acuática, por lo que es recomendable que se haga una bioevaluación que demuestre que los sedimentos no son tóxicos.

Avanzando en la discusión de resultados, se construye una tabla (tabla 9) que permite comparar los resultados de la presente investigación con resultados de investigaciones similares en el país y fuera de este.

Tabla 9. Comparación de resultados con investigaciones del país y extranjeras.

Concentración de metales en mg/kg											
Origen del sedimento	Lugar	Cd	Pb	As	Hg	Ni	Cr	Mn	Al	MO	Fuente
Manglar	Sur de China	0,83		76,6		40,35	75,74				Shi et al., 2016
Manglar	El salvador		4,89-9,27	6,63-12,02		0,14-0,91	1,69-3,56				Landaverde y Rivas (2019)
Manglar	Bahía De Jiquilisco - Ecuador	0,65-1,8	22,43-54,13								2019 Echeverría, M

Manglar	Brasil	<1,2	2,19						17110 - 60074	1,82- 5,3	Miola., et al 2015
Manglar	Parangipettai, costa sureste de la India-Premonsoon	0,2-1,08	6,56-21,44			2,68-13,64	12,12-77,76	30,12-188,76			Sundaramanickam, et al ., 2016
Manglar	Parangipettai, costa sureste de la India-Postmonsoon	1,12 - 1,80	14,92-30,12			6,28-25,16	14,76-80,36	32,84-845,2			Sundaramanickam, et al., 2016
Manglar	CGSM-Colombia	1,04 - 2,99	29,2-81,7			8,30-19,8	35,5-50,9	77,9-161			Espinosa , et al., en el año 2011
Marino	Boca Matuntugo, Colombia (feb 2018)	0.16	3.27		0,06						Invemar, 2019
Marino	Boca Matuntugo, Colombia (junio 2018)	0.09	1,22		0,05						Invemar, 2019
Marino	Ensenada Rio Negro (feb 2018)	0,1	7,8		0,07						Invemar, 2019
Marino	Ensenada Rio Negro (junio 2018)	0,05	0,51		0,04						Invemar, 2019
Manglar	Ensenada 1	0,15	0,29	5,21	0,1	13,86	33,23	100	9841		Presente Investigación
Manglar	Ensenada 2	0,13	0,48	5,56	0,16	18,11	54,16	307,2	20732		Presente Investigación
Manglar	BDA	0,18	1,14	12,29	0,14	37,9	117,2	406,2	26887		Presente Investigación
Manglar	Matuntugo	0,2	1,17	12,75	0,19	37,14	121	576	26657		Presente Investigación
Manglar	Marirrio	0,1	0,26	1,97	0,13	8,94	42,45	136	11552		Presente Investigación
Manglar	La paila	0,15	0,48	4,44	0,11	13,29	43,23	247,6	13261		Presente Investigación
Manglar	El roto	0,23	0,82	9,23	0,22	29,6	81,69	431,9	5219		Presente Investigación
Manglar	Yerbasal	0,29	0,86	8,04	0,18	26,67	77,36	208,1	28497		Presente Investigación

Las concentraciones de cadmio encontradas en el presente estudio, son similares a las encontradas por la RED-CAM en sedimento marino de la Ensenada y Matuntugo en el golfo de Urabá, por el contrario, difieren en más de 0.7 mg/Kg a las reportadas por Espinosa et al (2011) en la Ciénaga Grande de Santa Marta y a las obtenidas por Sundaramanickam et al (2016), para sedimento de manglar de la costa sureste de India.

En el caso de plomo, las concentraciones de esta investigación están muy por debajo de las reportadas por Sundaramanickam et al (2016), por Landaverde y Rivas (2019),

por Echavarría (2019), por Espinosa (2011), y son similares a las reportadas por el Invemar en sedimento marino de Matuntugo en el golfo de Urabá.

En el caso de arsénico, las concentraciones encontradas en las estaciones de muestreo son similares a las reportadas por Landaverde y Rivas (2019) en sedimento de manglares del salvador y difieren a las reportadas en manglares de China en el año 2016 por Shi y colaboradores.

Para mercurio, las concentraciones se encuentran similares a las reportadas por el Invemar en sedimento Marino del golfo de Urabá.

Para Níquel, se encuentran valores similares a los reportados por Sundaramanickam et al (2016) en manglar de la India y son bastante mayores a los reportados por Landaverde y Rivas (2019) para manglares del salvador.

Los valores de cromo en el presente estudio se encuentran muy por encima de los reportados por Landaverde y Rivas (2019), para manglares del salvador, sin embargo, son similares a los encontrados por Sundaramanickam et al (2016) en manglares de la India.

Las concentraciones de Manganeso se encuentran dentro del rango de los valores reportados por Sundaramanickam et al (2016) para manglares de la India, no obstante, a excepción de las estaciones ensenada 1 y Marirrio, las concentraciones se encuentran por encima de las reportadas por Espinosa et al (2011) para la CGSM.

Las concentraciones de aluminio se encuentran en el rango reportado por Miola et al (2015) para sedimento de manglar en Brasil.

9. CONCLUSIONES

Esta investigación es una línea base sobre la contaminación por metales en los manglares de Colombia, en donde se evidenció contaminación multimetálica en algunas estaciones; confirmando lo estipulado en referencias bibliográficas que afirman que los manglares actúan como trampas de metales pesados y poseen altas concentraciones de MO debido a la alta productividad de los mismos.

Se identificó la falta de información sobre los niveles de contaminación de los sedimentos de los ecosistemas de manglar en Colombia y más específicamente en el Golfo De Urabá, lo que pone de manifiesto la importancia de realizar investigaciones enfocadas en la contaminación de los recursos naturales que muestren el estado real de los mismos.

Es un riesgo para los manglares de Colombia, el hecho de que la información relacionada a la contaminación de los mismos sea escasa. De igual manera, actualmente en Colombia no hay herramientas normativas para la protección del manglar, lo que también pone en riesgo la viabilidad de estos y de los organismos que hacen parte de los mismos.

Se evidenció la ausencia de un muestreo estandarizado para sedimentos en ecosistema de manglar, lo que puede repercutir en los resultados e influir en el sesgo de los mismos.

De las parcelas evaluadas, la ensenada de Rio Negro 1 es la menos contaminada, esto puede deberse a la poca influencia de asentamientos rurales y a la lejanía del río Atrato. Por el contrario, Matuntugo y Bocas De Atrato presentan concentraciones de

Níquel y Cromo cercanas al límite de donde empiezan a presentarte efectos sobre el ecosistema.

Existe una estrecha correlación en el comportamiento de las concentraciones de Cr, Pb, Mn, As, Ni, y Cd. A la misma vez, aunque el comportamiento de estas concentraciones está relacionado con el aluminio y la MO; la relación es débil. Por otro lado, el mercurio se comporta independiente del resto de variables.

Las concentraciones de los metales en los sedimentos de los manglares de la desembocadura del río Atrato y de la ensenada Río Negro están por debajo de los valores normativos y de guía a partir de los cuales existe un alto potencial de que sean tóxicos para la vida acuática.

Las altas concentraciones de materia orgánica son propias de este tipo de ecosistemas y puede deberse a la cercanía del punto de la toma a raíces de los mangles, a condiciones anóxicas y a tasas altas de productividad.

10.RECOMENDACIONES

En Colombia existe la necesidad de crear documentos políticos que protejan los ecosistemas de manglar y para ello es necesario seguir realizando investigaciones de las condiciones que puedan afectar la vida de los organismos que viven o pasan parte de su vida en estos ecosistemas.

Es necesario realizar un estudio de la fracción biodisponible de metales, de manera que, de acuerdo a las condiciones del ecosistema, pueda cuantificarse la proporción de estos contaminantes que pueden ser absorbidos por los seres vivos.

Las autoridades ambientales deberían realizar estudios que conlleven a la identificación del impacto de la contaminación actual sobre la vida en el manglar del golfo de Urabá y dada la importancia de estos en la zona, realizar monitoreo constante de las condiciones de estos ecosistemas.

11. BIBLIOGRAFÍA

Abreu, S. N., A. M. Soares, A. J. Nogueira y F. Morgado. (2008). Tree rings, *Populus nigra* L., as mercury data logger in aquatic environments: case study of a historically contaminated environment. *Bull Environ Contam Toxicol*.

Adame MF, Kauffman JB, Medina I, Gamboa JN, Torres O, Caamal JP, Reza M, Herrera-Silveira JA. (2013). Carbon stocks of tropical coastal wetlands within the karstic landscape of the mexican Caribbean. *PLoS ONE*, 8: e56569. doi:10.1371/journal.pone.0056569.

Acquavita, A.; Predonzani, S.; Mattassi, G.; Rossin, P.; Tamberlich, F.; Falomo, J. and Valic, I. (2010). Heavy Metal Contents and Distribution in Coastal Sediments of the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea, Italy) *Water Air Soil Pollut*. 211: 95–111. Doi: 10.1007/s11270-009-0284-5.

Agency for Toxic Substance and Disease Registry. (2008). Toxicological Profile for Cadmium, U.S. Department of Health and Humans Services, Public Health Service, Centers for Diseases Control Atlanta, GA.

Al-Kahtany, K., El-Sorogy, A., Al-Kahtany, F., Youssef M. (2018). Heavy metals in mangrove sediments of the central Arabian Gulf shoreline, Saudi Arabia. *Arab J Geosci* 11, 155. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3463-0>.

