

**EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL ASOCIADO A METALES EN LOS
SEDIMENTOS DEL RÍO MARACAS EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR**

**DEIVER CÁCERES JULIO
RAFAEL OSORIO PÉREZ**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR**

2019

**EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL ASOCIADO A METALES EN LOS
SEDIMENTOS DEL RÍO MARACAS EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR**

**DEIVER CÁCERES JULIO
RAFAEL OSORIO PÉREZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero
Ambiental y Sanitario**

**DIRECTOR
LUIS HERNANDO MONTOYA ARMENTA**

**CODIRECTOR
JOSE MAURICIO PEREZ ROYERO**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR – CESAR**

2019

Nota de Aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por el apoyo y la confianza brindada durante toda mi preparación profesional, se queda pequeño este espacio para mostrar toda mi gratitud por haberme apoyado en todos los proyectos que he emprendido hasta el momento. Agradezco a mi hermana, que aunque menor que yo, ha mostrado ser una persona responsable y con gran madurez capaz de lograr los objetivos que se proponga. A mi hermano menor, por las distracciones en los momentos de estrés. Quiero dejar constancia de mi más profundo agradecimiento a Yoselin, por haberme acompañado durante todo este proceso, aconsejarme y darme apoyo en mis momentos de dudas.

Mis sinceros agradecimientos a nuestro director de proyecto, doctor Luis Montoya, quien ha sabido guiarnos con sus amplios conocimientos y calidad de persona en la realización de esta investigación, es un modelo de profesional a seguir. De igual manera, agradecer a nuestro codirector, el ingeniero José Mauricio Pérez, por su empeño en mejorar el trabajo cada vez más.

A la Universidad Popular del Cesar, por acogernos todos estos años de preparación profesional y por prestarnos sus instalaciones para el desarrollo de esta investigación. Al laboratorio de toxicología y gestión ambiental de la Universidad de Córdoba por su aporte, aporte que ha sido fundamental para la realización este proyecto. Por último, agradecer a todas las personas que han aportado de una u otra manera al desarrollo de esta investigación y la formación profesional.

Rafael José Osorio Pérez.

AGRADECIMIENTOS

Expreso primeramente mis agradecimientos a Dios, por ser motor y guía de mi vida. A mis padres, por ser un apoyo incondicional en todas las decisiones y metas de mi vida, por creer en mí y por brindarme una mano siempre que la necesite.

Tambien agradezco enormemente a nuestro director de proyecto, el doctor Luis Hernando Montoya, por compartir con nosotros sus conocimientos, consejos y su tiempo para que este proyecto fuese una realidad. A nuestro codirector, el ingeniero Jose Mauricio Pérez por su apoyo en este arduo trabajo. A mi compañero de fórmula Rafael, por ser un apoyo y complemento es todo este esfuerzos logramos sacar esto adelante.

A la Universidad Popular Del Cesar por brindarme la oportunidad de formarme como profesional y por permitirnos desarrollar nuestra investigación en sus instalaciones. Igualmente le agradecemos al Laboratorio de Toxicología de la Universidad De Córdoba, por habernos apoyado en esta investigación.

Por último, le agradezco a mis amigos, compañeros y a aquellas personas que de alguna u otra manera aportaron para que esta investigación se llevara a cabo.

A todos ustedes, muchas gracias....

Deiver José Cáceres Julio

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
2. JUSTIFICACIÓN.....	5
3. OBJETIVOS.....	7
3.1. OBJETIVO GENERAL	7
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	7
4. MARCO REFERENCIAL	8
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	8
4.2. MARCO TEORICO	12
4.2.1. Metales pesados	12
4.2.2. Contaminación por metales.....	12
4.2.3. Fuentes de metales pesados en el ambiente.....	13
4.2.4. Los sedimentos como fuente y portadores de metales	16
4.2.5. Indicadores de contaminación por metales	16
4.3. MARCO CONCEPTUAL.....	21
4.4. MARCO CONTEXTUAL	23
4.4.1. Climatología de la cuenca	25
4.4.2. Características litogénicas	26
4.4.3. Geología.....	28
4.4.4. Drenaje del río Maracas	30
4.4.5. Densidad de drenaje	30
4.5. MARCO LEGAL.....	31
5. METODOLOGIA.....	33

5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	33
5.2. POBLACIÓN.....	33
5.3. MUESTRA	34
5.4. DESARROLLO METODOLOGICO.....	34
5.4.1. Trabajo de campo	34
5.4.2. Trabajo de laboratorio	36
5.4.3. Establecer la concentración de metales.....	39
5.4.4. Tratamiento estadístico de datos.	39
5.4.5. Evaluación del riesgo ambiental por metales pesados en sedimentos	
40	
6. RESULTADOS Y ANALISIS.....	44
6.1. ANALISIS GRANULOMETRICO DE SEDIMENTOS.....	44
6.2. PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLOGICOS	48
6.3. CONCENTRACIÓN DE METALES.....	51
6.4. ANALISIS ESTADISTICO.....	56
6.4.1. Correlación entre variables	56
6.4.2. Análisis de componentes principales	59
6.5. INDICES DE CONTAMINACIÓN POR METALES	60
6.5.1. Concentración de efecto limite (TEC) y concentración de efecto probable (PEC).....	60
6.5.2. Factor de contaminación.....	61
6.5.3. Índice de carga contaminante (PLI).....	65
6.5.4. Índice de riesgo ecológico potencial.....	68
6.5.5. Factor de enriquecimiento.....	71
6.5.6. Índice de toxicidad ERMQ.....	74

6.5.7. Índice de toxicidad PELQ	76
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFIA.....	84
ANEXOS.....	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Becerril.	23
Figura 2. Ubicación geográfica del Río Maracas.....	24
Figura 3. Precipitación media anual cuenca del río Calenturitas.	25
Figura 4. Temperatura media anual cuenca Calenturitas.	26
Figura 5. Jornada de muestreo de sedimentos superficiales en el río Maracas. ...	35
Figura 6. Puntos de muestreo en el río Maracas.	36
Figura 7. Secado de muestras de sedimentos superficiales extraídos del río Maracas.	37
Figura 8. Curva granulométrica de los sedimentos para época de invierno.	45
Figura 9. Curva granulométrica de los sedimentos para la época de verano.	47
Figura 10. Concentración media de metales pesados por época de muestreo.	54
Figura 11. Concentración media de Cadmio por época de muestreo.	55
Figura 12. Concentración media de Hierro y Aluminio por época de muestreo.	55
Figura 13. Factores del ACP con rotación varimax para las concentraciones de metales en sedimentos, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.	59
Figura 14. Factor de contaminación épocas de invierno.....	63
Figura 15. Factor de contaminación épocas de verano.	65
Figura 16. Índice de carga contaminante (PLI) época de invierno río Maracas.	66
Figura 17. Índice de carga contaminante (PLI) épocas de verano río Maracas.	67
Figura 18. Coeficiente de Riesgo Ecológico Potencial (EI) para época de invierno.	69
Figura 19. Coeficiente de Riesgo Ecológico Potencial (EI) para época de verano.	70
Figura 20. Índice de Riesgo Ecológico Potencial para la época de invierno.	70
Figura 21. Índice de Riesgo Ecológico Potencial para época de verano.	71
Figura 22. Factor de enriquecimiento época de invierno.	73
Figura 23. Factor de enriquecimiento época de verano.....	74
Figura 24. Índice de toxicidad ERMQ para la época de invierno.	75

Figura 25. Índice de toxicidad ERMQ para la época de verano.	76
Figura 26. Índice de toxicidad PELQ para la época de invierno.	77
Figura 27. Índice de toxicidad PELQ para la época de verano.	78

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Elementos trazas de las rocas más comunes que forman los minerales.	14
Tabla 2. Usos y fuentes antropogénicas de metales pesados a través de los cuales pueden ser introducidos al medioambiente.	15
Tabla 3. Valores de referencia TEC y PEC.....	17
Tabla 4. Clasificación de los sedimentos de acuerdo al factor de contaminación..	18
Tabla 5. Riesgo ecológico potencial de metales pesados.	19
Tabla 6. Nivel de enriquecimiento para los valores EF.	19
Tabla 7. Valores de referencia en (mg kg ⁻¹) de los índices ERM y PEL.	20
Tabla 8. Interpretación de los valores ERMQ y PELQ.	20
Tabla 9. Ubicación de puntos de muestreo.....	35
Tabla 10. Granulometría para muestreo en Época de Invierno.	44
Tabla 11. Porcentaje de grava, arena, limo y arcilla para los sedimentos de fondo del río Maracas en época de invierno.	46
Tabla 12. Granulometría para muestreo en época de verano.	47
Tabla 13. Porcentaje de grava, arena, limo y arcilla para los sedimentos de fondo del río Maracas en época de invierno.	48
Tabla 14. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos río Maracas.....	49
Tabla 15. Concentración de metales en sedimentos de fondo del río Maracas.....	53
Tabla 16. Correlaciones entre concentración de metales, parámetros fisicoquímicos y microbiológico.....	58
Tabla 17. Comparación de metales pesados en sedimentos con los valores TEC y PEC para cada metal.....	61
Tabla 18. Concentraciones de fondo para sedimentos del río Maracas.	62
Tabla 19. Factor de contaminación por metales en el río Maracas.....	62
Tabla 20. Índice de carga contaminante (PLI) Río Maracas.	66
Tabla 21. Índice de riesgo ecológico potencial y cálculo de Riesgo ecológico para el río Maracas.	68
Tabla 22. Factor de enriquecimiento para metales pesados río Maracas.....	72

Tabla 23: índice de toxicidad ERMQ para sedimentos del río Maracas.....	75
Tabla 24. Índice de toxicidad PELQ para sedimentos Rio Maracas.	77

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los ecosistemas están expuestos a grandes cargas de sustancias provenientes del desarrollo urbano e industrial. Teniendo como consecuencia el vertimiento de cantidades importantes de residuos y sustancias contaminantes a los ecosistemas, generalmente sin algún tipo de tratamiento, lo cual contribuye a la incremento de sustancias nocivas, generando graves impactos y peligros ambientales (Rosas, 2001).

Dentro de las sustancias contaminantes de origen antropogénico que ingresan en el medio acuático se destacan los metales. Los cuales llegan a los ecosistemas principalmente por efluentes generados a partir de actividades petroleras, mineras, descargas industriales y urbanas. En el ingreso difuso de metales, destacan los elementos provenientes de sistemas de producción agraria extensiva en forma de pesticidas (Cáceres *et al*, 2013).

El estudio de la presencia de metales pesados en sedimentos constituye un aporte a la disposición de carácter ambiental en los ríos, contribuyendo a un diagnóstico del estado de la contaminación ambiental, facilitando la toma de decisiones de carácter gubernamental para el control y recuperación de las fuentes hídricas. Los metales pesados constituyen un serio problema ambiental debido a su toxicidad y a sus repercusiones fisiológicas tanto en los seres humanos como en animales (Contreras, Mendoza, & Gómez, 2004).

La cuenca del río Maracas se ubica en jurisdicción del municipio de Becerril, este municipio es ampliamente conocido por sus actividades económicas, las cuales se centran en la minería y la agricultura, estas actividades, son ampliamente conocidas por ser fuentes potenciales de contaminación por metales, lo cual se traduce en riesgos ambientales significativos para la flora y fauna de la región, así como también para las comunidades dependientes de esta fuente hídrica.

Se recolectaron sedimentos de fondo superficiales en dos épocas hidrológicas del año (invierno y verano), en tres puntos de muestreo ubicados a lo largo del cauce principal del río Maracas, a las muestras recolectadas, se les realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica. La determinación de metales se realizó mediante el método de digestión EPA3051A. Pb, Cd: GFAAS; As: HGAAS; Cu, Zn, Ni, Fe, Al, Cr: FAAS.

Se realizó la correlación entre metales y parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, utilizando los coeficientes de correlación de Pearson. La evaluación del riesgo ambiental fue realizada utilizando indicadores de contaminación por metales (concentraciones TEC y PEC, Factor de contaminación, índice de carga contaminante PLI, índice de riesgo ecológico potencial RI, factor de enriquecimiento y los índices de toxicidad ERMQ y PELQ).

La evaluación de estos riesgos brinda la información necesaria para la formulación de una línea base que permita establecer medidas de mitigación y control de los efectos adversos sobre los factores bióticos de la zona de estudio.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El río Maracas es uno de los recursos hídricos que más importancia tiene sobre el municipio de Becerril, debido a que en su cuenca se han desarrollado proyectos mineros, agrícolas, ganaderos e industriales, que forman parte de la estructura económica que sostiene al municipio, además de ser la principal fuente de abastecimiento de agua para el consumo de la población. En este sentido, se considera al río Maracas como una fuente hídrica de gran importancia para el desarrollo económico, social y ambiental del municipio de Becerril (Consortio Calenturitas , 2016).

El desarrollo de algunas de estas actividades económicas ha generado conflictos ambientales debido a la contaminación de la cuenca del río Maracas, afectando el equilibrio eco sistémico. De igual manera, en cercanías a la cuenca del río existe un botadero informal, el cual genera un alto riesgo de contaminación ambiental por metales (Consortio Calenturitas, 2016).