Ansari, T.; Marr, LL. ; Tariq, N. (2004). Heavy metals in marine pollution perspective: a mini review, *Journal of applied Sciences*.

Bejarano, M. y Madrid, L. (1992). Solubilization of heavy metals from a river sediment by a residue from olive oil industry. *Environment Technology*, 13, 979-985.

- Berglund F. (1971). Methylmercury in Fish, a Toxicologic-Epidemiologic Evaluation of Risks. Nord. Hyg. Tidskr. Supplement 4.
- Bradl, H.B, Kim, C., Kramar, U., Stüben, D. (2005). Heavy Metals in the environment. Chapter 2: Interactions of heavy metals. Ed. H.B. Bradl.
- Brown J, A Colling, D Park, J Phillips, D Rothery & J Wright. (1994). Ocean Chemistry and Deep-Sea sediments, 133 p. The Open University/Pergamon, London.
- Calvert S, R Bustin & E Ingall. (1996). Influence of water column anoxia and sediment supply on the burial and preservation of organic carbon in marine shales. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60(9): 1577-1593.
- Chen, W., Tan, S. and Tay, J. (1996). Distribution, fractional composition and release of sediment-bound heavy metals in tropical reservoirs. *Water, air, and soil pollution*, 92, 273-287.
- Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA). (2010). Análisis de la composición físico química de los sedimentos fluviales y su relación con la disponibilidad de metales en agua.
- Cintron, G. Schaeffer, Y. (1983). Introducción a la ecología del Manglar. UNESCO-ROSTLAC. MONTEVIDEO
- Corte Constitucional de Colombia. (2016). Sentencia T-622/16.
- David, M. (1988). Use of loss-on-ignition to assess soil organic carbon in forest soils. *Communications in Soil Science & Plant Analysis* 19: 1593-1599

Doria, C. (2019). Niveles de metales pesados en los sedimentos superficiales de las zonas de playas turísticas de La Guajira, Norte de Colombia. *Revista De Investigación*, 11(2), 49-66. <https://doi.org/10.29097/2011-639X.226>.

Doria, C. Gómez, J. Marrugo, J. (2017). Metales en sedimento del Rio Ranchería, La Guajira.

De La Cruz-Landero, N.; Hernández, E.; Guevara-Carrio, E.; López, M.; Santos, T.; Ojeda-Trejo, E. And Alderete-Chávez, A. (2010). Lupinus versicolor Response in Soils Contaminated with Heavy Metals from a Petroleum Extraction Field. *Journal of Applied Sciences*.

Donato DC, Kauffman JB, Murdiyarsa D, Kurnianto S, Stidham M, Kanninen M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*.

Duffus, J . (2001). Heavy metals: a meaningless term, *chemistry international*. 23.

Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., Franson, M. A. H., American Public Health Association., American Water Works Association., & Water Environment Federation. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23rd edition. Washington, DC: American Public Health Association..

Echeverria, K. (2019). Metales pesados en agua, sedimentos y raíces de *Rhizophora mangle* de la reserva ecológica manglares Cayapas Mataje, provincia de Esmeraldas. Tesis de grado. Universidad Pontificia Católica del Ecuador Sede Ibarra.

Espinosa, L.; Parra, J. (2008). Distribución de metales pesados (Pb, Cd y Zn) en perfiles de sedimento asociado a *Rhizophora mangle* en el río Sevilla - Ciénaga Grande De

- Santa Marta, Colombia. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR, 37(1), 95-110.
- Espinosa, L.; Parra, J.; Villamil, C. (2011). Determinación del contenido de metales pesados en las fracciones geoquímicas del sedimento superficial asociado a los manglares de la ciénaga grande de santa marta, COLOMBIA. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR, 40(1), 7-23.
- Flores, Carmen & Del Angel, Ebelia & Frías, Dora & Gómez, Ana. (2018). Evaluación de parámetros fisicoquímicos y metales pesados en agua y sedimento superficial de la Laguna de las Ilusiones, Tabasco, México. Tecnología y Ciencias del Agua. 09. 39-57. 10.24850/j-tyca-2018-02-02.
- Förstner, U. & Salomons, W. (1980). Trace metal analysis on polluted sediments. Part I. Assessment of sources and intensities. Recuperado de: <http://edepot.wur.nl/214350>.
- Friberg, L. Piscator, M. Nordberg, G. (1971) Cadmium in the Environment. CRC Press, Cleveland (USA); 1971.
- Galán Huertos, E., Romero Baena, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. Macla, 10, 48-60
- Garcia, E. Roqueñí, N. Covelli, S. Loredó, J. Fontolan, G. Flor-Blanco, G. Cienfuegos, P. Flor, G.(2017). Metales y metaloides en los sedimentos recientes del Estuario Del Río Nalón (Asturias, N De España).
- Gomes, P., M. Fontes, A.G. daSilva, E. Mendoza y A.R. Netto. (2001). Selectivity sequence and competitive adsorption of heavy metals by Brazilian soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 65: 1115-1121

González, M. 2014. Evaluación de metales pesados en sedimentos del Lago de Chapala.

Gustafsson, J.P., Pechova, P., Bergren, D. (2003). Modeling metal binding to soils: the role of natural organic matter. *Environmental Science Technology*, 37, 2767–2774.

Hogarth, P. 2007. *The biology of mangrove and seagrasses*. 2 ed. Oxford university. New York.

Instituto de investigaciones marinas y costeras José Benito Vives De Andrés – INVEMAR. (2003). manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos).

Jones B, & D Manning. (1994). Comparison of geochemical indices used for the interpretation of paleoredox conditions in ancient mudstones. *Chemical Geology* 111: 111-129.

Kauffman JB, Heider C, Cole TG, Dwire KA, Donato DC. (2011). Ecosystem Carbon Stocks of Micronesian Mangrove Forests. *Wetlands*, 31: 343-352.

Kennish, M. (2002). Environmental threats and environmental future of estuaries. *Environmental Conservation*, 29(1), 78-107

Landaverde, I., y Rivas, O. (2019). Cuantificación de metales pesados en sedimentos de manglar en zonas de reproducción de *Anadara tuberculosa* (concha peluda) en bahía de Jiquilisco Usulután el Salvador. Trabajo de grado. Universidad de el salvador facultad de química y farmacia

Medel, A. (2009). Caracterización fisicoquímica de jales mineros y evaluación de biosólidos como propuesta de remediación. Tesis de Maestría. México.

Moalla, S., Awadallah, R., Resher, M. and Salton, M. (1996). Distribution and chemical fractionation of some heavy metals in bottom sediments of Lake Nasser. *Hydrobiologia*, 364(1), 31-40.

Moreno, E. Argota, G. Alfaro, R. Aparicio, M. Atencio, S. Goyzueta, G. (2018). Cuantificación de metales en sedimentos superficiales de la bahía interior, lago Titicaca-Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(1), 09-18.

Ministerio de ambiente. Manglares. Consultado 5 de junio de 2020. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistematicos/ecosistemas-estrategicos/manglares>

Miola, B. Morais, J. & Pinheiro, L. (2015). Trace metal concentrations in tropical mangrove sediments, NE Brazil. *Marine Pollution Bulletin*. 102. 10.1016/j.marpolbul.2015.11.039.

Mora, A. Jumbo, D. González, M. Bermeo, S. (2016). niveles de metales pesados en sedimentos de la cuenca del río Puyango, Ecuador. *Rev. Int. Contam. Ambie* Vol. 32, Núm. 4

Negroni, M. (2009). *Microbiología Estomatológica. Fundamentos y guía práctica*. Editorial Médica Panamericana. Segunda edición.

Nemeth, T. Molnar, J. Csillag, A. Lukács K. Butjás. (1996). Model experiments to assess the fate of heavy metals in soils. *Biogeochemistry of trace elements. A Special Issue of Environmental Geochemistry And Health* 16:505-514.

Ortiz, L. Delgado, J. Pardo, D. Murillo, E. Guio, J (2015). Determinación de metales pesados e índices de calidad en aguas y sedimentos del río Magdalena.

- Özlem, S.Z.; Ceylan, H. And Dogru, M. (2009). Determination of heavy metals and comparison to gross radioactivity concentration in soil and sediment samples of the Bendimahi River Basin (Van, Turkey).
- Palacio, J. (2007). *Ecotoxicología Acuática*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Trujillo, P. (2016). Caracterización de la materia orgánica en sedimentos de los canales de Xochimilco.
- Pedersen, T.F. and Calvert, S.E. (1990). Anoxia vs. Productivity: What controls the formation of organic-carbon-rich sediments and sedimentary rocks? *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 74(4): 454-466.
- Pernía, B. Mero, M., Cornejo, X. Ramírez, N. Ramírez, L. Bravo, K. López, D. Muñoz, J. Zambrano, J. (2018). Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 89-105.
- Roselló, R. Planas, M. (2011). Estudio experimental de la movilidad de metales pesados en sedimentos de la cuenca del Jequetepeque, Perú. Resumen. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12248/Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Sadzawaka R. A., M. A. Carrasco R., R. Grez Z. y M. L. Mora G. (2005). *Métodos de análisis de Compost. Método 6.1*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas N° 30, Santiago, Chile, pp 49-50.
- Salas, D. (2017). Evaluación de metales y metaloides en sedimentos en la sub cuenca del rio Azángaro y su modelamiento ambiental. Tesis de maestría.

- Shi, Cong & Ding, Huan & Zan, Qijie & Li, Ruili. (2019). Spatial variation and ecological risk assessment of heavy metals in mangrove sediments across China. *Marine Pollution Bulletin*. 143. 115-124. 10.1016/j.marpolbul.2019.04.043.
- Solisio, C., Lodi, A., Soletto, D., Converti, A. (2007). Cadmium biosorption on *Spirulina platensis* biomass. *Bioresource Technol.* 99: 5933-5937.
- Simpson, Stuart & Batley, Graeme. (2016). *Sediment Quality Assessment A Practical guide*. Segunda edición.
- Sundaramanickam, A., Shanmugam, N., Cholan, S., Kumaresan, S., Madeswaran, P., & Balasubramanian, T. (2016). Spatial variability of heavy metals in estuarine, mangrove and coastal ecosystems along Parangipettai, Southeast coast of India. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 218, 186–195.
- Thomann, R. (1982). *Physico-Chemical and Ecological Modeling of the Fate of Toxic Substances in Natural Water Systems*. Prepared for the Conference on Modelling the Fate and Effect of Toxic Substances in the Environment.
- Tun-Canto, G. Legorreta, T. Zapata, G. Sosa-Cordero, E. (2017). Metales pesados en suelos y sedimentos de la zona cañera del sur de Quintana Roo, México. *Rev. mex. cienc. geol* vol.34 no.3 México dic. 2017.
- United States Environmental Protection Agency. (2012). *Vocaulary Catalog. Terms and definitions specific to contaminated sediments*. Recuperado de https://ofmpub.epa.gov/sor_internet/registry/termreg/searchandretrieve/glossariesandkeywordlists/search.do?details=&glossaryName=Chesapeake%20Bay%20Glossary

U.S. EPA. (1996). Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. Revision 2.

U.S. EPA. (2007). Method 7010 graphite furnace atomic absorption spectrophotometry. Revision 0.

U.S. EPA (2007). Method 7000b flame atomic absorption spectrophotometry. Revision 2.

U.S. EPA. (2007). Method 7473: mercury in solids and solutions by thermal decomposition, amalgamation, and atomic absorption spectrophotometry. Revision 0.

Vane, C. H., I. Harrison, A. W. Kim, V. Moss-Hayes, B. P. Vickers y K. Long. (2009). Organic and metal contamination in surface mangrove sediments of South China. *Mar. Pollut. Bull.*, 58.

Zhao Lu, Y.L., Schulin, R., Weng, L., Nowack. (2007). Coupled mobilization of dissolved organic matter and metals (Cu and Zn) in soil columns. *Geochim Cosmochim Acta*, 71, 3407–3418.

ANEXOS

Anexo 1. Condiciones de análisis para cada metal por A.A

Reporte de Resultados CORPOURABA

Nombre Operador: MARGARA ALQUERQUE Fecha Informe: 18/01/2020 03:59:47
 Fichero Result.: C:\Users\LAB SUELOS\Desktop\Resultadoa A.A\CADMIO\Cadmio sentencia\Cd Sedimento 2020 01 18.slr

Parámetros Generales

Método: Cd Sedimento 2020 01 18 Operador: MARGARA ALQUERQUE Modo Instrum.:Horno
 Automuestr: Horno

Detalles Análisis

Nombre Análisis: Análisis 1 18/01/2020 Espectróm.: ICE 3000 AA01144307 v1,30
 Nombre Operador: MARGARA ALQUERQUE

Información lámp.

Elemento(s)	n° de Serie	mA Horas
Cd	14251394	664

Detalles Muestra

N°	ID Muestra	Masa Nominal: 1,0000	
		Masa Muestra	Relac. Dilución
1	Bk Digestado	1,0000	1,0000
2	ENSENADA P1-1	0,2506	0,0150
3	ENSENADA P1-2	0,2056	0,0150
4	ENSENADA P1-3	0,2400	0,0150
5	ENSENADA P2-1	0,2521	0,0150
6	ENSENADA P2-2	0,2510	0,0150
7	ENSENADA P2-3	0,2485	0,0150
8	BOCAS DE ATRATO 1	0,1000	0,0150
9	BOCAS DE ATRATO 2	0,1026	0,0150
10	BOCAS DE ATRATO 3	0,1505	0,0150
11	MATUNTUGO 1	0,1416	0,0150
12	MATUNTUGO 2	0,1385	0,0150
13	MATUNTUGO 3	0,1413	0,0150
14	EL ROTO 1	0,1059	0,0150
15	EL ROTO 2	0,1872	0,0150
16	EL ROTO 3	0,1633	0,0150
17	EL ROTO 3 DUPLICADO	0,1633	0,0150
18	LA PAILA1	0,2491	0,0150
19	LA PAILA2	0,1105	0,0150
20	LA PAILA3	0,1426	0,0150
21	MARIRIO1	0,2480	0,0150
22	MARIRIO2	0,2580	0,0150
23	MARIRIO3	0,2456	0,0150
24	YERBAZAL 1	0,2582	0,0150
25	YERBAZAL 2	0,2506	0,0150
26	YERBAZAL 3	0,2550	0,0150
27	Std sed 1	0,1031	0,0150
28	Std sed 2	0,2400	0,0150
29	Std sed 4	0,2001	0,0150

Parámetros muestreo - Cd

Muestreo: Horno
Volumen trabajo: 10,0µL

Recuperación Prep. Automática: 5,0µL
Volumen muestra: 10,0µL

Modific. Matriz

Modificador	Método	Volumen	Orden
1 MgNO3 5000ppm	Mezclado-Húmedo	10,0µL	1
2	Ningún	20,0µL	2
3	Ningún	20,0µL	3
4	Ningún	20,0µL	4
5	Ningún	20,0µL	5
6	Ningún	20,0µL	6

Preparación muestra: Ningún
Preparación estándar: Fijado
Toma Disolución Lenta: Si
Demora Muestreo: No

Adiciones Std: Ningún
Inyecc/ Lenta: Si
Nº de Lavados: 1

Result. Disolución - Cd



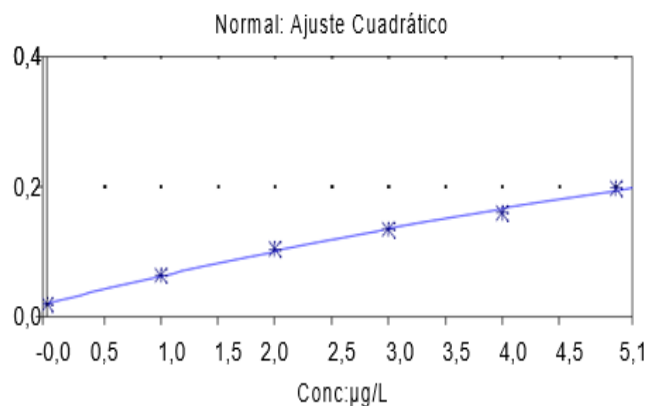
$$Y = -0,001770x^2 + 0,04326x + 0,0208$$

Ajuste: 0,9964

Min Curvatura: 0%

Max Curvatura: 0%

Conc Característica: 0,1021



ID Muestra	Señal Abs.s (Área)	Rsd %	Conc. µg/L	Conc. Corregida µg/L
Cd Blanco	0,0190		0,0000	
Cd Estándar 1	0,0632		1,0000	
Cd Estándar 2	0,1042		2,0000	
Cd Estándar 3	0,1342		3,0000	
Cd Estándar 4	0,1590		4,0000	



Result. Disolución - Cd

ID Muestra	Señal Abs.s (Área)	Rsd %	Conc. µg/L	Conc. Corregida µg/L
Cd Estándar 5	0,1964		5,0000	
Cd Bk Digestado	0,0253		0,1055	0,1055
Cd Adición Análisis	0,1150		2,4164	2,4164
Test: QC Recup Anal		Valor: 92,4%		Resultado: Pasado
Cd Std 1.0 ug/L	0,0732		1,2784	1,2784
Test: referencia QC 1		Valor: 1,2784µg/L		Resultado: Pasado
Cd Std 3.0 ug/L	0,1318		2,9150	2,9150
Test: referencia QC 2		Valor: 2,9150µg/L		Resultado: Pasado
Cd ENSENADA P1-1	0,0962		1,8896	0,1131
Cd ENSENADA P1-2	0,1016		2,0379	0,1487
Cd ENSENADA P1-3	0,1340		2,9825	0,1864
Cd ENSENADA P2-1	0,0819		1,5056	0,0896
Cd ENSENADA P2-2	0,1080		2,2173	0,1325
Cd ENSENADA P2-3	0,1248		2,7037	0,1632
Cd BOCAS DE ATRATO 1	0,0703		1,2046	0,1807
Cd BOCAS DE ATRATO 2	0,0689		1,1699	0,1710
Cd BOCAS DE ATRATO 3	0,0996		1,9840	0,1977
Cd Std 3.0 ug/L	0,1169		2,4720	2,4720
Test: referencia QC 2		Valor: 2,4720µg/L		Resultado: Pasado
Cd MATUNTUGO 1	0,0930		1,8027	0,1910
Cd MATUNTUGO 2	0,0942		1,8345	0,1987
Cd MATUNTUGO 3	0,1041		2,1077	0,2237
Cd EL ROTO 1	0,0917		1,7667	0,2502
Cd EL ROTO 2	0,1238		2,6756	0,2144
Cd EL ROTO 3	0,1151		2,4208	0,2224
Cd EL ROTO 3 DUPLICADO	0,0999		1,9908	0,1829
Cd LA PAILA1	0,0528		0,7649	0,0461
Cd LA PAILA2	0,0868		1,6353	0,2220
Cd LA PAILA3	0,0876		1,6574	0,1743
Cd MARIRIO1	0,1163		2,4560	0,1485
Cd MARIRIO2	0,0735		1,2873	0,0748
Cd MARIRIO3	0,0806		1,4725	0,0899
Cd YERBAZAL 1	0,1704		4,1718	0,2424
Cd YERBAZAL 2	0,1577		3,7383	0,2238
Cd YERBAZAL 3	0,2340		6,8465 C	0,4027 C
Cd Std sed 1	0,0995		1,9799	0,2880
Cd Std sed 2	0,1985		5,2254 C	0,3266 C

Reporte de Resultados CORPOURABA

Nombre Operador: LAB SUELOS

Fecha Informe: 17/01/2020 06:32:29

Fichero Result.: C:\Users\LAB SUELOS\Desktop\Resultadoa A.A\ARSENICO\ARSENICO SENTENCIA\As sedimento 2020 01 17-2.slr

Parámetros Generales

Método: As Sedimento 2020 01 17

Operador: MARGARA ALQUERQUE

Modo Instrum.: Horno

Automuestr.: Horno

Detalles Análisis

Nombre Análisis: Análisis 1 17/01/2020

Espectrómetro: ICE 3000 AA01144307 v1,30

Nombre Operador: MARGARA ALQUERQUE

Información lámp.