La actividad agrícola es considerada como una fuente de contaminación difusa por la descarga de contaminantes como pesticidas, herbicidas, metales pesados, entre otros, a las aguas superficiales y subterráneas. Además, las diversas formas de explotación minera constituyen una fuente de contaminación que, en ocasiones, puede llegar a niveles significativos, dependiendo de los métodos, equipos, minerales, volúmenes y disposición de los materiales estériles o relaves, afectando el suelo, el aire y el agua, por separado o en forma combinada (Escobar, 2002).

Los metales pesados y otros contaminantes, forman uniones químicas con las partículas de sedimento, pasan de la columna de agua a los sedimentos de fondo para ser acumulados y posteriormente liberados, generalmente en formas más

toxicas o viables de ser tomados y con mayor rapidez por los organismos acuáticos generando efectos adversos en estos (Escobar, 2002).

Actualmente existe poco o nada en materia de reportes del estado de la contaminación por metales en el río Maracas y los ríos del Cesar en general, tampoco existe evidencia de que los metales presentes en los sedimentos puedan generar efectos sobre la biota que habita el ecosistema, ni de cómo estos afectan la seguridad alimentaria local y por ende, la salud de las poblaciones dependientes de estos ecosistemas (Valdés *et al*, 2014).

Partiendo de lo planteado anteriormente, la pregunta de investigación es la siguiente: ¿las concentraciones de los metales presentes en los sedimentos de fondo del río Maracas representan riesgo ambiental?

2. JUSTIFICACIÓN

Por lo general, los problemas que a la contaminación en las fuentes hídricas respecta, son inducidos por actividades de origen antropogénicas. El hombre para satisfacer sus necesidades, recurre de forma progresiva a procesos de explotación sobre los cauces naturales. Esta explotación, repercute en la integridad de los ecosistemas e impacta negativamente la flora y fauna acuática, lo que se traduce en riesgo ambiental para los sistemas acuáticos, así como para la salud de las poblaciones rivereñas dependientes de estos (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2015).

Existen diversos factores que hacen del río Maracas, un río vulnerable a la contaminación por metales, siendo la extracción de material para la construcción, las actividades agrícolas y el vertimiento de aguas residuales los más influyentes (Consorcio Calenturitas , 2016).

Bajo esta premisa, se adelanta el presente estudio, partiendo de la necesidad de tener información acerca de la calidad ambiental de las aguas y sedimentos del río Maracas, y del riesgo al que pueden estar sometidos los organismos acuáticos del río y los pobladores del municipio de Becerril por la presencia de metales que por razones antrópicas y/o naturales pueden llegar hasta los sedimentos del río y posteriormente transportarse a otros organismos a través de la cadena trófica.

Las formas iónicas de los metales de interés en este proyecto (Cobre, Cromo, Hierro, Arsénico, Cadmio, Aluminio, Níquel, Plomo y Zinc), pueden ser tóxicas para la flora, la fauna terrestre y acuática. Además, estos metales se van acumulando en los organismos que los absorben, los cuales a su vez son fuente de alimentación en las redes tróficas y son transferidos al hombre como último eslabón de la cadena alimenticia y, en altas concentraciones pueden llegar a ser fatales.

Debido a que no se conoce información documentada, acerca de aspectos que se relacionen con la distribución espacial y la biodisponibilidad de los metales que mayor relevancia ambiental tienen y que pueden encontrarse en la zona de estudio, y que pese a este desconocimiento, éste río ha sido objeto de procesos de control e intervenciones tendientes a establecer un uso ambientalmente adecuado, se hace necesario la realización de este estudio, con el fin de evaluar el riesgo ambiental asociado a metales en los sedimentos del río Maracas en el departamento del Cesar, y se pretende que este estudio, sirva como un instrumento que con información veraz, ayude a la toma de decisiones en el acto de ordenación de esta cuenca.

Además, el estudio a realizarse debe servir para analizar la situación en que se encuentra el río Maracas en cuanto a la presencia de metales, su distribución geográfica a lo largo de la cuenca del río y las concentraciones en las que dichos metales se manifiestan en el cuerpo de agua. Sirviendo de referencia esta información para futuros estudios en los que se necesite conocer el estado ambiental de la cuenca del río Maracas.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el riesgo ambiental asociado a metales en los sedimentos del río Maracas en el departamento del Cesar.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Realizar la caracterización granulométrica y fisicoquímica de los sedimentos de fondo en distintos puntos del cauce del río Maracas.

Establecer la concentración de metales (Al, As, Cd, Cu, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn) presentes en el sedimento de fondo del río Maracas, identificando los sectores críticos de contaminación.

Evaluar el riesgo ambiental asociado a los niveles de metales en los sedimentos de fondo, utilizando diferentes índices (Concentración de efecto límite, concentración de efecto probable, índice de carga contaminante, Factor de contaminación, índice de riesgo ecológico potencial, factor de enriquecimiento y los índices de toxicidad ERMQ y PELQ).

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Tejeda & Olivero (2016), Perfil toxicológico de los sedimentos del río Magdalena usando como modelo biológico *Caenorhabditis elegans*. Realizaron un estudio en el río Magdalena empleando el nematodo *Caenorhabditis elegans* como modelo biológico para la evaluación toxicológica de los sedimentos de este cuerpo de agua. Recolectaron 20 muestras de sedimentos en 20 puntos de muestreo en sitios ubicados a lo largo del río, cuantificando en los sedimentos metales e hidrocarburos aromáticos. Para la evaluación de toxicidad, expusieron a nematodos silvestres y transgénicos a extractos acuosos y metanólicos de los sedimentos, evaluando diferentes parámetros biológicos y alteraciones en las vías de transducción de señales, empleando para ello genes reporteros. Además emplearon las concentraciones de efecto límite (TEC) y efecto probable (PEC), el índice de riesgo ecológico potencia y el índice de carga contaminante. Encontrando que las concentraciones de metales como cromo, cadmio, cobre y níquel estuvieron por encima de los valores límites para evitar efectos biológicos adversos en organismos. El valor del Índice de Carga de Contaminación para los sedimentos de Gamarra, Campo de la Cruz y Barranquilla, sugiere que en estos sitios el nivel de contaminación es muy alto. En las estaciones localizadas en áreas de actividad industrial y de minería extensiva, tales como Barrancabermeja, San Pablo, Simití, Gamarra, El Banco, Mompo y Barranquilla, los Índices de Riesgo Ecológico Potencial aparecen elevados, indicando contaminación muy alta por metales pesados.

Espitia (2014), Determinación de metales pesados en sedimentos superficiales en cuerpos de agua del canal del dique en las poblaciones de Gambote y Soplaviento (Bolívar). Realizaron la determinación de la concentración de metales pesados (Hg, Cd, Pb, Cr, Ni, Fe), en sedimentos

superficiales en Cuerpos de Agua del Canal del Dique, (brazo artificial del Río Magdalena) mediante el método de digestión suave, encontrando niveles normales de dichos metales en estos cuerpos de agua, pese a tener aportes del río Magdalena, y a estar con influencia de zonas mineras. Halló un nivel ligeramente superior de Níquel en la Ciénaga Grande de Lórica (sitio control, sin fuentes antropogénicas de contaminación por metales pesados) con relación a los demás puntos de muestreo debido a que es un sitio rico en Níquel, pero sus valores están dentro de los valores permisibles, por lo demás es un buen sitio para utilizarlo como control de los demás metales, el Plomo no fue detectado mediante el empleo de ésta metodología. La determinación de metales pesados en sedimentos superficiales en cuerpos de agua del canal del dique en las poblaciones de Gambote y Soplaviento en el departamento del Bolívar.

Montoya, L. (2013). Efectos de las crecidas en el transporte de material particulado y contaminantes asociados: aplicación al caso del río Oka (Urdaibai), País Vasco. El objetivo principal de esta investigación fue estudiar los efectos de los eventos de crecidas en el transporte de material particulado y la degradación de la calidad fisicoquímica del agua y sedimentos en la cuenca del río Oka (España), durante los años hidrológicos de 2009 a 2012. Esta investigación realizó gran hincapié en la determinación del riesgo ambiental de estos metales presentes en los sedimentos de fondo, a partir del uso del factor de enriquecimiento, el índice de carga contaminante (PLI) y los índices de toxicidad ERMQ y PELQ.

Herrera et al (2013), Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. Analizaron por espectrofotometría de absorción atómica la concentración de Cd, Ag, Se, Sn, Ni, Cr, Cu, B, Zn, Hg, Ba, Pb, Mn, As y Al en los sedimentos superficiales del sector medio del río Pirro (Heredia, Costa Rica). Encontraron que las concentraciones de estos elementos fueron muy elevadas para la mayoría de las sustancias analizadas en todos los puntos de

muestreo seleccionados. Su distribución no fue homogénea, ni presentó un patrón geográfico marcadamente definido, pudiéndose encontrar altos niveles distribuidos a lo largo del transepto estudiado.

Espinosa, Parra, & Villamil (2011), Determinación del contenido de metales pesados en las fracciones geoquímicas del sedimento superficial asociado a los manglares de la Ciénega Grande de Santa Marta, Colombia. Llevaron a cabo una investigación con el propósito de establecer el potencial de movilidad y biodisponibilidad de los metales Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, As y Pb en sedimentos superficiales asociados al manglar en la CGSM, se analizaron sus contenidos en cuatro áreas con diferente grado de cobertura de manglar. Los metales fueron extraídos siguiendo el esquema de extracción secuencial de Tessier y se midieron por la técnica de Espectrometría de Plasma Inductivamente Acoplado. En general, las mayores concentraciones de los metales estudiados se encontraron en formas no biodisponibles. Los metales Mn, Ni, Cu, Cd, As y especialmente Zn, podrían ser potencialmente movilizados por cambios del potencial redox del sedimento principalmente. No obstante, las concentraciones de los elementos encontradas en las fracciones móviles son muy bajas y no representan riesgo ambiental.

Parra & Espinoza (2008), Distribución de metales pesados (Pb, Cd y Zn) en perfiles de sedimentos asociados a Rhizophora Mangle en el río Sevilla - Ciénega Grande de Santa Marta, Colombia. Con el propósito de evaluar la distribución vertical de metales pesados Pb, Cd y Zn en el sedimento asociado a las plantas de Rhizophora mangle, realizaron la determinación de las concentraciones potencialmente biodisponibles y no biodisponibles, en tres perfiles de sedimento colectados en el río Sevilla, Ciénega Grande de Santa Marta. Las mediciones se hicieron con la técnica de espectrometría de emisión atómica de plasma inductivamente acoplado. Los resultados mostraron que en el ecosistema de manglar del río Sevilla estos metales se acumulan principalmente en formas no biodisponibles, lo cual indica que la mayor parte de estos elementos

se encuentran retenidos en el sedimento. La retención del Pb, Cd y Zn en el sedimento de éste ecosistema de manglar está fuertemente relacionada con los parámetros fisicoquímicos pH, salinidad y potencial redox y con los contenidos de materia orgánica y de limos y arcillas.

4.2. MARCO TEORICO

4.2.1. Metales pesados

El termino metal pesado se utiliza en muchas ocasiones como sinónimo de contaminante inorgánico o elemento traza potencialmente tóxico. Sin embargo, no existe una definición oficial que sea generalmente aceptada. Aunque, se han empleado muchos criterios para definir los metales pesados. Entre las principales propiedades consideradas para ello, se cuentan, la masa atómica y el peso atómico Kennish (1996), así como la densidad, considerándose como metales pesados aquellos elementos metálicos con densidad superior a $4,5 \text{ g/cm}^3$ (Ag, Au, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ge, Hf, Hg, Ho, In, Ir, La, Lu, Mn, Mo, Nb, Nd, Ni, Os, Pb, Pd, Pr, Pt, Ra, Re, Rh, Ru, Sb, Sm, Sn, Ta, Tb, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Yb, Zn, Zr) (Gadd & Griffiths, 1978).

Se pueden clasificar los metales pesados, en dos grupos. El primero engloba a los denominados *esenciales*, que son aquellos elementos que resultan necesarios para que los organismos vivos completen su ciclo vital, siendo estos requeridos en pequeñas cantidades y que, pasado cierto límite, pueden ser *tóxicos*. El segundo grupo está constituido por aquellos metales pesados que no presentan una función biológica conocida y que, al igual que los anteriores, resultan tóxicos cuando se supera un determinado nivel (Gadd & Griffiths, 1978).

4.2.2. Contaminación por metales

La contaminación ambiental es considerada como una de las problemáticas más importante que afecta a la sociedad del siglo XXI. Problemas como la perdida de la calidad del aire, de suelos disponibles para actividades agrícolas y contaminación del recurso hídrico se han incrementado exponencialmente (Chen *et al*, 2013).

La contaminación por metales se diferencia de la contaminación por sustancias orgánicas, en que estos, no se pueden eliminar de los ecosistemas acuáticos por procesos naturales, lo que se debe a que estos metales no son biodegradables (Förstner & Wittmann, 1981). Por el contrario son muy contaminantes y sufren un ciclo eco-biológico, donde las aguas naturales son el principal camino (Moalla, Awadallah, Rashed, & Soltan, 1998).

Además de esto, los metales pesados tienen tendencia a formar asociaciones, con sustancias minerales (carbonatos, sulfatos, etc.) y en mayor grado con sustancias orgánicas, mediante fenómenos de intercambio iónico, adsorción, quelación, formación de combinaciones químicas, etc., por lo que se acumulan en el medio ambiente, principalmente en los sedimentos de ríos, lagos y mares (Förstner & Wittmann, 1981).