Elemento(s)	nº de Serie	mA Horas
As	17461913	526

Horas lámp. Deuterio: 1492,76

Detalles Muestra

Nº	ID Muestra	Masa Nominal: 1,0000	
		Masa Muestra	Relac. Dilución
1	Bk Digestado	1,0000	1,0000
2	ENSENADA P1-1	0,2506	0,0500
3	ENSENADA P1-2	0,2056	0,0500
4	ENSENADA P1-3	0,2400	0,0500
5	ENSENADA P2-1	0,2521	0,0500
6	ENSENADA P2-2	0,2510	0,0500
7	ENSENADA P2-3	0,2485	0,0500
8	BOCAS DE ATRATO 1	0,1000	0,0500
9	BOCAS DE ATRATO 2	0,1026	0,0500
10	BOCAS DE ATRATO 3	0,1505	0,0500
11	MATUNTUGO 1	0,1416	0,0500
12	MATUNTUGO 2	0,1385	0,0500
13	MATUNTUGO 3	0,1413	0,0500
14	EL ROTO 1	0,1059	0,0500
15	EL ROTO 2	0,1872	0,0500
16	EL ROTO 3	0,1633	0,0500
17	EL ROTO 3 DUPLICADO	0,1633	0,0500
18	LA PAILA1	0,2491	0,0500
19	LA PAILA2	0,1105	0,0500
20	LA PAILA3	0,1426	0,0500
21	MARIRIO1	0,2480	0,0500
22	MARIRIO2	0,2580	0,0500
23	MARIRIO3	0,2456	0,0500
24	YERBAZAL 1	0,2582	0,0500
25	YERBAZAL 2	0,2506	0,0500
26	YERBAZAL 3	0,2550	0,0500
27	Std sed 1	0,1031	0,2000
28	Std sed 2	0,2001	0,2000
29	Std sed 4	0,1008	0,2000

Detalles Reactivo

Reactivo
Modific. Matriz 1

Nombre Reactivo
NiNO3 50ppm

Parámetros Espectróm. - As

Elemento:As
Long. onda:193,7nm
Corrección Fondo:D2
Tipo Señal:Tránsito
Tiempo Medida:3,0sg
Medir Pico Desde: 0,00
Usar Test RSD : No

Modo Medida:Absorbancia
Rendija:0,5nm
Alta Resolución:Apagado
Tipo Tránsito:Area
Modo Rechazo Datos:No
Hasta:3,00sg
Corriente lámp.:90%
Optimizar Parámetros Espectróm.:No
Nº de Re-muestras:1

Parámetros muestreo - As

Muestreo:Horno
Volumen trabajo:10,0µL

Recuperación Prep. Automática:5,0µL
Volumen muestra:10,0µL

Modificador	Método	Volumen	Orden
1 NiNO3 50ppm	Mezclado-Húmedo	5,0µL	1

Parámetros Calibrac. - As

Modo Calibrac.:Normal
Unidades Concentrac:µg/L
Ajuste Aceptable:0,990
Estándar1 10,0000
Estándar2 20,0000
Estándar3 50,0000

Ajuste Lineal:Linear
Unidades Escala:µg/L
Re-escalar Limite: 10,0%
Usar Calibr. Almacenada:No
Factor Escala:1,0000
Acción Fallida : Señalizar y continuar
Estándar4 100,0000
Estándar5 150,0000
Estándar6 200,0000

Parámetros QC - As

Test	Conc:µg/L	Límites	Acción	Repetir
Std 10 ug/l	10,0000	50,0 hasta 150,0%	Continuar	Continuar Siguiente Elemento
Std 50 ug/L	50,0000	70,0 hasta 130,0%	Continuar	Continuar Siguiente Elemento
Add 100	200,0000	70,0 hasta 130,0%	Continuar	Continuar Siguiente Elemento

Resumen Result. QC - As

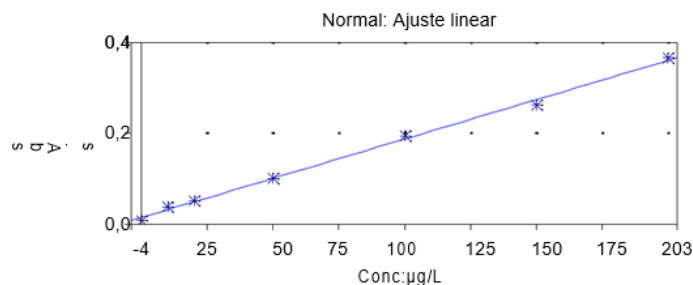
referencia QC 1
referencia QC 2
QC Recup Anal

Std 10 ug/l
Std 50 ug/L
Add 100

Pasados 1/1 tests
Pasados 2/2 tests
Pasados 2/2 tests

Result. Disolución - As

$Y = 0,00173x + 0,0148$
Ajuste:0,9972
Conc Característica:2,5502



ID Muestra	Señal Abs.s (Area)	Rsd %	Conc. µg/L	Conc. Corregida µg/L
As Blanco	0,0079		0,0000	
As Estándar 1	0,0380		10,0000	
As Estándar 2	0,0514		20,0000	
As Estándar 3	0,1003		50,0000	
As Estándar 4	0,1933		100,0000	
As Estándar 5	0,2618		150,0000	

Result. Disolución - As

ID Muestra	Señal Abs.s (Area)	Rsd %	Conc. µg/L	Conc. Corregida µg/L
As Estándar 6	0,3655		200,0000	
As BK Digestado	0,0093		-3,2141	-3,2141
As Adición Análisis	0,1784		94,8130	94,8130
Test: QC Recup Anal		Valor: 98,0%		Resultado: Pasado
As Std 10 ug/l	0,0287		8,0496	8,0496
Test: referencia QC 1		Valor: 8,0496µg/L		Resultado: Pasado
As Std 50 ug/L	0,0934		45,5239	45,5239
Test: referencia QC 2		Valor: 45,5239µg/L		Resultado: Pasado
As ENSENADA P1-1	0,0835		39,7759	7,9361
As ENSENADA P1-2	0,0521		21,5799	5,2480
As ENSENADA P1-3	0,0350		11,6802	2,4334
As ENSENADA P2-1	0,0303		8,9836	1,7818
As ENSENADA P2-2	0,0805		38,0806	7,5858
As ENSENADA P2-3	0,0776		36,4027	7,3245
As BOCAS DE ATRATO 1	0,0595		25,9108	12,9554
As BOCAS DE ATRATO 2	0,0450		17,4996	8,5281
As BOCAS DE ATRATO 3	0,0947		46,2875	15,3779
As Std 50 ug/L	0,0969		47,5514	47,5514
Test: referencia QC 2		Valor: 47,5514µg/L		Resultado: Pasado
As MATUNTUGO 1	0,0824		39,1572	13,8267
As MATUNTUGO 2	0,0793		37,3706	13,4912
As MATUNTUGO 3	0,0682		30,9261	10,9434
As EL ROTO 1	0,0433		16,5255	7,8024
As EL ROTO 2	0,0777		36,4476	9,7349
As EL ROTO 3	0,0719		33,0696	10,1254
As EL ROTO 3 DUPLICADO	0,0745		34,5818	10,5884
As Adición Análisis	0,2078		111,8261	34,2395
Test: QC Recup Anal		Valor: 77,2%		Resultado: Pasado
As LA PAILA1	0,0155		0,3957	0,0794
As LA PAILA2	0,0524		21,7441	9,8390
As LA PAILA3	0,0315		9,6584	3,3865
As MARIRIO1	0,0503		20,5376	4,1406
As MARIRIO2	0,0185		2,1238	0,4116
As MARIRIO3	0,0264		6,7281	1,3697
As YERBAZAL 1	0,0839		40,0439	7,7544
As YERBAZAL 2	0,0880		42,4308	8,4658
As YERBAZAL 3	0,0843		40,2690	7,8959
As Std sed 1	0,0332		10,6297	20,6201
As Std sed 2	0,0577		24,8695	24,8571
As Std sed 4	0,0348		11,5594	22,9353

Reporte de Resultados CORPOURABA

Nombre Operador: MARGARA ALQUERQUE

Fecha Informe: 18/01/2020 04:00:39

Fichero Result.: C:\Users\LAB SUELOS\Desktop\Resultados A.A\PLOMO\PloMo sentencia\Pb SEDIMENTO 2020 01 18-3.slr

Parámetros Generales

Método: Pb Sedimento 2020 01 17
Automuestr.: Horno

Operador: MARGARA ALQUERQUE

Modo Instrum.: Horno

Detalles Análisis

Nombre Análisis: Análisis 1 18/01/2020

Espectróm.: ICE 3000 AA01144307 v1,30

Nombre Operador: MARGARA ALQUERQUE

Información lámp.

Elemento(s)	n° de Serie	mA Horas
Pb	16461883	223

Horas lámp. Deuterio: 1496,77

Detalles Muestra

N°	ID Muestra	Masa Nominal: 1,0000	
		Masa Muestra	Relac. Dilución
1	Bk Digestado	1,0000	1,0000
2	ENSENADA P1-1	0,2506	0,0150
3	ENSENADA P1-2	0,2056	0,0150
4	ENSENADA P1-3	0,2400	0,0150
5	ENSENADA P2-1	0,2521	0,0150
6	ENSENADA P2-2	0,2510	0,0150
7	ENSENADA P2-3	0,2485	0,0150
8	BOCAS DE ATRATO 1	0,1000	0,0150
9	BOCAS DE ATRATO 2	0,1026	0,0150
10	BOCAS DE ATRATO 3	0,1505	0,0150
11	MATUNTUGO 1	0,1416	0,0150
12	MATUNTUGO 2	0,1385	0,0150
13	MATUNTUGO 3	0,1413	0,0150
14	EL ROTO 1	0,1059	0,0150
15	EL ROTO 2	0,1872	0,0150
16	EL ROTO 3	0,1633	0,0150
17	EL ROTO 3 DUPLICADO	0,1633	0,0150
18	LA PAILA1	0,2491	0,0150
19	LA PAILA2	0,1105	0,0150
20	LA PAILA3	0,1426	0,0150
21	MARIRIO1	0,2480	0,0150
22	MARIRIO2	0,2580	0,0150
23	MARIRIO3	0,2456	0,0150
24	YERBAZAL 1	0,2582	0,0150
25	YERBAZAL 2	0,2506	0,0150
26	YERBAZAL 3	0,2550	0,0150
27	Std sed 1	0,1031	0,0150
28	Std sed 2	0,2001	0,0150
29	Std sed 4	0,1008	0,0150

Detalles Reactivo

Reactivo

Modific. Matriz 1

Nombre Reactivo

MgNO3 5000ppm

Parámetros Espectróm. - Pb

Elemento: Pb

Long. onda: 217,0nm

Corrección Fondo: D2

Tipo Señal: Tránsito

Tiempo Medida: 3,0sg

Medir Pico Desde: 0,00

Usar Test RSD : No

Modo Medida: Absorbancia

Rendija: 0,5nm

Alta Resolución: Apagado

Tipo Tránsito: Area

Modo Rechazo Datos: No

Hasta: 3,00sg

Corriente lámp.: 90%

Optimizar Parámetros Espectróm.: No

N° de Re-muestras: 1

Parámetros muestreo - Pb

Muestreo:Horno
Volumen trabajo:10,0µL

Recuperación Prep. Automática:5,0µL
Volumen muestra:10,0µL

Modificador	Método	Modific. Matriz	Volumen	Orden
1 MgNO3 5000ppm	Mezclado-Húmedo		8,0µL	1

Result. Disolución - Pb

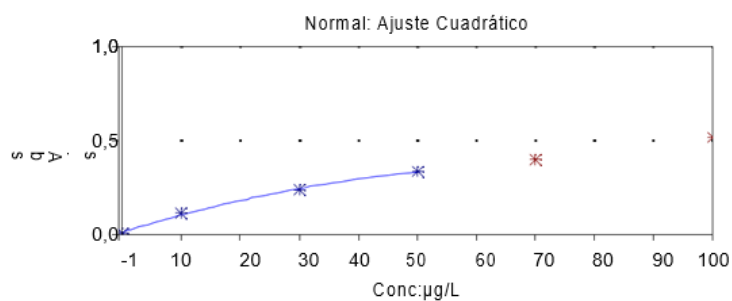
$$Y = -0,000066x^2 + 0,00969x + 0,0129$$

Ajuste:0,9962

Min Curvatura: 0%

Max Curvatura: 0%

Conc Característica:0,4554



ID Muestra	Señal Abs.s (Area)	Rsd %	Conc. µg/L	Conc. Corregida µg/L
Pb Blanco	0,0067		0,0000	
Pb Estándar 1	0,1147		10,0000	
Pb Estándar 2	0,2366		30,0000	
Pb Estándar 3	0,3350		50,0000	
Pb Estándar 4	0,3986		70,0000	

Result. Disolución - Pb

ID Muestra	Señal Abs.s (Area)	Rsd %	Conc. µg/L	Conc. Corregida µg/L
Pb Estándar-5	0,5166		100,0000	
Pb Bk Digestado	0,0111		-0,1814	-0,1814
Pb Adición Análisis	0,3085		43,1964	43,1964
Test: QC Recup Anal		Valor: 86,8%		Resultado: Pasado
Pb Std 10 ug/L	0,1338 T		13,7657 T	13,7657 T
Test: referencia QC 1		Valor: 13,7657µg/L		Resultado: Pasado
Pb Std 50 ug/L	0,3255		47,7923	47,7923
Test: referencia QC 2		Valor: 47,7923µg/L		Resultado: Pasado
Pb ENSENADA P1-1	0,0251		1,2677	0,0759
Pb ENSENADA P1-2	0,0478		3,6940	0,2695
Pb ENSENADA P1-3	0,0896		8,3997	0,5250
Pb ENSENADA P2-1	0,0199		0,7337	0,0437
Pb ENSENADA P2-2	0,1133		11,2159	0,6703
Pb ENSENADA P2-3	0,1192		11,9378	0,7206
Pb BOCAS DE ATRATO 1	0,0826		7,5876	1,1381
Pb BOCAS DE ATRATO 2	0,0642		5,5067	0,8051
Pb BOCAS DE ATRATO 3	0,1424		14,8627	1,4813
Pb Std 50 ug/L	0,3142		44,6581	44,6581
Test: referencia QC 2		Valor: 44,6581µg/L		Resultado: Pasado
Pb MATUNTUGO 1	0,1130		11,1872	1,1851
Pb MATUNTUGO 2	0,1091		10,7084	1,1598
Pb MATUNTUGO 3	0,1108		10,9108	1,1583
Pb EL ROTO 1	0,0705		6,2133	0,8801
Pb EL ROTO 2	0,1208		12,1398	0,9727
Pb EL ROTO 3	0,0742		6,6257	0,6086
Pb EL ROTO 3 DUPLICADO	0,0775		6,9982	0,6428
Pb LA PAILA1	0,0279		1,5689	0,0945
Pb LA PAILA2	0,0731		6,4987	0,8822
Pb LA PAILA3	0,0533		4,2939	0,4517
Pb MARIRIO1	0,0631		5,3739	0,3250
Pb MARIRIO2	0,0454		3,4374	0,1999
Pb MARIRIO3	0,0508		4,0259	0,2459
Pb YERBAZAL 1	0,1629		17,5796	1,0213
Pb YERBAZAL 2	0,1368		14,1462	0,8467
Pb YERBAZAL 3	0,1221		12,2958	0,7233
Pb Std sed 1	0,1660		18,0038	2,6194
Pb Std sed 2	0,3253		47,7299	3,5780
Pb Std sed 4	0,1827		20,3340	3,0259

Parámetros Generales

Método:Mn Total 2020 01 17
 Automuestr.:Ningún
 Usar SFI: No

Operador:MARGARA ALQUERQUE

Modo Instrum.:Llama
 Dilución: Ninguna

Detalles Análisis

Nombre Análisis:Análisis 1 17/01/2020
 Nombre Operador:MARGARA ALQUERQUE

Espectróm.:ICE 3000 AA01144307 v1,30

Información lámp.