Las altas concentraciones de metales pesados en las fuentes de aguas, que se relacionan a los sulfuros tales como el As, Cd, Cu, Pb y Zn se atribuyen a la minería y son causa del fuerte impacto en el medio ambiente, Salomons (1995). Otros metales no-sulfurosos como el Cr, Ni y Hg pueden indicar contaminación por fuentes antropogénicas que están estrechamente asociados con las descargas industriales, (Nelson & Lamothe, 1993).

4.2.3. Fuentes de metales pesados en el ambiente

En la actualidad los ecosistemas son expuestos a una gran carga de sustancias que provienen del desarrollo urbano e industrial del ser humano. Las sustancias contaminantes pueden introducirse de forma antropogénica en los cuerpos de agua terrestre a través de deposición atmosférica como por vertidos tratados y/o sin tratar de aguas residuales y de residuos sólidos. Estas fuentes de procedencia pueden ser tanto de tipo fijo como difuso y corresponder a fuentes puntuales, lineales o superficiales, (Cabrera, 2018).

Los metales pesados en el medioambiente pueden tener distintas fuentes de aporte, estas pueden ser de un origen natural cuando proceden del material originario, o un origen antropogénico cuando provienen de actividades humanas contaminantes (Bradl, 2005).

La principal fuente natural de metales pesados en el medioambiente son las rocas y los suelos. Los metales pesados que se encuentran contenidos en las estructuras cristalinas de los minerales son liberados a través de la meteorización, proceso que consiste en el desgaste geológico que conlleva unos procesos que abarcan mecanismos de desgaste mecánicos y químicos. En este sentido, cuanto menores sean los fragmentos, mayor será la superficie disponible para el ataque químico y cuanto más débiles sean los trozos más susceptibles serán a la quiebra (Bradl, 2005). En la Tabla 1, se muestran los elementos trazas de las rocas más comunes que forman los minerales, comparándola con la resistencia de cada mineral al desgaste mecánico y/o químico.

Tabla 1. Elementos trazas de las rocas más comunes que forman los minerales.

MINERAL	ELEMENTOS TRAZA	RESISTENCIA AL DESGASTE
OLIVINO	Ni, Co, Mn, Li, Cu, Mo	
HORNBLENDA	Ni, Co, Mn, Se, Li, V, Zn, Cu, Ga	
AUGITA	Ni, Co, Mn, Se, Li, V, Zn, Pb, Cu, Ga	
BIOTITA	Rb, Ba, Ni, Co, Mn, Se, Li, V, Zn, Cu, Ga	
APATITO	Elementos de las tierras raras, Pb, Sr	Débil
ANORTITA	Sr, Cu, Ga, Mn	
ANDESITA	Sr, Cu, Ga, Mn	
OLIGOCLASA	Cu, Ga	
ALBITA	Cu, Ga	
GRANATE	Mn, Cr, Ga	
ORTOCLASA	Rb, Ga, Sr, Cu, Ga	Intermedio
MOSCOVITA	F, Rb, Ba, Sr, Cu, Ga, V	
TITANITA	Elementos de las tierras raras, V, Sn	

ILMENITA	Co, Ni, Cr, V	
MAGNETITA	Zn, Co, Ni, Cr, V	
TURMALINA	Li, F, Ga	
CIRCONIO	Hf, U	
CUARZO	-----	Resistente

Fuente: Bradl (2005).

Otras fuentes naturales de metales pesados en el medioambiente ocurren a través de los aportes atmosféricos, como las erupciones volcánicas, las cenizas volantes y los incendios, que incrementan posteriormente los niveles de metales en el suelo; si bien las dos últimas pueden verse acentuadas por la actividad humana, Vicente (2010). las principales fuentes naturales de los metales pesados al medioambiente son: las rocas y suelos, las principales fuentes antropogénicas son las actividades agrícolas, en las que se utilizan ampliamente los fertilizantes, abonos de animales y plaguicidas que contienen metales pesados; las actividades metalúrgicas, en las que se incluyen la minería, la fundición, el acabado metálico y otros; la energía tanto en su producción como en su transporte; los productos micro electrónicos; y por último, la deposición de residuos (Bradl, 2005).

Tabla 2. Usos y fuentes antropogénicas de metales pesados a través de los cuales pueden ser introducidos al medioambiente.

METAL	USOS Y FUENTES ANTROPOGENICAS
As	Aditivo en la alimentación animal, protector de la madera (arseniato de cobre cromado), vidrios especiales, cerámicas, plaguicidas, insecticidas, herbicidas, fungicidas, raticidas, algicidas, componentes electrónicos (circuitos integrados, diodos, detectores infrarrojos), tecnología láser, fundición no ferrosa, metalurgia, generación eléctrica geotérmica, textil y curtido, pigmentos y pinturas anti incrustante, filtros de luz, medicina veterinaria.
Cd	Baterías Ni/Cd, pigmentos, revestimientos anticorrosivos de metal, aleaciones, en la combustión del carbón, absorbentes de neutrones en los reactores nucleares.
Cr	Fabricación de aleaciones de hierro (aceros especiales), planchas, pigmentos, textiles y curtido de pieles, en la pasivación de la corrosión de los circuitos de refrigeración, en el tratamiento de la madera, en equipos de video y almacenamiento de datos.
Cu	Conductor del calor y la electricidad, tuberías de agua, techos, utensilios de cocina,

	productos químicos y farmacéuticos, pigmentos, aleaciones.
Fe	Fundición, hierro forjado, acero, aleaciones, en la construcción, transporte.
Ni	Aleación en la industria del acero, galvanoplastia, baterías de Ni/Cd, arco de soldadura, barras, pigmentos para pinturas y cerámica, prótesis dentales y quirúrgicas, moldes para cerámica y vidrio, componentes informáticos, catalizadores.
Pb	Agentes antidetonantes, baterías de plomo-ácido, pigmentos, vidrios, cerámica, plásticos, aleaciones, láminas, cables, soldadura, tuberías.
Zn	Aleaciones de Zn (bronce, latón), revestimiento contra la corrosión, pilas, latas, PVC, estabilizantes, en medicamentos y productos químicos, industria del caucho, pinturas, soldadura.

Fuente: Bradl (2005).

4.2.4. Los sedimentos como fuente y portadores de metales

Los metales retenidos en los sedimentos también pueden ser re suspendidos hacia la columna de agua, e incorporarse al medioambiente debido fundamentalmente a fenómenos de remoción por agitación física del fondo, bien por causas de origen natural como lluvias y tormentas, o por actividades antropogénicas como dragados, (Martino *et al*, 2002). Es decir, los metales no se quedan permanentemente en los sedimentos, pueden ser liberados a la columna de agua, por lo que los sedimentos pueden actuar como portadores y fuente de contaminación, esto sucede, debido a cambios en las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de quelatos orgánicos (Carignan & Tessier, 1988).

4.2.5. Indicadores de contaminación por metales

Los metales pesados como indicadores de calidad ecológica de los flujos de agua han tomado gran importancia ya que presentan una alta toxicidad y además poseen un comportamiento bioacumulativos. En base a esto, han surgido unos indicadores que comparan los valores de las concentraciones de metales presentes en los cuerpos de agua.

4.2.5.1. Concentración de efecto límite (TEC) y concentración de efecto probable (PEC)

Los valores de concentración de efecto límite y efecto probable representan aquellos valores en los cuales pueden presentarse o no afectaciones en animales bentónicos (Organismos que habitan en el fondo de los ecosistemas acuáticos); en ese orden de ideas, los valores TEC son aquellos valores de concentraciones de metales por debajo de las cuales es poco probable que ocurran efectos dañinos en los animales bentónicos, y en caso contrario, los valores PEC, son aquellos valores de las concentraciones de metales que se encuentran por encima de los cuales puede haber repercusiones en los animales bentónicos. Estos valores fueron estimados por Mac Donald *et al* (2000), quienes desarrollaron y evaluaron las pautas de calidad de los sedimentos en ecosistemas de agua dulce.

Tabla 3. Valores de referencia TEC y PEC.

CONCENTRACIÓN DE LOS METALES (mg/kg)	TEC	PEC
Arsénico	9.79	33
Cadmio	0.99	4.98
Cromo	43.4	111
Cobre	31.6	149
Plomo	35.8	128
Níquel	22.7	48.6
Zinc	121	459

Fuente: Mac Donald *et al* (2000).

4.2.5.2. Factor de contaminación

El factor contaminación relaciona la concentración de cada metal presente en el sedimento (Ci), y una concentración de referencia en la zona de estudio (Cb). Si no se cuenta con información sobre las concentraciones de metales de referencia debido a la carencia de la misma en la región.

Dependiendo del valor que arroje dicha relación, se connotaran unos criterios de contaminación (Hakanson, 1980), establecidos en la tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de los sedimentos de acuerdo al factor de contaminación.

Cf (µg/g)	INTENSIDAD DE CONTAMINACIÓN
Cf < 1	Factor de contaminación bajo, o no contaminación de los sedimentos en cuestión.
1 ≤ Cf < 3	Indica factor de contaminación moderada.
3 ≤ Cf < 6	Representa un factor de considerable contaminación.
Cf ≥ 6	Indica una medida de muy alta contaminación.

Fuente: Hakanson (1980)

4.2.5.3. Índice de carga de contaminación

Expresa el número de veces que la concentración de un metal pesado excede la concentración de fondo en un punto de muestreo.

Si $PLI < 1$, indica que el punto de muestreo no se encuentra contaminado. Si $PLI > 1$, entonces existe contaminación con metales (Harikumar, Nasir, & Mejeeburahman, 2002) y (Chandrasekaran *et al*, 2015).

4.2.5.4. Índice de riesgo ecológico potencial

Indica el nivel de contaminación por metales presentes en los sedimentos, teniendo como referencia la toxicidad que los metales presentan y la respuesta que el ambiente tiene con los mismos (Hakanson, 1980). El coeficiente de toxicidad de metales pesados (T_i) fue estandarizado por Hakanson (1980). Los metales As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn, tienen T_i correspondientes a 10, 30, 5, 2, 5, 5 y 1 respectivamente.

Tabla 5. Riesgo ecológico potencial de metales pesados.

EI	RI	NIVEL DE CONTAMINACIÓN
<30	<50	No contaminado
30 – 60	50 – 100	Moderadamente contaminado
60 – 120	100 – 200	Fuertemente contaminado
120 – 240	200 – 400	Muy fuertemente contaminado
>240	>400	Extremadamente contaminado

Fuente: Song et al. (2015)

4.2.5.5. Factor de enriquecimiento

Este indicador permite establecer el grado de contaminación (Simex & Helz, 1981) y conocer cómo se distribuyen de los elementos de origen antropogénico de los sitios por elementos individuales (metales pesados) en los sedimentos (Sakan et al, 2009) y (Varol, 2011).

El Al fue utilizado como elemento conservativo para la normalización geoquímica debido a que es resistente a la meteorización química, por lo que no participa activamente en los ciclos geoquímicos y tampoco tiene fuentes de aporte antropogénicas significativas (Cieslewicz, Kobierski, & Cichosz, 2017), y su contenido natural en los sedimentos tiende a ser uniforme (Bhuiyan et al, 2010).

Tabla 6. Nivel de enriquecimiento para los valores EF.

VALOR DE EF	NIVEL DE ENRIQUECIMIENTO
<1	No hay enriquecimiento
<3	Menor enriquecimiento
3-5	Enriquecimiento moderado
5-10	Enriquecimiento moderadamente grave
10-25	Enriquecimiento grave
25-50	Enriquecimiento muy grave
>50	Enriquecimiento extremadamente grave

Fuente: Sakan et al. (2009)

4.2.5.6. Índices de toxicidad ERMQ y PELQ

Estos índices permiten evaluar el grado de toxicidad de los sedimentos para diferentes puntos de muestreo en una cuenca determinada y así determinar el impacto de las contribuciones antropogénicas sobre el medio acuática (Violintzis, Arditsoglou, & Voutsas, 2009). Los índices de toxicidad ERM (Effects Range Median) y PEL (Probable Effect Level), denotan respectivamente los efectos de rango medio y el nivel de efecto probable sobre la biota en el sedimento, (Montoya, 2013).

Tabla 7. Valores de referencia en (mg kg⁻¹) de los índices ERM y PEL.

Metal	ERM_i	PEL_i
Cu	270	108
Ni	51.6	42.8
Cr	370	160
Pb	218	112
Zn	410	271

Fuente: Violintzis et al. (2009)

En Tabla 8 se observan los valores ERMQ y PELQ, comparándolos con las probabilidades de cada uno para generar efectos adversos en la biota y la probabilidad de toxicidad para la biota y el nivel de prioridad para cada valor.

Tabla 8. Interpretación de los valores ERMQ y PELQ.

VALOR ERMQ	PROBABILIDAD DE GENERAR EFECTOS ADVERSOS EN LA BIOTA	VALOR PELQ	PROBABILIDAD DE TOXICIDAD PARA LA BIOTA	NIVELES DE PRIORIDAD
< 0,1	<10%	<0,1	10%	Baja
0,11-0,5	25-30%	0,11-1,5	25%	Media-Baja
0,51-1,5	50%	1,51-2,3	50%	Media-Alta
>1,5	>75%	>2,3	76%	Alta

Fuente: Violintzis et al. (2009)

4.3. MARCO CONCEPTUAL

Bioacumulación: concentración de una sustancia química aumenta en un organismo expuesto a un compuesto o elemento fisicoquímico o bioquímico en función del tiempo.