Elemento(s)	n° de Serie	mA Horas
Mn	14320362	375

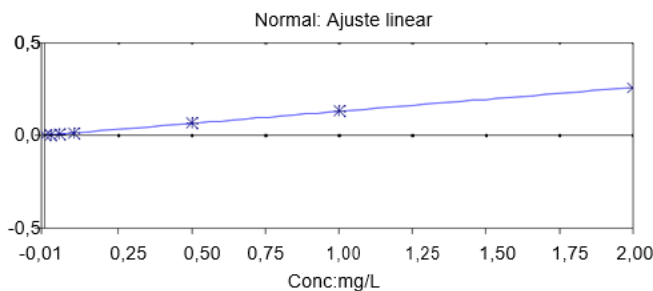
Horas lámp. Deuterio: 1488,50

Detalles Muestra

N°	ID Muestra	Masa Nominal:1,0000	
		Masa Muestra	Relac. Dilución
3	ENSENADA P1-2	0,2056	450,0000
4	ENSENADA P1-3	0,2400	450,0000
5	ENSENADA P2-1	0,2521	450,0000
6	ENSENADA P2-2	0,2510	450,0000
7	ENSENADA P2-3	0,2485	450,0000
8	BOCAS DE ATRATO 1	0,1000	450,0000
9	BOCAS DE ATRATO 2	0,1026	450,0000
10	BOCAS DE ATRATO 3	0,1505	450,0000
11	MATUNTUGO 1	0,1416	450,0000
12	MATUNTUGO 2	0,1385	450,0000
13	MATUNTUGO 3	0,1413	450,0000
14	EL ROTO 1	0,1059	450,0000
15	EL ROTO 2	0,1872	450,0000
16	EL ROTO 3	0,1633	450,0000
17	EL ROTO 3 DUPLICADO	0,1633	450,0000
18	LA PAILA1	0,2491	450,0000
19	LA PAILA2	0,1105	450,0000
20	LA PAILA3	0,1426	450,0000
21	MARIRIO1	0,2480	450,0000
22	MARIRIO2	0,2580	450,0000
23	MARIRIO3	0,2456	450,0000
24	YERBAZAL 1	0,2582	450,0000
25	YERBAZAL 2	0,2506	450,0000
26	YERBAZAL 3	0,2550	450,0000
27	Std sed 1	0,1031	450,0000
28	Std sed 2	0,2001	450,0000
29	ENSENADA 1-3	1,0000	1,0000
30	ENSENADA 2-1	1,0000	1,0000
31	LA PAILA 1	1,0000	1,0000

Result. Disolución - Mn

Y = 0,12860x + 0,0001
 Ajuste:0,9998
 Conc Característica:0,0342



ID Muestra	Señal Abs	Rsd %	Conc. mg/L	Conc. Corregida mg/L
Mn Blanco	-0,0013	10,0	0,0000	
Mn Estándar 1	0,0019	3,0	0,0200	
Mn Estándar 2	0,0066	2,4	0,0500	
Mn Estándar 3	0,0127	0,4	0,1000	
Mn Estándar 4	0,0661	1,3	0,5000	
Mn Estándar 5	0,1310	1,3	1,0000	
Mn Estándar 6	0,2558	0,5	2,0000	
Mn BK Digestado	0,0006	44,3	0,0035	0,0035
Mn MRL	0,0035	10,1	0,0260	0,0260
Test: referencia QC 1	Valor: 0,0260mg/L			Resultado: Pasado
Mn Std 0,5 mg/L	0,0665	0,6	0,5162	0,5162
Test: referencia QC 2	Valor: 0,5162mg/L			Resultado: Pasado
Mn ENSENADA P1-1	0,0134	1,6	0,1036	186,0441
Mn ENSENADA P1-2	0,0048	0,4	0,0362	79,3335
Mn ENSENADA P1-3	0,0025	6,9	0,0185	34,6915
Mn ENSENADA P2-1	0,0016	4,0	0,0116	20,7799
Mn ENSENADA P2-2	0,0324	1,3	0,2512	450,3473
Mn ENSENADA P2-3	0,0321	0,1	0,2486	450,2085
Mn BOCAS DE ATRATO 1	0,0141	1,1	0,1083	487,4633
Mn BOCAS DE ATRATO 2	0,0088	1,9	0,0676	296,5229
Mn BOCAS DE ATRATO 3	0,0188	1,0	0,1453	434,5977
Mn Std1 mg/L	0,1300	0,5	1,0097	1,0097
Test: referencia QC 3	Valor: 1,0097mg/L			Resultado: Pasado
Mn MATUNTUGO 1	0,0283	0,7	0,2192	696,4755
Mn MATUNTUGO 2	0,0246	1,7	0,1904	618,5604
Mn MATUNTUGO 3	0,0169	0,7	0,1301	414,2871
Mn EL ROTO 1	0,0161	1,6	0,1239	526,3807
Mn EL ROTO 2	0,0329	1,0	0,2550	613,0991
Mn EL ROTO 3	0,0074	4,7	0,0567	156,2675
Mn EL ROTO 3 DUPLICADO	0,0075	2,8	0,0571	157,3436

	ADS	%	mg/L	mg/L
Mn LA PAILA1	0,0032	11,9	0,0243	43,8837
Mn LA PAILA2	0,0148	2,3	0,1140	464,3617
Mn LA PAILA3	0,0097	0,5	0,0744	234,6824
Mn MARIRIO1	0,0101	2,5	0,0777	140,9448
Mn MARIRIO2	0,0051	9,6	0,0390	68,0511
Mn MARIRIO3	0,0141	70,2	0,1086	198,9853
Mn YERBAZAL 1	0,0190	1,9	0,1467	255,6066
Mn YERBAZAL 2	0,0139	2,9	0,1071	192,3171
Mn YERBAZAL 3	0,0130	2,0	0,0999	176,2806
Mn Std1 mg/L	0,1288	0,8	1,0008	1,0008
Test: referencia QC 3		Valor: 1,0008mg/L		Resultado: Pasado
Mn Std sed 1	0,0087	4,1	0,0670	292,2244
Mn Std sed 2	0,0166	1,4	0,1280	287,9624
Mn ENSENADA 1-3	0,0049	4,9	0,0373	0,0373
Mn ENSENADA 2-1	0,0035	8,8	0,0265	0,0265
Mn LA PAILA 1	0,0048	3,7	0,0367	0,0367

Reporte de Resultados CORPOURABA

Nombre Operador: MARGARA ALQUERQUE

Fecha Informe: 17/01/2020 12:09:28

Fichero Result.: C:\Users\LAB SUELOS\Desktop\Resultados A.AVALUMINIO\Aluminio sentencia\AI total Sedimento investigacion 2020 01 17.slr

Parámetros Generales

Método: AI Total 2020 01 17

Operador: MARGARA ALQUERQUE

Modo Instrum.: Llama

Automuestr.: Ningún

Dilución: Ninguna

Usar SFI: No

Detalles Análisis

Nombre Análisis: Análisis 1 17/01/2020

Espectróm.: ICE 3000 AA01144307 v1,30

Nombre Operador: MARGARA ALQUERQUE

Información lámp.

Elemento(s)

n° de Serie

mA Horas

AI

14312072

56

Horas lámp. Deuterio: 1490.00

Reporte de Resultados CORPOURABA

Nombre Operador: MARGARA ALQUERQUE

Fecha Informe: 15/02/2020 02:50:55

Fichero Result.: C:\Users\LAB SUELOS\Desktop\Resultadoa A.A\Nickel\Nickel sed 2020 02 15.slr

Parámetros Generales

Método: Ni Sedimento 2020 02 15

Operador: MARGARA ALQUERQUE

Modo Instrum.: Llama

Automuestr.: Ningún

Dilución: Ninguna

Usar SFI: No

Detalles Análisis

Nombre Análisis: Análisis 1 15/02/2020

Espectróm.: ICE 3000 AA01144307 v1,30

Nombre Operador: MARGARA ALQUERQUE

Información lámp.

Elemento(s)	n° de Serie	mA Horas
Ni	15510022	89

Horas lámp. Deuterio: 1518,81

Detalles Muestra

N°	ID Muestra	Masa Nominal: 1,0000	
		Masa Muestra	Relac. Dilución
1	Bk Digestado	1,0000	1,0000
2	ENSENADA P1-1	0,2506	15,0000
3	ENSENADA P1-2	0,2056	15,0000
4	ENSENADA P1-3	0,2400	15,0000

N°	ID Muestra	Masa Nominal: 1,0000	
		Masa Muestra	Relac. Dilución
5	ENSENADA P2-1	0,2521	15,0000
6	ENSENADA P2-2	0,2510	15,0000
7	ENSENADA P2-3	0,2485	15,0000
8	BOCAS DE ATRATO 1	0,1000	15,0000
9	BOCAS DE ATRATO 2	0,1026	15,0000
10	BOCAS DE ATRATO 3	0,1505	15,0000
11	MATUNTUGO 1	0,1416	15,0000
12	MATUNTUGO 2	0,1385	15,0000
13	MATUNTUGO 3	0,1413	15,0000
14	EL ROTO 1	0,1059	15,0000
15	EL ROTO 2	0,1872	15,0000
16	EL ROTO 3	0,1633	15,0000
17	EL ROTO 3 DUPLICADO	0,1633	15,0000
18	LA PAILA1	0,2491	15,0000
19	LA PAILA2	0,1105	15,0000
20	LA PAILA3	0,1426	15,0000
21	MARIRIO1	0,2480	15,0000
22	MARIRIO2	0,2580	15,0000
23	MARIRIO3	0,2456	15,0000
24	YERBAZAL 1	0,2582	15,0000
25	YERBAZAL 2	0,2506	15,0000
26	YERBAZAL 3	0,2550	15,0000
27	Std sed 1	0,1031	15,0000
28	Std sed 2	0,2001	15,0000
29	Std sed 4	0,2001	15,0000
30	std 0.5 mg/L	1,0000	1,0000

Result. Disolución - Ni

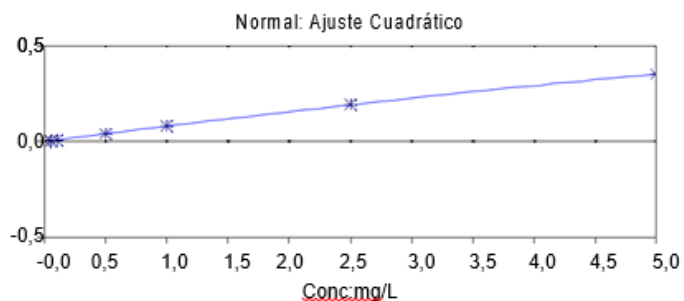
$$Y = -0,002517x^2 + 0,08289x - 0,0011$$

Ajuste:1,0000

Min Curvatura: 0%

Max Curvatura: 0%

Conc Característica:0,0532



ID Muestra	Señal Abs	Rsd %	Conc. mg/L	Conc. Corregida mg/L
Ni Blanco	-0,0011		0,0000	
Ni Estándar 1	0,0036		0,0500	
Ni Estándar 2	0,0071		0,1000	
Ni Estándar 3	0,0391		0,5000	
Ni Estándar 4	0,0796		1,0000	
Ni Estándar 5	0,1905		2,5000	
Ni Estándar 6	0,3504		5,0000	
Ni Bk Digestado	0,0003		0,0162	0,0162
Ni Std 0.05 m g/L	0,0030		0,0494	0,0494
Test: referencia QC 1		Valor: 0,0494mg/L		Resultado: Pasado
Ni Std 5 m g/L	0,3572		5,1175 C	5,1175 C
Test: referencia QC 2		Valor: 5,1175mg/L		Resultado: Pasado
Ni ENSENADA P1-1	0,0280		0,3543	21,2059
Ni ENSENADA P1-2	0,0156		0,2017	14,7146
Ni ENSENADA P1-3	0,0064		0,0906	5,6603
Ni ENSENADA P2-1	0,0036		0,0565	3,3619
Ni ENSENADA P2-2	0,0341		0,4300	25,6983
Ni ENSENADA P2-3	0,0332		0,4185	25,2617
Ni BOCAS DE ATRATO 1	0,0223		0,2847	42,7003
Ni BOCAS DE ATRATO 2	0,0162		0,2097	30,6557
Ni BOCAS DE ATRATO 3	0,0321		0,4047	40,3359
Ni Std 5 m g/L	0,3490		4,9743	4,9743
Test: referencia QC 2		Valor: 4,9743mg/L		Resultado: Pasado
Ni MATUNTUGO 1	0,0281		0,3561	37,7175
Ni MATUNTUGO 2	0,0247		0,3142	34,0310
Ni MATUNTUGO 3	0,0296		0,3737	39,6708
Ni EL ROTO 1	0,0166		0,2146	30,4022
Ni EL ROTO 2	0,0312		0,3939	31,5634
Ni EL ROTO 3	0,0229		0,2919	26,8086
Ni EL ROTO 3 DUPLICADO	0,0226		0,2883	26,4775
Ni LA PAILA1	0,0088		0,1191	7,1689
Ni LA PAILA2	0,0081		0,1104	14,9891
Ni LA PAILA3	0,0128		0,1683	17,7058
Ni MARIPIO1	0,0159		0,2064	12,4818
Ni MARIPIO2	0,0088		0,1198	6,9659
Ni MARIPIO3	0,0089		0,1207	7,3691

Ni YERBAZAL 1	0,0296	0,3741	21,7310
Ni YERBAZAL 2	0,0413	0,5198	31,1120
Ni YERBAZAL 3	0,0367	0,4618	27,1652
Ni Std sed 1	0,0180	0,2315	33,6869
Ni Std sed 2	0,0374	0,4703	35,2550
Ni Std sed 4	0,0372	0,4688	35,1387
Ni Std 0.5 mg/L	0,0394	0,4957	0,4957

Nombre Operador: MARGARA ALQUERQUE

Fecha Informe: 15/02/2020 01:44:54

Fichero Result.: C:\Users\LAB SUELOS\Desktop\Resultadoa A.A\CROMO\Cromo sentencia\Cr sedimento 2020 02 14.slr

Parámetros Generales

Método: Cr Sedimento 2020 0214

Operador: MARGARA ALQUERQUE

Modo Instrum: Llama

Automuestr: Ningún

Dilución: Ninguna

Usar SFI: No

Detalles Análisis

Nombre Análisis: Análisis 1 14/02/2020

Espectróm.: ICE 3000 AA01144307 v1,30

Nombre Operador: MARGARA ALQUERQUE

Información lámp.

Elemento(s)

n° de Serie

mA Horas

Cr

14351224

413

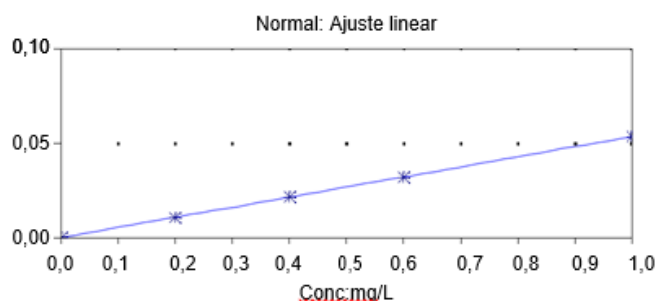
Horas lámp. Deuterio: 1518,31

Detalles Muestra

N°	ID Muestra	Masa Nominal:1,0000	
		Masa Muestra	Relac. Dilución
5	ENSENADA P2-1	0,2521	50,0000
6	ENSENADA P2-2	0,2510	50,0000
7	ENSENADA P2-3	0,2485	50,0000
8	BOCAS DE ATRATO 1	0,1000	50,0000
9	BOCAS DE ATRATO 2	0,1026	50,0000
10	BOCAS DE ATRATO 3	0,1505	50,0000
11	MATUNTUGO 1	0,1416	50,0000
12	MATUNTUGO 2	0,1385	50,0000
13	MATUNTUGO 3	0,1413	50,0000
14	EL ROTO 1	0,1059	50,0000
15	EL ROTO 2	0,1872	50,0000
16	EL ROTO 3	0,1633	50,0000
17	EL ROTO 3 DUPLICADO	0,1633	50,0000
18	LA PAILA1	0,2491	50,0000
19	LA PAILA2	0,1105	50,0000
20	LA PAILA3	0,1426	50,0000
21	MARIRIO1	0,2480	50,0000
22	MARIRIO2	0,2580	50,0000
23	MARIRIO3	0,2456	50,0000
24	YERBAZAL 1	0,2582	50,0000
25	YERBAZAL 2	0,2506	50,0000
26	YERBAZAL 3	0,2550	50,0000
27	Std sed 1	0,1031	200,0000
28	Std sed 2	0,2001	200,0000
29	Std sed 4	0,1008	200,0000
30	Std 2 sed	0,2001	60,0000

Result. Disolución - Cr

Y = 0,05321x + 0,0002
 Ajuste:0,9999
 Conc Característica:0,0827



ID Muestra	Señal Abs	Rsd %	Conc. mg/L	Conc. Corregida mg/L
Cr Blanco	0,0003		0,0000	
Cr Estándar 1	0,0106		0,2000	
Cr Estándar 2	0,0218		0,4000	
Cr Estándar 3	0,0320		0,6000	
Cr Estándar 4	0,0535		1,0000	
Cr Bk Digestado	0,0002		0,0002 C	0,0002 C
Cr Std 0.2mg/L	0,0107		0,1974	0,1974
Test: referencia QC 1		Valor: 0,1974mg/L		Resultado: Pasado
Cr Std 1.0 mg/L	0,0530		0,9918	0,9918
Test: referencia QC 2		Valor: 0,9918mg/L		Resultado: Pasado
Cr ENSENADA P1-1	0,0118		0,2164	43,1774
Cr ENSENADA P1-2	0,0036		0,0640	15,5607
Cr ENSENADA P1-3	0,0107		0,1966	40,9588
Cr ENSENADA P2-1	0,0035		0,0612	12,1455
Cr ENSENADA P2-2	0,0203		0,3762	74,9453
Cr ENSENADA P2-3	0,0196		0,3647	73,3900
Cr BOCAS DE ATRATO 1	0,0128		0,2353	117,6741
Cr BOCAS DE ATRATO 2	0,0111		0,2033	99,0658
Cr BOCAS DE ATRATO 3	0,0218		0,4057	134,7804
Cr Std 1.0 mg/L	0,0483		0,9036	0,9036
Test: referencia QC 2		Valor: 0,9036mg/L		Resultado: Pasado
Cr MATUNTUGO 1	0,0207		0,3840	135,6043
Cr MATUNTUGO 2	0,0161		0,2983	107,7071
Cr MATUNTUGO 3	0,0182		0,3379	119,5652
Cr EL ROTO 1	0,0082		0,1496	70,6360
Cr EL ROTO 2	0,0180		0,3333	89,0182
Cr EL ROTO 3	0,0151		0,2789	85,4021
Cr EL ROTO 3 DUPLICADO	0,0173		0,3210	98,2944
Cr LA PAILA1	0,0067		0,1220	24,4810
Cr LA PAILA2	0,0070		0,1271	57,5058
Cr LA PAILA3	0,0075		0,1361	47,7117
Cr MARIRIO1	0,0118		0,2172	43,7858
Cr MARIRIO2	0,0114		0,2097	40,6319
Cr MARIRIO3	0,0115		0,2109	42,9316
Cr YERBAZAL 1	0,0206		0,3823	74,0356

ID Muestra	Señal Abs	Rsd %	Conc. mg/L	Conc. Corregida mg/L
Cr YERBAZAL 2	0,0221		0,4102	81,8356
Cr YERBAZAL 3	0,0209		0,3886	76,2018
Cr Std sed 4	0,0046		0,0252	50,0873
Cr Std 2 sed	0,0155		0,2877	86,2701

Anexo 2. Tabla NNOA marine sediment- Bouchman (2008).



Screening Quick Reference Table for Inorganics in Sediment

These tables were developed for screening purposes only; they do not represent official NOAA policy and do not constitute criteria or clean-up levels. All attempts have been made to ensure accuracy; however, NOAA is not liable for errors. Values are subject to changes as new data become available.