Biomagnificación: Tendencia de algunos productos químicos a acumularse a lo largo de la cadena trófica, y exhibir sucesivamente concentraciones mayores al ascender el nivel trófico.

Biodisponibilidad: Disponibilidad de los metales pesados para ser captado por un ser vivo. Se encuentra íntimamente relacionado con las condiciones fisicoquímicas del ambiente, que determinan concentración de metal libre y lábil.

Biota: Conjunto de la fauna y la flora de una región. En realidad, explícitamente el término se refiere además a los hongos, las bacterias y los protistas que habitan un bioma.

Bentos: organismos que viven en el fondo de los ecosistemas acuáticos.

Contaminación ambiental: alteración del estado natural de un ecosistema debido a agentes atmosféricos o a la presencia de residuos urbanos e industriales.

Indicador ambiental: indicios o detalles de cambios que muestra un sistema biótico ante la alteración del equilibrio eco sistémico.

Metales: elemento químico caracterizado por ser buen conductor del calor y la electricidad. Poseen alta densidad y son sólidos a temperatura ambiente.

Peligro ambiental: Cualquier propiedad, condición o situación, de una sustancia o sistema que pueda ocasionar daño.

Riesgo Ambiental: probabilidad de ocurrencia que un peligro afecte directa o indirectamente al ambiente y a su biodiversidad, en un lugar y tiempo determinado, el cual puede ser de origen natural o antropogénico.

STARD: Sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Traza: elementos que existentes en pequeñas concentraciones en los sistemas biológicos (concentraciones menores a $100\mu g/g$ en la flora y la fauna).

4.4. MARCO CONTEXTUAL

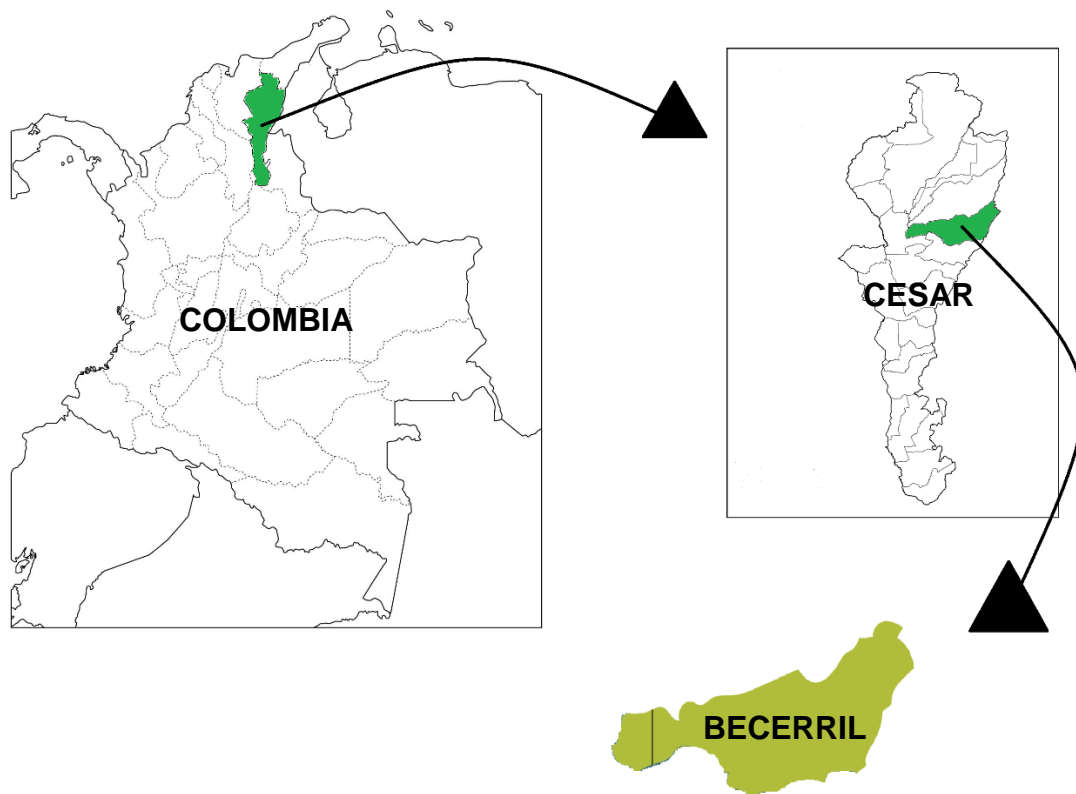


Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Becerril.

Fuente: Los Autores, 2018.

La presente investigación abarca el cauce principal del río Maracas, el cual se encuentra en jurisdicción del Municipio de Becerril del Campo (Figura 1). La cuenca del río maracas posee un área de 403,1 km² y es la principal fuente de abastecimiento de agua potable para el municipio de Becerril (Consortio Calenturitas, 2016).



Figura 2. Ubicación geográfica del Río Maracas.

Fuente: Los Autores, 2018.

El río Maracas, además de las de los ríos Tucuy y Calenturitas son fuentes hídricas de mucha importancia ya que, de acuerdo con el *Plan de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía*, el valle del Río Cesar es considerada como la cuarta región en proceso de desertificación en el país, aspecto que está relacionado con el régimen hídrico subterráneo y superficial (Consortio Calenturitas, 2016).

De acuerdo con lo expuesto por el Consortio Calenturitas (2016), la cuenta del río maracas, puede dividirse a causa de los distintos comportamientos morfológicos e hidrográficos presentes en cada zona, en río Maracas alto y río Maracas.

La cuenca del Río Maracas modela una llanura aluvial y a su vez una planicie de inundación, en la que se encuentran ocasionalmente geoformas como montículos remanentes disectados y abanicos aluviales, y también modela paisaje de planicie y valle (Consortio Calenturitas, 2016).

4.4.1. Climatología de la cuenca

4.4.1.1. Precipitación

La precipitación media anual de la cuenca del río maracas, de acuerdo con el Consorcio Calenturitas (2016), varía entre 1436 – 2000 mm, obteniéndose las menores precipitaciones en río Maracas alto, y las mayores precipitaciones en río Maracas, cerca de la desembocadura hacia el río Calenturitas como se muestra en la Figura 3.

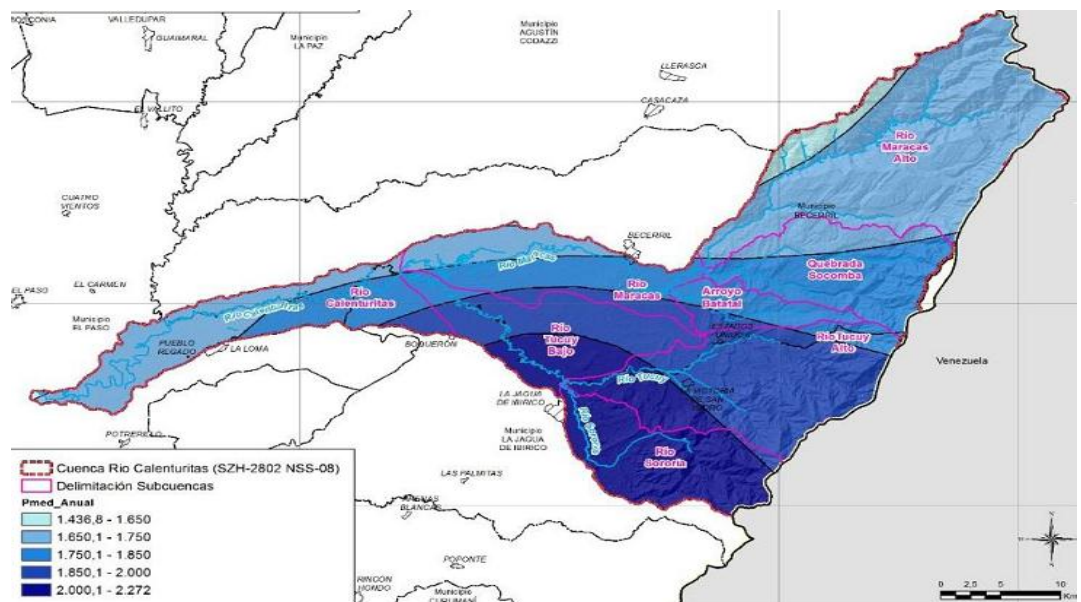


Figura 3. Precipitación media anual cuenca del río Calenturitas.

Fuente: Consorcio Calenturitas, 2016.

4.4.1.2. Temperatura

En la Figura 4 se puede observar que la temperatura media anual en la cuenca del río maracas, varía entre los 18,3 °C y los 28,3 °C, registrándose las menores temperaturas en la subcuenca río Maracas alto, con valores entre los 18,3 y 20,8

°C. Los valores más altos de temperatura, se ubican en inmediaciones del municipio de Becerril, con temperaturas que oscilan entre los 20,9 y 28,3 °C.

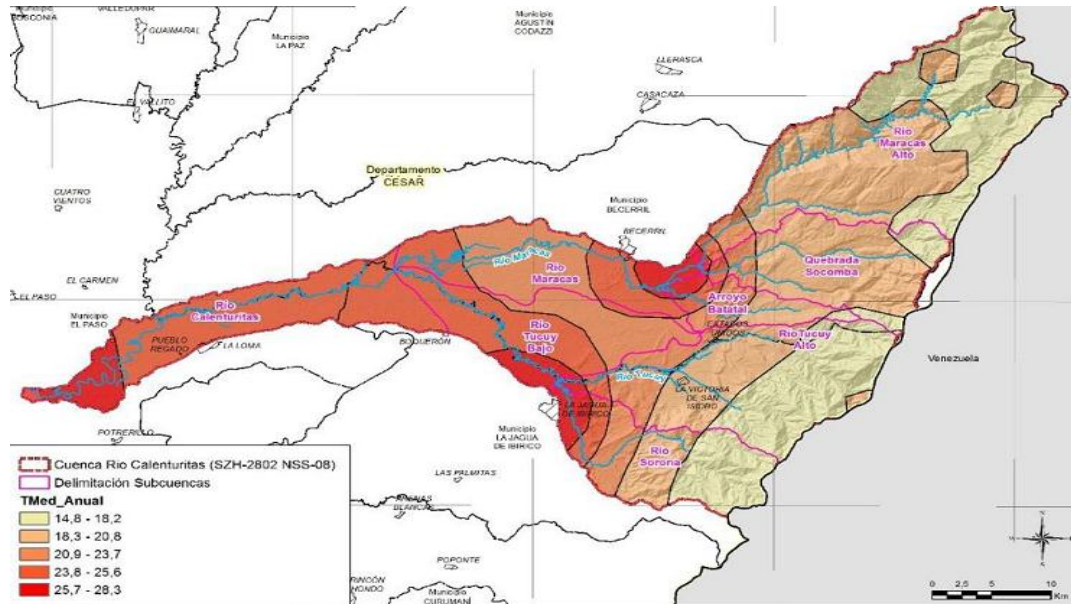


Figura 4. Temperatura media anual cuenca Calenturitas.

Fuente: Consorcio Calenturitas, 2016.

4.4.2. Características litogénicas

En la Cuenca del río Maracas afloran representantes litológicos, cuyas edades oscilan desde el Paleozoico hasta el Reciente, con procesos sedimentarios que tienen lugar hoy día como las corrientes que conforman su sistema hidrográfico. Las rocas dentro de la cuenca corresponden a rocas metamórficas Paleozoicas de la Unidad Metasedimentaria de La Virgen, rocas volcanosedimentarias del Triásico-Jurásico de la Formación La Quinta y sedimentarias del Cretáceo, de las formaciones La Quinta, Río Negro, La Luna y el Grupo Cogollo (Consorcio Calenturitas, 2016).

- **Formación la Quinta:**

Se compone de rocas clásticas, asociadas con rocas volcanoclásticas, como tobas, brechas y pórfidos; areniscas arcóscicas, lutitas, limolitas abigarradas, de color rojo, principalmente, con fractura concoidea, estratificación plano paralela, desde láminas delgadas hasta capas muy gruesas; conglomerados color rojo, cuya composición de clastos varía de volcánicos a graníticos, metamórficos. Está constituido por sublitarenitas de grano fino a medio, friables, sublitoarenitas conglomeráticas de grano fino medio con intraclastos de limolitas rojas, intercaladas con limolitas gris verdosas y areniscas de grano fino grises, muestran estratificación ondulosa y plana paralela. El color de las rocas es rojo con variación dentro de un mismo nivel a gris claro y gris amarillento, geometría tabular y en artesa con estratificación plana a cruzada (Consortio Calenturitas, 2016).

- **Formación rio negro:**

Está constituida por areniscas y conglomerados de granulometría y composición variada con esporádicas intercalaciones de arcillolitas y limolitas grises y pardas. Se presentan en capas gruesas a muy gruesas con abundante estratificación cruzada a diversa escala. Composicionalmente van de arcosas líticas a cuarzoarenitas, con tamaños de grano de fino a grueso, la selección es regular a mala. Localmente presenta tono rojizo por la presencia de óxido de hierro; las capas son delgadas y en algunas se observa estratificación cruzada (Consortio Calenturitas, 2016).

- **Grupo cogollo:**

Se caracteriza por estratos de calizas grises azulosas en capas medianas a gruesas que varían de wackstone (predominante), mudstone, packstone, ghrainstone y calizas arenosas, de color gris, gris azuloso, gris pardo, gris oscuro

y negras, cristalinas, compactas, macizas, micríticas y densas, forman capas de espesor variable; intercaladas con shale negro carbonoso. También se observó la existencia de glauconita, óxidos de hierro, chert, cuarzo y dolomitización, (Consortio Calenturitas, 2016).

- **Formación la luna:**

La Formación La Luna está constituida por una alternancia de limolitas, arcillolitas, lutitas negras carbonosas y calcáreas, calizas bituminosas carbonosas, capas de chert negro azulado, concreciones, nódulos elipsoidales y discoidales con estratificación plano paralela con diferentes diámetros (20 cm – 1 m de diámetro). Las lodolitas están predominantemente hacia la base de la formación, al igual que las capas de chert, mientras que las calizas son comunes en la parte superior (Consortio Calenturitas, 2016).

4.4.3. Geología

A continuación se hace una breve descripción de las fallas que afectan las diferentes unidades litológicas reconocidas en el área de la Cuenca río Maracas, basándose en información obtenida del Consortio Calenturitas (2016), quienes realizaron el Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del río calenturitas, de la cual la subcuenca del río Maracas hace parte.

- **Falla Río Maracas**

La falla tiene una dirección preferencial N20°-45°E, y recibe su nombre por controlar en la parte montañosa el Río Maracas. Esta estructura presenta rasgos morfológicos distintivos: drenajes rectilíneos y deflectados, silletas y escarpes pronunciados en las unidades Cretácicas de las formaciones Río Negro, La Luna y el Grupo Cogollo, así como en la Formación La Quinta del Jurásico. Esta estructura corta el eje del anticlinal de Betulia y se interpreta como una estructura

de carácter sinistral, con alguna componente vertical (Consortio Calenturitas, 2016).

- **Falla Yoba**

La Falla Yoba es una estructura con dirección NE-SW, que va desde la Quebrada Caño Rodrigo hasta el Río Maracas. En el camino del sector La Estación hacia la Comunidad Indígena Santa Rita, en el municipio de Becerril, se observó un pliegue por prolongación de falla hacia el occidente desplazado por dos estructuras paralelas con dirección NE. Estas estructuras desplazan el bloque oriental hacia el norte y el bloque occidental baja con respecto al oriental. Esta falla se interpreta como de tipo sinistral, con una componente vertical y genera deformación frágil en la roca (Consortio Calenturitas, 2016).

- **Falla San Genaro**

La Falla San Genaro es una estructura con dirección N45°E que controla la Quebrada San Genaro y va desde la Quebrada Roncón hasta el Río Maracas. En terrenos de la comunidad indígena La Momia, Vereda San Genaro, municipio de Becerril, se observaron estratos verticalizados y muy fracturados de calizas del Grupo Cogollo, por la falla (Consortio Calenturitas, 2016).

- **Falla Sokorpa**

La Falla Sokorpa es una estructura de dirección N60°W, y tiene unos 11 Km de largo y va desde el Río Maracas hasta la Vereda Sokorpa, en el municipio de Becerril, prolongándose en territorio de la República Bolivariana de Venezuela, controlando la Quebrada Pirraya ó Sokorpa. Es una falla de rumbo dextral, causante de la divergencia de buzamientos del Grupo Cogollo y desplazando el Sistema de Fallas El Tigre y Arenas Blancas, en la vereda Sokorpa, municipio de Becerril (Consortio Calenturitas, 2016).

- **Falla Hondina**

La Falla Hondina tiene una dirección N60°W y se extiende desde unos 6 Km al oriente del corregimiento Casacará, del municipio Agustín Codazzi hasta la Falla Río Maracas, con una extensión de 800 m, en la Vereda Carrizal, en el municipio Agustín Codazzi. Controla estructuralmente la Quebrada Hondina y causa el desplazamiento dextral de la Formación Río Negro y del Grupo Cogollo, con un intenso fracturamiento a lo largo de su traza (Consortio Calenturitas, 2016).

4.4.4. Drenaje del río Maracas

Según lo expuesto por Consortio Calenturitas (2016), el cauce principal de la subcuenca del Río Maracas Alto presenta un drenaje de tipo dendrítico (mostrando una ramificación arborescente en la que los tributarios se unen a la corriente principal formando ángulos agudos) en el cual se relacionan unos comportamientos de tipo paralelo y sub paralelo (Terreno dominado por una pendiente regional, lo cual le impone una dirección predominante). Mientras que río Maracas se encuentran sobre bajas pendientes, con drenajes de tipo Pinnado y Distributivo (todas las vías de drenaje parecen salir, y dispersarse, en forma casi radial, sobre la superficie del mismo).

4.4.5. Densidad de drenaje

El río maracas alto presenta una densidad de drenaje de 2,84, lo cual indica que está muy bien drenado, teniendo respuestas relativamente rápidas al influjo de las precipitaciones, mientras que río maracas, presenta una densidad de drenaje de 1,47 indicando una densidad de drenaje moderada con respuestas hidrológicas lentas (Consortio Calenturitas, 2016).

4.5. MARCO LEGAL

Constitución política de Colombia

Establece que la ley regulará el control de la calidad de los bienes y servicios prestados a las comunidades, mediante la protección de la diversidad e integridad del ambiente para conservar las áreas ecológicamente importantes. Además, la misma planificará el aprovechamiento y manejo de los recursos para garantizar su conservación, restauración o sustitución, controlando los factores de deterioro ambiental (Art. 78, 79 y 80).

Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, Decreto - Ley 2811 de 1974

Establece principios, normas generales y regulaciones para la planificación y el manejo de los recursos naturales renovables en el territorio colombiano. Éste marca el inicio de las directrices de prevención y control de la contaminación. Dice que el ambiente es un patrimonio común y que por lo tanto el estado y particulares deben participar en su conservación, su preservación y manejo. Regula el manejo de los recursos naturales renovables, así como la defensa del ambiente y los componentes que lo forman.

Ley 9 de 1979

Establece normas generales que servirán de base para las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias para la salud humana; además de los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de las descargas de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del ambiente.

Ley 99 de 1993

Creó el Ministerio de Medio Ambiente como organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables y se organizó el Sistema Nacional Ambiental – SINA y se fijaron las pautas generales para el ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas y demás áreas de manejo especial. Así mismo se estableció la competencia a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible para ejercer las funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental de los usos del agua, el suelo, el aire y los demás recursos naturales renovables, se les asignaron competencias para fijar, en el área de su jurisdicción, los límites permisibles de descarga, transporte o depósito de sustancias, productos, compuestos o cualesquiera otras materias que puedan afectar el ambiente o los recursos naturales renovables y prohibir, restringir o regular la fabricación, distribución, uso, disposición o vertimiento de sustancias causantes de degradación ambiental.

Decreto 1594 de 1984 (derogado parcialmente por el Decreto 3930 del 2010)

Modificó parcialmente el Decreto 2811 de 1974 y se expuso la línea base para abordar el ordenamiento del recurso hídrico enfocado hacia la preservación de las características naturales del mismo y su mejoramiento hasta alcanzar la calidad apta para el consumo humano.

Decreto 3930 de 2010

Establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados y el ordenamiento del recurso hídrico. Define conceptualmente el ordenamiento del recurso hídrico, los ámbitos de aplicación, plantea criterios de priorización.

5. METODOLOGIA

En este apartado se explica con detalle y muy resumidamente las técnicas y procedimientos empleados para el logro de los objetivos planteados en la investigación. Para efectos de practicidad, se ha abordado la investigación contemplando el trabajo de campo, trabajo de laboratorio y el tratamiento de datos obtenidos.

5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación, obedece a los lineamientos de una metodología de investigación de tipo exploratoria explicativa, debido a que se aborda el problema de investigación partiendo de la examinación de distintas investigaciones relacionadas con el objeto del proyecto, con el fin de definir los fundamentos teóricos relacionados con la problemática de los metales en sedimentos de fondo y los procesos de contaminación por estos, lo cual, según Hernández, Fernández, & Baptista (1991), es propio de una investigación exploratoria (documental), quienes mencionan que los estudios exploratorios se efectúan normalmente cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes. Se evalúan las condiciones ambientales en función de las concentraciones de metales en los distintos puntos escogidos para el muestreo de sedimentos.

5.2. POBLACIÓN

La población objeto de estudio de la presente investigación son los sedimentos de fondo (Alrededor de los primeros 5 cm de la capa superficial de los sedimentos de fondo) del cauce principal del río Maracas.

5.3. MUESTRA

La recolección de las muestras de sedimentos de fondo se realizó en tres tramos del río Maracas, en donde se buscó que los puntos de muestreo fuesen de fácil acceso y que además fueran puntos estratégicos en donde existiera una mayor probabilidad de encontrar concentraciones fuera de lo normal en los metales presentes. En cada punto de muestreo se hizo necesario tomar 4 sub-muestras de sedimentos de fondo superficial, para un total de 12 sub-muestras por cada una de las campañas de muestreo (invierno y verano).

5.4. DESARROLLO METODOLOGICO

5.4.1. Trabajo de campo

5.4.1.1. Recolección de sedimentos

Se realizaron muestreos de sedimentos en el cauce principal del río Maracas, en dos épocas del año, una recolección en épocas de Invierno (18 de diciembre de 2017) y otra en épocas de Verano (24 de marzo de 2018), teniendo en cuenta los lineamientos establecidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y lo plasmado en la norma técnica colombiana NTC-ISO 5667-2:1995 y 5667-3: 2004.



Figura 5. Jornada de muestreo de sedimentos superficiales en el río Maracas.

Fuente: Los Autores, 2017.

El muestreo del sedimento de fondo superficial se realizó a nivel del agua con una draga plástica de mano, recogidos en una bandeja de polietileno. Los sitios de muestreos (Figura 6), fueron geo referenciados con un GPS-Garmin etrex. En la Tabla 9 se detalla la localización de los puntos de muestreos.

Tabla 9. Ubicación de puntos de muestreo.

SITIO DE MUESTREO	COORDENADAS	DESCRIPCIÓN
P1	N 09°41'01,1" E 73°13'16,2"	La muestra fue tomada a 20 metros aguas abajo de la bocatoma del acueducto municipal del municipio de Becerril.
P2	N 09°42'21,4" E 73°18'54,5"	La muestra fue tomada 200 metros aguas abajo del punto de vertimientos de aguas residuales del municipio de Becerril, en la zona se observa alta actividad de extracción de material de arrastre.
P3	N 09°42'28,2" E 73°23'32,2"	El punto de muestreo queda ubicado cerca de la Hacienda Betulia, aproximadamente a 5 km antes de la desembocadura del río Maracas al río Calenturitas.

Fuente: Los Autores, 2017.

Las muestras fueron depositadas en bolsas de polietileno de capacidad de 5 kg con sello hermético y enjuagadas con agua destilada desionizada (Rosas, 2001); con un equipo multiparametros YSI Pro-DS, se realizaron in situ la determinación

de los parámetros: pH y conductividad eléctrica del agua en cada uno de los puntos de muestreos.

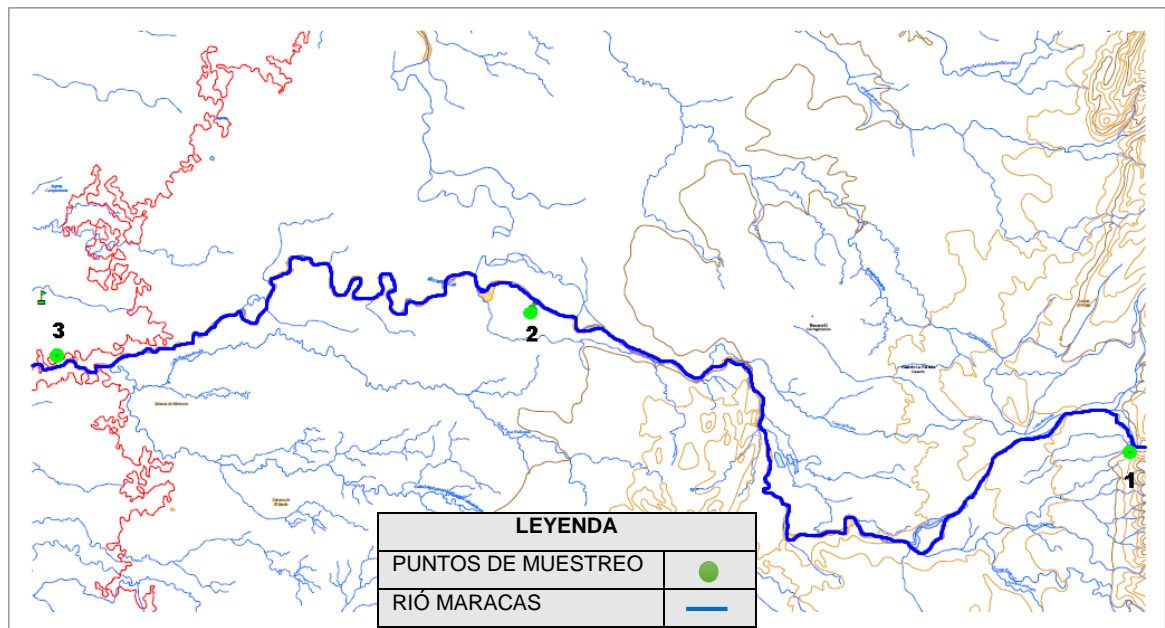


Figura 6. Puntos de muestreo en el río Maracas.