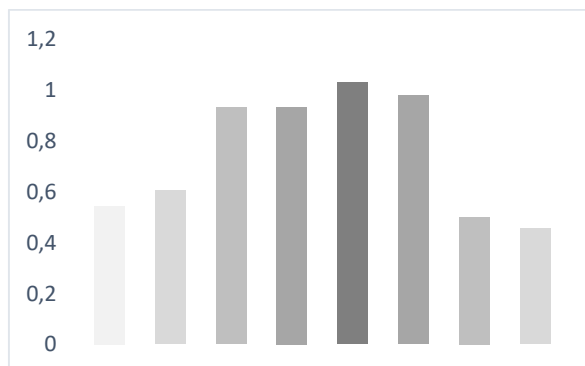
Analyte	FRESHWATER SEDIMENT										MARINE SEDIMENT						
	"Background" ¹	ARCS <i>H. azteca</i> TEL ²	TEC ³	TEL ³	LEL ⁴	PEC ³	PEL ³	SEL ⁴	UET ¹	I ₂₀ ⁵	TEL ⁶	ERL ⁶	I ₅₀ ⁵	PEL ⁶	ERM ⁶	AET ⁷	
Predicted Toxicity Gradient: → → → → → → → → →																	
Aluminum (%)	Al	0.26%	2.55%													1.8% N	
Antimony	Sb	160							3,000 M	630			2,400			9,300 E	
Arsenic	As	1,100	10,798	9,790	5,900	6,000	33,000	17,000	33,000	17,000 I	7,400	7,240	8,200	20,000	41,600	35,000 B	
Barium	Ba	700										130,100#				48,000 A	
Cadmium	Cd	100-300	583	990	596	600	4,980	3,530	10,000	3,000 I	380	680	1,200	1,400	4,210	9,600	3,000 N
Chromium	Cr	7,000-13,000	36,286	43,400	37,300	26,000	111,000	90,000	110,000	95,000 H	49,000	52,300	81,000	141,000	160,000	370,000	62,000 N
Cobalt	Co	10,000				50,000+											10,000 N
Copper	Cu	10,000-25,000	28,012	31,600	35,700	16,000	149,000	197,000	110,000	86,000 I	32,000	18,700	34,000	94,000	108,000	270,000	390,000 MO
Iron (%)	Fe	0.99-1.8 %	18.84%			2%			4%	4% I							22% N
Lead	Pb	4,000-17,000	37,000	35,800	35,000	31,000	128,000	91,300	250,000	127,000 H	30,000	30,240	46,700	94,000	112,000	218,000	400,000 B
Manganese	Mn	400,000	630,000			460,000			1,100,000	1,100,000 I							260,000 N
Mercury	Hg	4-51		180	174	200	1,060	486	2,000	560 M	140	130	150	480	700	710	410 M
Nickel	Ni	9,900	19,514	22,700	18,000	16,000	48,600	36,000	75,000	43,000 H	15,000	15,900	20,900	47,000	42,800	51,600	110,000 EL
Selenium	Se	290															1,000 A
Silver	Ag	<500				500 +					4,500 H	230	730	1,000	1,100	1,770	3,100 B
Strontium	Sr	49,000															
Tin	Sn	5,000										48 *					> 3,400 N
Vanadium	V	50,000															57,000 N
Zinc	Zn	7,000-38,000	98,000	121,000	123,000	120,000	459,000	315,000	820,000	520,000 M	94,000	124,000	150,000	245,000	271,000	410,000	410,000 I
Lead 210	bq/g dw					0.5 ^			< 9.7 ^								
Polonium 210	bq/g dw					0.6 ^			< 8.7 ^								
Radium 226	bq/g dw					0.1 ^			< 13 ^								
Sulfides										130,000 M							4,500 MO

- Based on SLC approach using sensitive species HC5%; ES&T 2005 39(14):5148-5156.
 * - Based upon EQp approach using current AWQC CCC
 ^ - Based on SLC approach to derive LEL and SEL; Env'al Monitor & Ass'ment 2005 110:71-85
 + - Carried over from Open Water disposal Guidelines; treated as if LEL for management decisions.
 Bioassay endpoints: M - Microtox; B - Bivalve; E - Echinoderm larvae; O - Oyster larvae;
 A - Amphipod; N - Nearthes; L - Larval bioassay; plus, I - Infaunal community impacts

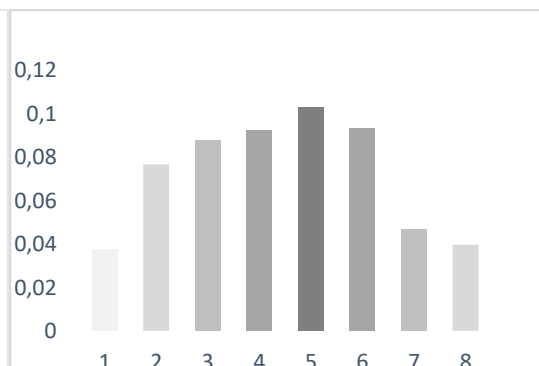
Sources
 1 - Buchman, M. 1999. NOAA HAZMAT Report 99-1.
 2 - EPA 905-R96-008
 3 - Arch ET&C 2000, 39(1)20- TEL and PEL are also known as Canadian ISQs and PELs
 4 - Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario Aug 1993
 5 - ET&C 2002, 21(9)1993-
 6 - Ecotox. 1996, 5(4):253-
 7 - Chapter 173-204 WAC, 1991/95 as supplemented by WA Dept of Ecology staff with unpublished data.

Anexo 3. Histogramas de cada metal

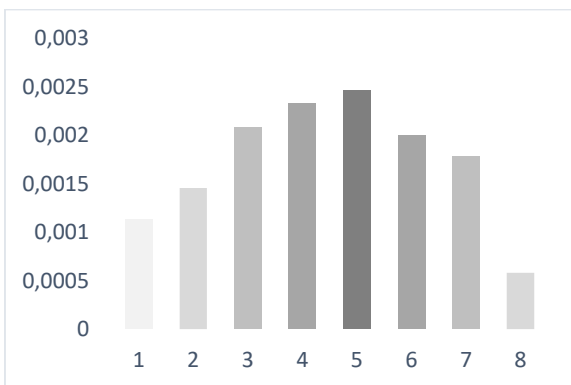
Histograma Pb.



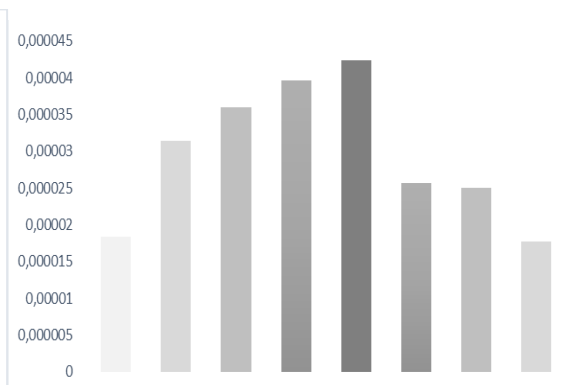
Histograma As



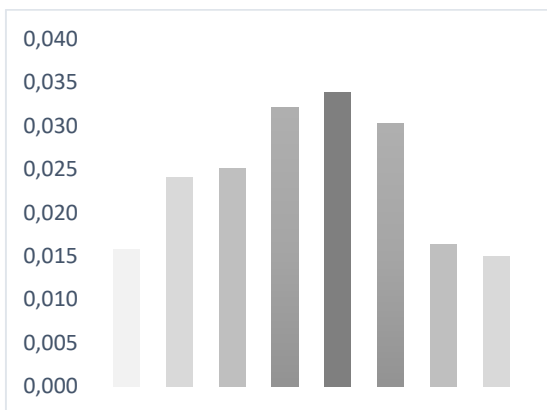
Histograma Mn



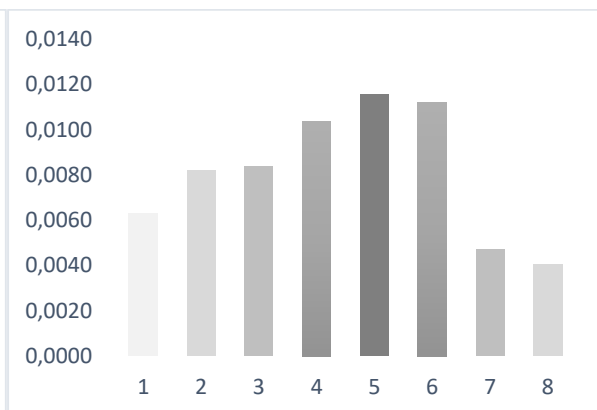
Histograma Al



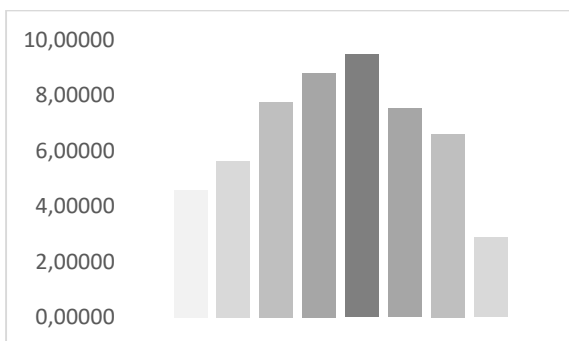
Histograma Ni



Histograma Cr



Histograma Hg.



Histograma Cd.