Fuente: Los Autores, 2017

Las muestras de sedimento fueron almacenadas en neveras con hielo y transportadas al laboratorio de la Universidad Popular del Cesar para su posterior tratamiento.

5.4.2. Trabajo de laboratorio

5.4.2.1. Procesamiento de las muestras de sedimentos

Las muestras de sedimento recolectadas en campo, fueron procesadas siguiendo las indicaciones plasmadas en la norma NTC-ISO 11464:1994. En primer lugar, las muestras fueron secadas a temperatura ambiente (25 °C) colocándolas en bandejas de polietileno que previamente han pasado por un proceso de limpieza

con agua, jabón, ácido y enjuagadas con agua destilada. Una vez secas, a las muestras de sedimento se les realizó un triturado leve con mortero para deshacerse solamente de los terrones que pudieron quedar, evitando el rompimiento de las partículas y que pasen a convertirse en fracción más fina. Por último, se realizó un tamizado de forma manual, utilizando una malla de 63 μm , quedando en la zona superior una fracción superior a 63 μm que se desecha y en la parte inferior una fracción de granulometría inferior a 63 μm que se almacena. Esta fracción fina de los sedimentos asociada a limos y arcillas, fue homogeneizada y sometida a un procedimiento de cuarteo para seleccionar una muestra representativa. Lo anterior es debido a que la determinación del contenido de los metales se realiza en las fracciones de tamaño inferior a 63 μm , la cual incluye arcillas (<2 μm) y limos (2-63 μm), es decir, no se realiza en los sedimentos totales.



Figura 7. Secado de muestras de sedimentos superficiales extraídos del río Maracas.

Fuente: Los Autores, 2018.

5.4.2.2. Caracterización de sedimentos

- Análisis granulométrico de los sedimentos

Se realizó un análisis granulométrico del sedimento de fondo del río Maracas, para conocer su curva granulométrica, para la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de las partículas de las muestras recolectadas. Se seleccionaron 2Kg aproximadamente de muestra seca y leve mente triturada por punto de muestreo, y se pasó por la serie de tamices (3/8", N°4, N°10, N°40, N°200 y N°230 con aberturas de 9,51mm, 4,76mm, 2,00mm, 0,425mm, 0,075mm y 0,063mm respectivamente), pesando la cantidad de material retenido en cada tamiz para determinar la composición Gravimétrica, y la curva granulométrica de los sedimentos (Rosas, 2001).

- Porcentaje de grava, arena, limos y arcillas

Para el cálculo del porcentaje de grava presente en los sedimentos de fondo analizados en cada uno de los puntos de muestreo, se toma toda aquella cantidad de sedimento cuyo tamaño era superior a 2mm (>2mm), mientras que el porcentaje de arena es tomada de la suma de los sedimentos que se tienen un tamaño menor a 2mm pero superior a 63 μm (<2mm y >63 μm) (Martinez Miren, 2015). El porcentaje de limos y arcillas contenido en los sedimentos recolectados en cada punto de muestreo, se calculó a partir de la cantidad (en gramos) de sedimentos que pasan por el tamiz número 230 (sedimentos menores a 63 μm).

- Determinación de materia orgánica

El análisis se realizó por duplicado para un gramo de sedimento (< 63 μm), dispuesto en un crisol de porcelana previamente secado y tarado, colocando la muestra en horno a 105 °C durante 15 minutos, luego colocándola en un horno de

calcinación a una temperatura de 550 °C durante 4 horas. Las muestras se enfrían posteriormente en un desecador (Rosas, 2001), hallando el porcentaje de materia orgánica por pérdida de peso.

- Determinación de coliformes totales

La determinación de los coliformes totales se realizó con el apoyo del Laboratorio especializado Bioindalab, localizado en la ciudad de Valledupar, siguiendo los parámetros y lineamientos especificados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

5.4.3. Establecer la concentración de metales

El análisis de metales (Aluminio, Cadmio, Cobre, Cromo, Hierro, Níquel, Plomo y Zinc) se realizó en las fracciones de tamaño de sedimentos inferior a 63 μm , la cual incluye arcillas y limos. Fueron enviadas dos muestras de sedimentos por cada uno de los puntos de muestreo, una perteneciente a la época de invierno y la otra de la época de verano, al laboratorio de Toxicología y gestión ambiental de la Universidad de Córdoba. La concentración de metales Pb y Cd se determinó por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito (GFAAS), el metal As fue determinado con espectrometría de absorción atómica con generación de hidruro (HGAAS) y los metales Cu, Zn, Ni, Fe, Al, Cr fueron determinados con espectroscopia de absorción atómica con llama (FAAS). Primeramente, las muestras pasaron por un proceso de digestión ácida (HNO_3 / HCl), con relación 3:1 (v/v), luego se someten durante 3 horas a 95 °C, Rocha (2000).

5.4.4. Tratamiento estadístico de datos.

Una vez obtenidos los datos de campo y laboratorio, fue necesaria una etapa de tratamiento de datos. Este apartado contempla el cálculo de índices de

contaminación en los sedimentos y las técnicas estadísticas empleadas para determinar el grado de contaminación antropogénica por metales en los sedimentos del río Maracas.

Los resultados de los análisis son presentados como como la media de las determinaciones por duplicado. Cuando fue necesario involucrar concentraciones que se encontraban por debajo del límite de detección en el análisis estadístico, se utilizó el valor mínimo de detección.

Para encontrar la dependencia entre las variables analizadas, se realizó una matriz de correlación, utilizando el coeficiente de correlación de Pearson, y con el fin de evaluar las asociaciones entre el comportamiento de todas las variables analizadas, se realizó el análisis multivariado de componentes principales (ACP) con rotación Varimax. El tratamiento estadístico de los resultados fue realizado mediante el paquete estadístico IBM® SPSS® statistics versión 24.

5.4.5. Evaluación del riesgo ambiental por metales pesados en sedimentos

Para determinar el riesgo ambiental de los sedimentos se emplearon diversos índices basados en el contenido de metales en los sedimentos (Concentración de efecto limite, concentración de efecto probable, índice de carga contaminante, Factor de contaminación, índice de riesgo ecológico potencial, factor de enriquecimiento y los índices de toxicidad ERMQ y PELQ).

5.4.5.1. Concentración de efecto limite (TEC) y concentración de efecto probable (PEC)

Los valores TEC expresan el valor de las concentraciones por las cuales hay baja probabilidad de causar efectos adversos a los animales bentónicos, mientras que

los valores PEC muestran aquellas concentraciones de metales sobre las cuales los animales bentónicos presentes en el medio pueden sufrir daños. (Ver Tabla 3).

5.4.5.2. Factor de contaminación

El cálculo del factor de contaminación se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$C_f = \frac{C_i}{C_b}$$

En donde C_i es la concentración del metal y C_b es la concentración de referencia en la zona de estudio, el resultado de este cálculo expresará una intensidad de contaminación y se categorizará como lo expresa la Tabla 4.

- Determinación de concentraciones de fondo

Los valores de concentraciones de fondo para los metales analizados en la presente investigación, se han obtenido haciendo un promedio de los valores del punto de muestreo 1 en las dos épocas (Invierno y verano), esto debido a que no se cuenta con valores de referencia en la región y el punto 1 de muestreo es quien presenta los menores valores del presente estudio.

5.4.5.3. Índice de carga de contaminación

Para la determinación del índice de carga de contaminación se utilizó la siguiente ecuación:

$$PLI = \sqrt[n]{\prod C_{f_i}}$$

En donde: n = Número de metales analizados en cada punto de muestreo y ΠC_{fi} = Valor de la multiplicación de los C_f de cada elemento en un punto.

5.4.5.4. Índice de riesgo ecológico potencial

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I = \sum E_i = \sum T_i f_i = \sum T_i \frac{C_i}{C_b}$$

Donde: E_i = Coeficiente del riesgo ecológico potencial de cada metal, T_i = Coeficiente de toxicidad de cada metal, C_i = es el coeficiente entre la concentración de cada metal en el sedimento y el valor de referencia C_b de la matriz a evaluar.

El resultado del índice de riesgo ecológico potencial expresa el nivel de contaminación tal como lo muestra la Tabla 5.

5.4.5.5. Factor de enriquecimiento

El factor de enriquecimiento (EF, siglas en inglés de Enrichment Factor) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$EF = \frac{(C_n/C_{Al})_{muestra}}{(C_n/C_{Al})_{fondo}}$$

Donde: C_n = Contenido (mg/kg) del elemento n y C_{Al} = contenido del elemento de normalización (Aluminio).

El valor del EF indica el nivel de enriquecimiento tal como lo muestra la Tabla 6.

5.4.5.6. Índice de toxicidad ERMQ y PELQ

Según las directrices de la Guía de Calidad de Sedimentos, el cálculo de los cocientes medios (ERMQ y PELQ) se realiza mediante la utilización de la siguiente ecuación:

$$ERMQ \text{ o } PELQ = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i / ERM_i \text{ o } PEL_i)}{n}$$

En donde: C_i = Contenido del elemento "i" en el sedimento (mg kg^{-1}), n = Numero de metales y $ERM_i \text{ o } PEL_i$ = Valores de referencia (mg kg^{-1}) para cada metal (Ver Tabla 7)

Los valores obtenidos a través de los índices ERMQ y PELQ, representan la probabilidad de generar efectos adversos sobre la biota. La inferencia de dicha probabilidad se determina por medio de la Tabla 8.

6. RESULTADOS Y ANALISIS

6.1. ANALISIS GRANULOMETRICO DE SEDIMENTOS

La determinación de la granulometría de los sedimentos de fondos superficiales (SFS), fue realizada como se explica en el apartado de metodología. La importancia de conocer la distribución granulométrica de los sedimentos superficiales de las muestras recolectadas en el río Maracas, se debe a la participación del tamaño de las partículas en los procesos de retención de metales, lo cual es atribuible a la elevada superficie específica que poseen las partículas finas, favoreciendo la adsorción (Rosas, 2001).

Los resultados obtenidos del ensayo granulométrico de los sedimentos están recogidos en las tablas 10 y 12, y están representados en las figuras 8 y 9 para las épocas de invierno y verano, respectivamente. Las curvas granulométricas fueron dibujadas representando el porcentaje de los sedimentos que pasan por cada tamiz en las ordenadas respecto al logaritmo de la luz de malla en las abscisas.

Tabla 10. Granulometría para muestreo en Época de Invierno.

TAMIZ	ABERTURA MM	PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3	
		% Retenido Acumulado	% Pasa	% Retenido Acumulado	% Pasa	% Retenido Acumulado	% Pasa
3/8"	9,51	0	100	0	100	0	100
#4	4,76	20,20	79,80	26,54	73,46	29,50	70,50
#10	2,00	37,30	62,70	38	62	40,92	59,08
#40	0,425	64,60	35,40	47,70	52,30	51,12	48,88
#200	0,075	79,50	20,50	73	27	58,52	41,48
#230	0,063	92,80	7,20	89,48	10,52	82,87	17,13
FONDO	0,075	99,99	0,01	99,99	0,01	99,90	0,10
TOTAL	0,063	99,99	0,01	99,99	0,01	99,90	0,10

Fuente: Los Autores, 2018.

Los resultados para la época de invierno muestran un aumento en el porcentaje de sedimentos finos (pasan tamiz 230) del punto de muestreo 1 al punto de muestreo 3, siendo que el punto de muestreo 1 presenta un porcentaje de sedimentos finos de 7,2%, aumenta a 10,52% para el punto de muestreo 2 y el para el punto de muestreo 3, el valor del porcentaje de sedimentos finos aumenta hasta 17,13%.

Lo anterior se representa en la figura 8, donde se observa que en el punto 3 es donde se encuentra el menor porcentaje de sedimentos gruesos y el mayor porcentaje de sedimentos finos, caso contrario al punto de muestreo 1, en el que se registran el mayor porcentaje de sedimentos gruesos y el menor porcentaje de finos.

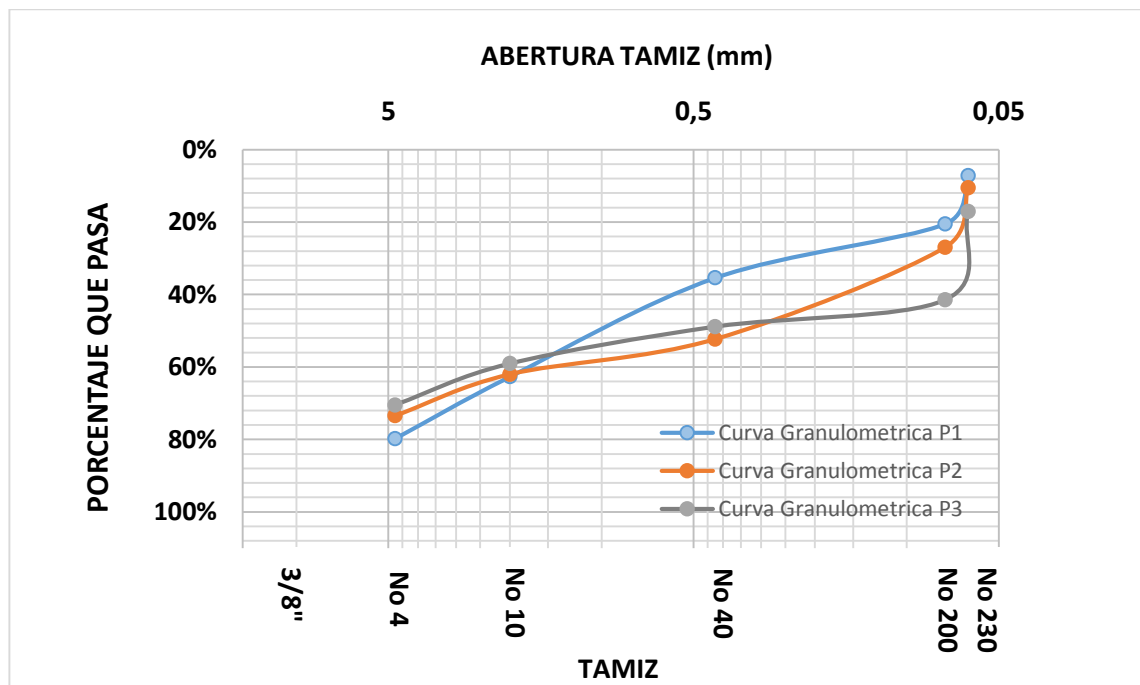


Figura 8. Curva granulométrica de los sedimentos para época de invierno.

Fuente: Los Autores, 2018.

El punto de muestreo 2 presenta una curva más homogénea, lo cual se explica por la variación de la pendiente del río entre el punto de muestreo 1, 2 y 3, obteniéndose las mayores pendientes en la parte alta de la cuenca y menores

pendiente en cuenca baja (Consortio Calenturitas , 2016), es decir, en punto de muestreo 1 hay mayor pendiente y en el punto de muestreo 3 menor pendiente, lo cual favorece la sedimentación de las partículas finas debido a la disminución de velocidad de flujo.

Tabla 11. Porcentaje de grava, arena, limo y arcilla para los sedimentos de fondo del rio Maracas en época de invierno.

ÉPOCA DE INVIERNO				
	Tamaño	Punto de muestreo 1	Punto de muestreo 2	Punto de muestreo 3
% Grava	>2mm	37,30 %	38 %	40,92 %
% Arena	<2mm y >63 µm	55,50 %	51,48 %	41,95 %
% Limos y arcillas	<63 µm	7,20 %	10,52%	17,13 %

Fuente: Los Autores, 2018.

Los porcentajes del tamaño de los sedimentos de fondo del rio Maracas para la época de invierno (Tabla 11), muestran una similitud en cuanto a que para los tres puntos de muestreo prevalece como mayor porcentaje el de arenas, siendo el punto de muestreo 1 quien tiene la mayor cantidad con un 55,5%, seguido del punto de muestreo 2 con un 51,48% y por último, el punto de muestre uno con un 41,95%. En cuanto a sedimentos finos (Limos y arcillas), el punto de muestreo 3 es quien representa la mayor cantidad alcanzando un 17,13%, luego el punto de muestreo 2 con un 10,52% y quien posee la menor cantidad de limos y arcillas en su composición es el punto de muestreo 1 para el cual el porcentaje es de 7,2%.

Para la época de verano en los resultados de la granulometría (Tabla 12), se observa que al igual que en la época de invierno, los valores de los porcentajes de sedimentos finos en los tres puntos de muestreo tienen un aumento del punto 1 al punto 3, siendo que para el punto de muestreo 1 el porcentaje de masa de sedimentos finos que se retiene es del 5,32%, pasando a un 6% en el punto de muestreo 2 y siendo para el punto de muestreo 3 un 19,56%.

Tabla 12. Granulometría para muestreo en época de verano.

TAMIZ	ABERTURA mm	PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3	
		% Retenido Acumulado	% Pasa	% Retenido Acumulado	% Pasa	% Retenido Acumulado	% Pasa
3/8"	9,51	0,00	100	0	100	0	100
#4	4,76	4,69	95,31	2,51	97,49	4,7	95,3
#10	2,00	30,82	69,18	22,81	77,19	9,9	90,1
#40	0,425	50,22	49,78	59,11	40,89	31,1	68,9
#200	0,075	82,22	17,78	77,78	22,22	48,74	51,26
#230	0,063	94,68	5,32	94	6	80,04	19,96
Fondo	0,075	99,9	0,1	99,9	0,1	99,5	0,5
Total	0,063	99,9	0,1	99,9	0,1	99,5	0,5

Fuente: Los Autores, 2018.

La figura 9 muestra el comportamiento de la distribución granulométrica en cada punto de muestreo, se puede observar que en la época de verano ocurre un comportamiento similar al de la época de invierno, con la variante de que hay mayor porcentaje de sedimentos finos en el punto de muestreo 3, teniéndose que este es el mayor porcentaje de sedimentos finos registrado en el presente estudio.

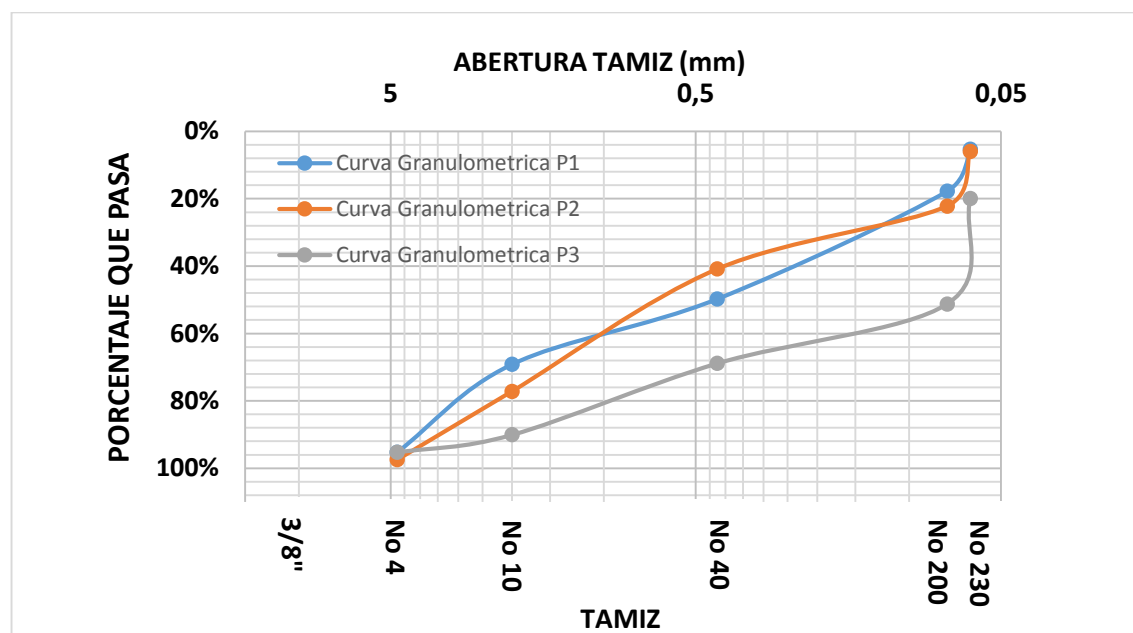


Figura 9. Curva granulométrica de los sedimentos para la época de verano.

Fuente: Los Autores, 2018.

Esto se debe a la disminución de la pendiente del cauce del río del punto de muestreo 1 al 3 (Consortio Calenturitas , 2016), fenómeno que es acentuado por la disminución de caudales en esta época del año, disminuyendo las velocidades de flujo y afectando los procesos de transporte, facilitando la deposición de los sedimentos más finos.

Tabla 13. Porcentaje de grava, arena, limo y arcilla para los sedimentos de fondo del río Maracas en época de invierno.

ÉPOCA DE VERANO				
	Tamaño	Punto de muestreo 1	Punto de muestreo 2	Punto de muestreo 3
% Grava	>2mm	36,38 %	32,32 %	10,4 %
% Arena	<2mm y >63 µm	58,40 %	60,97 %	70,14 %
% Limos y arcillas	<63 µm	5,22 %	6,71%	19,46 %

Fuente: Los Autores, 2018.

Al igual que para la época de muestreo de invierno, en la época de verano (Tabla 13) el tamaño de sedimentos que tiene el mayor porcentaje es el de arena, siendo que el punto de muestreo 3 presenta el mayor valor (Tanto para la época de verano como la de invierno) con un 70,14%, luego el punto de muestreo 2 con un 60,97% y el menor el punto de muestreo 1 con 58,40. El punto de muestreo 3 presenta el mayor valor de sedimentos finos para esta época, con un 19,46% y el menor porcentaje de sedimentos finos lo tiene el punto de muestreo 1 con un 5,22%.

6.2. PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

Los resultados obtenidos en la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se presentan en la Tabla 14. Parámetros en el agua como el pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura, fueron medidos in situ mediante un

equipo multiparamétrico, mientras que en el laboratorio se determinó el porcentaje de materia orgánica de los sedimentos, como se indicó anteriormente, también se calculó el porcentaje de limos y arcilla con los datos obtenidos del análisis granulométrico. Los valores de coliformes totales fueron obtenidos como se explicó en el apartado de la metodología.

En la Tabla 14, se observa que el punto 1 de muestreo en época de invierno, registra los menores valores respecto al porcentaje de materia orgánica, conductividad eléctrica y coliformes totales, sin embargo, el pH es menor en el punto 2 pero en época de verano con un pH de 7,27, y para el porcentajes de limos y arcillas, el menor valor se registró en el punto 1 en época de verano.

Tabla 14. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos río Maracas.

EPOCA DE MUESTREO	PUNTOS DE MUESTREO	pH	MO %	LA %	CE μS/cm	CT NPM/g
INVIERNO	P1	7,70	3,70	7,19	252	50000
	P2	7,90	4,79	10,51	258	900000
	P3	8,10	6,23	17,03	263	2200000
VERANO	P1	7,36	4,93	5,22	2100	110000
	P2	7,27	3,88	6,71	2450	200000
	P3	7,83	7,31	19,46	2224	500000

pH: unidades de pH; MO: materia orgánica; LA: limos y arcillas; CE: conductividad eléctrica; CT: coliformes totales.

Fuente: Los Autores, 2018.

Si se realiza un análisis por épocas de muestreo, se observa que los valores de todos los parámetros en la época de invierno muestran un aumento del punto de muestreo 1 al punto 3, presentándose los mayores valores para todos los parámetros analizados en el punto de muestreo 3. Ahora, si se comparan los valores de los parámetros en la época de verano, se observa que, para el pH, porcentaje de materia orgánica, porcentaje de limos y arcillas y coliformes totales

el punto de muestreo 3 es en donde presentan los mayores valores, en cambio, para la conductividad eléctrica el mayor valor se da en el punto de muestreo 2.

Al hacer la comparación por puntos de muestreos, se observa que en el punto 1 en épocas de verano se obtienen los mayores valores para los parámetros: porcentaje de materia orgánica, conductividad eléctrica y coliformes totales. Teniéndose como variantes, los niveles de pH, el cual para la época de invierno fue de 7,7 y en épocas de verano de 7,36, mostrando un descenso del 4,41%, así como también el parámetro porcentaje de limos y arcillas, el cual presenta mayor valor en épocas de invierno con un valor de 7,19%.

Para el punto de muestreo 2, el pH, el porcentaje de materia orgánica, el porcentaje de limos y arcillas y los coliformes totales son mayores en la época de invierno que en época de verano, teniéndose como variante a la conductividad eléctrica, la cual para la época de invierno presenta valores de 258 μ S/cm y para época de verano de 2450 μ S/cm. Registrándose la mayor variación para este parámetro, con un 849,6%.

Para el punto de muestreo 3, se registran los mayores valores de pH y coliformes totales en la época de invierno con 8,1 y 2200000, respectivamente, mientras que, para la época de verano, los valores para estos parámetros son 7,83 para pH y 500000 NMP para coliformes totales. Para los parámetros porcentaje materia orgánica, porcentaje de limos y arcillas y conductividad eléctrica, los mayores valores se registran en la época de verano con 7,31% para materia orgánica, 19,46% para limos y arcillas y 2224 μ S/cm para conductividad eléctrica, mientras que en la época de invierno en el mismo punto fue de 6,23% de materia orgánica en sedimentos, 17,3% para limos y arcillas y una conductividad del agua de 263 μ S/cm.

Realizando un promedio de los parámetros analizados por época de muestreo, se observa que para la época de verano los parámetros fisicoquímicos porcentaje de materia orgánica y conductividad eléctrica son mayores, con promedios de 5,38% para materia orgánica y 2258 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para conductividad eléctrica, estos mismos parámetros en la época de invierno registraron promedios de 4,91% para materia orgánica y 257,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para conductividad eléctrica, Lo anterior puede explicarse debido a que en épocas de verano baja la dilución de contaminantes por la disminución del caudal, aumentando la concentración de Cl^- , NO_3^- y SO_4^{2-} , u otros iones, los cuales suelen aumentar la conductividad eléctrica. De igual manera ocurre con los porcentajes de materia orgánica hallados en los sedimentos de fondo superficiales.

6.3. CONCENTRACIÓN DE METALES

El resultado de la determinación de las concentraciones de los metales presentes en cada punto de muestreo se presentan en la Tabla 15, en ella se reporta el valor de los contenidos de metales en mg kg^{-1} para As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Al y Fe. Los contenidos de los metales en los sedimentos presentaron en general el gradiente $\text{Fe} > \text{Al} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{As} > \text{Cd}$, con valores que oscilan desde 80,77 a 148,33 mg kg^{-1} para Zn; 15 a 19,3 mg kg^{-1} para Cu; 10,09 a 14,94 para Ni; 10 a 13,92 mg kg^{-1} para Cr; 5,38 a 14,73 mg kg^{-1} para Pb; 3,29 a 4,40 mg kg^{-1} para As y 0,034 a 0,20 mg kg^{-1} para Cd. Las concentraciones para el Al y el Fe oscilan entre 3,68 a 7,68 mg g^{-1} y 12,84 a 19,46 mg g^{-1} respectivamente. Para efectos del análisis de los resultados, se ha optado por tomar el valor del límite de detección en el caso de aquellos metales cuyas concentraciones se encontraron por debajo de este límite (Cr y Cu).

Al comparar las medias de las concentraciones de cada uno de los metales pesados se puede determinar que de mayor a menor cantidad se encuentran

distribuidos de la siguiente manera: Zn (109,695), Cu (17,853), Ni (13,848), Cr (12,146), Pb (8,588), As (3,862) y Cd (0,106).

Realizando una sumatoria de las concentraciones de los metales por cada punto de muestreo se obtiene que es el Punto 3 en época de verano quien presenta la mayor cantidad de metales, mientras que el punto de muestreo con menor cantidad de metales es el Punto 1 de la época de verano (ver Tabla 15), ahora, comparando la cantidad total de contenido de metales por época de muestreo, la época de verano es quien presenta el mayor valor de concentraciones.

Lo anterior se explica por el contenido de sedimentos finos encontrados en el punto 3 de muestreos en épocas de verano, los sedimentos finos se caracterizan por poseer una alta superficie específica, lo cual favorece la adsorción de los metales en la matriz de sedimentos.

Tabla 15. Concentración de metales en sedimentos de fondo del río Maracas.

METALES		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Al	Fe
EPOCA DE MUESTREO	PUNTO DE MUESTREO	mg kg ⁻¹								
INVIERNO	P 1	3,944	0,125	13,920	22,500	14,940	5,387	84,980	7681,490	19464,270
	P 2	4,202	0,038	10,000	16,000	11,450	6,870	106,590	5433,020	14112,000
	P 3	3,922	0,034	10,600	19,300	12,230	9,437	106,130	5612,250	15474,840
	Media	4,023	0,066	11,507	19,267	12,873	7,231	99,233	6242,253	16350,370
VERANO	P 1	3,404	0,209	14,450	19,320	16,680	6,924	80,770	7635,460	19178,530
	P 2	3,296	0,160	10,000	15,000	10,090	8,173	148,330	4291,930	12844,760
	P 3	4,406	0,070	13,910	15,000	17,700	14,737	131,370	3687,950	19266,880
	Media	3,702	0,146	12,787	16,440	14,823	9,945	120,157	5205,113	17096,720

Fuente: Los Autores, 2018.

En la Figura 10 se presenta la variación que tiene cada uno de los metales pesados (excepto el Cd), entre cada época de muestreo, se observa que la mayoría de los metales pesados aumentan sus concentraciones de la época de invierno a verano, a excepción del Cobre y el Arsénico (ver Figura 11) quienes disminuyen sus concentraciones en un 14,67% y 7,97% respectivamente.

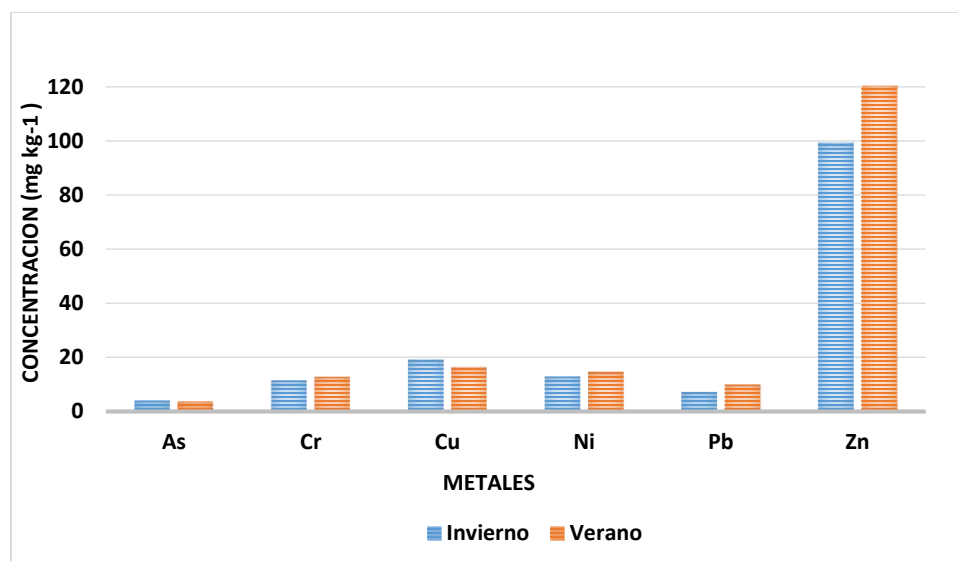


Figura 10. Concentración media de metales pesados por época de muestreo.

Fuente: Los Autores, 2018.

La representación de la variación de cadmio por época de muestreo, se presenta en la Figura 11 debido a que las concentraciones son muy pequeñas en comparación con el resto de metales, por lo que su apreciación junto a los otros metales se dificulta.

El cadmio es el metal pesado que tuvo el mayor cambio en los valores de sus concentraciones de época de lluvia a época de verano, pasando de 0,068 mg kg⁻¹ a 0,146 mg kg⁻¹, indicando un incremento del 122,37% en su concentración (ver Figura 11).

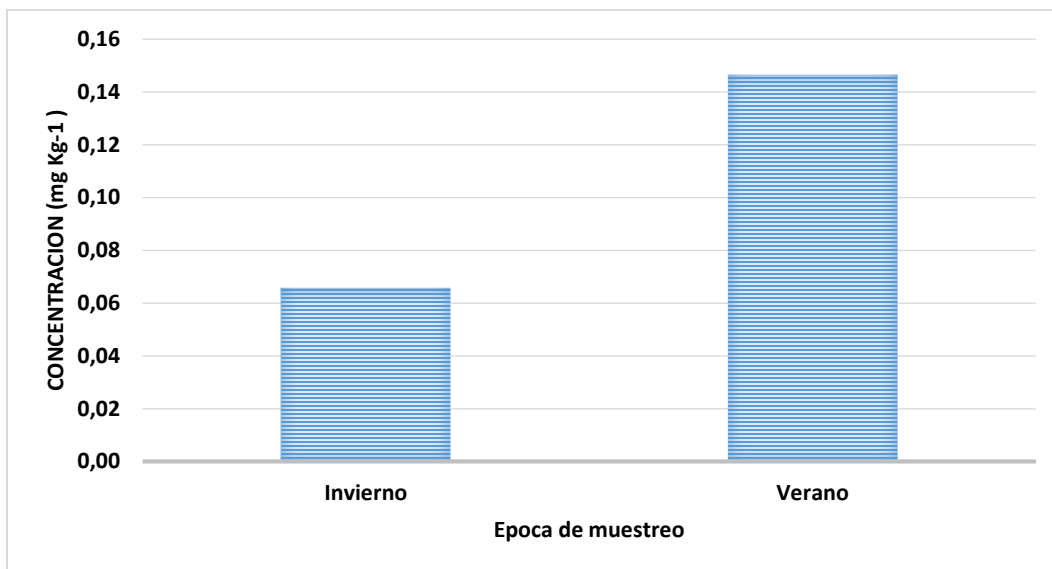


Figura 11. Concentración media de Cadmio por época de muestreo.

Fuente: Los Autores, 2018.

La variación de los metales Fe y Al se representa en la Figura 12, el Fe es el metal con mayor concentración en las dos épocas de muestreo, lo cual puede asociarse a los altos contenidos de óxidos de hierro presentes en las formaciones litológicas presentes en la cuenca del río Maracas (Consortio Calenturitas , 2016).

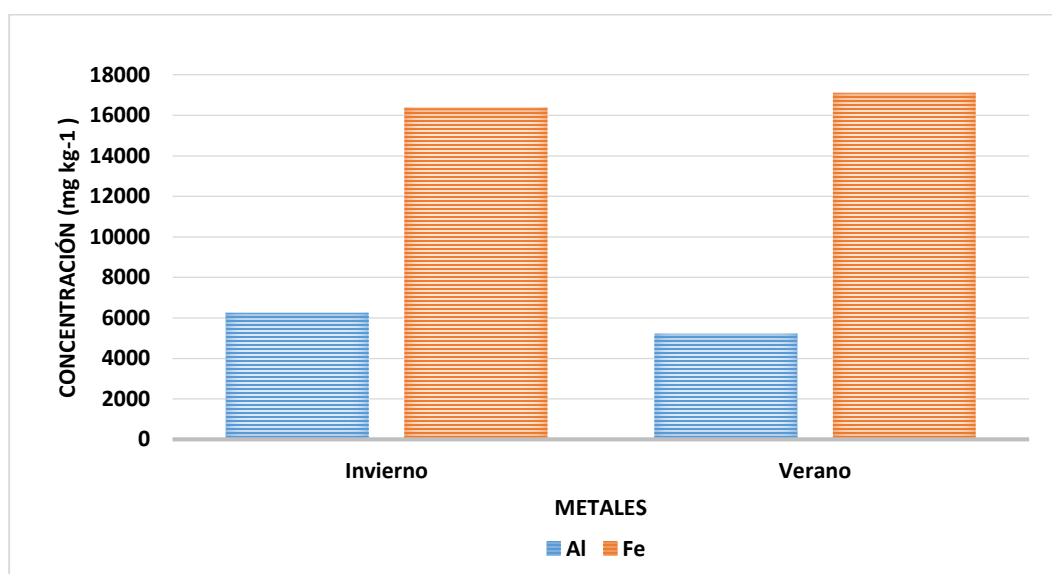


Figura 12. Concentración media de Hierro y Aluminio por época de muestreo.

Fuente: Los Autores, 2018.

6.4. ANALISIS ESTADISTICO

6.4.1. Correlación entre variables

Para conocer las relaciones entre los datos obtenidos de las concentraciones de metales (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Al y Fe), parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, porcentaje de limos y arcillas, porcentaje de materia orgánica) y microbiológico (coliformes totales) se realizó una matriz de correlación de Pearson, los dos asteriscos muestran valores con correlaciones altamente significativas (nivel 0,01 bilateral), y un asterisco muestra correlaciones significativas (nivel 0,05 bilateral), los resultados se muestran en la Tabla 16.

El análisis de correlación de Pearson muestra que entre las variables Cd y pH existe una fuerte correlación negativa, lo cual se puede explicar por la influencia del pH en la liberación de los metales presentes en la matriz de sedimentos hacia la Columna de agua (Rodríguez, 2001). La disminución del pH del agua favorece la liberación de metales desde el sedimento a la columna de agua, pero solo cuando este se remobiliza. En este caso se observa que, a menor pH del agua, mayor sería la concentración de metales en el sedimento.

También se observa una correlación altamente significativa entre los metales Fe, Cr y Ni. La correlación entre el Cr y el Fe se explica por lo expuesto por (Illera *et al*, 2000) según los cuales el Cr^{3+} en los sedimentos posee poca movilidad y puede formar complejos con los óxidos de Fe, así como también a oxí-hidróxidos de Fe. La relación Ni y Fe tiene su explicación ya que el Ni se encuentra fuertemente asociado en los sedimentos a los óxidos de Fe, llegándose incluso a presentar porcentajes del 15 al 30% de Ni extraídos (Norrish, 1975).

El Zn muestra una correlación negativa altamente significativa con él Al y una correlación negativa significativa con el cobre, a su vez, el cobre presenta una correlación positiva con un 95% de significancia con el aluminio.

Los contenidos de limos y arcillas, se correlacionan positivamente con el porcentaje de materia orgánica y con las concentraciones de plomo en los sedimentos, de igual manera, el plomo se correlaciona positivamente con el porcentaje de materia orgánica en sedimentos, esto obedece a la mayor área superficial que poseen los minerales de limos y arcillas, los cuales favorecen la retención de metales pesados, mediante el intercambio iónico y la adsorción específica (Rieuwerts *et al*, 1998). La correlación entre el plomo y la materia orgánica, puede estar influenciada debido a que este metal tiene la capacidad de crear quelatos insolubles con la materia orgánica (Matagi *et al*, 1998).

Cabe destacar que no hay correlación entre los coliformes totales y los metales, con lo cual se infiere que su presencia no obedece a un origen común.

Tabla 16. Correlaciones entre concentración de metales, parámetros fisicoquímicos y microbiológico.

	Ph	MO	CE	CT	LA	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Al
pH	1													
MO	0,563	1												
CE	-0,718	0,147	1											
CT	0,782	0,495	-0,516	1										
LA	0,761	,904*	-0,107	0,633	1									
As	0,801	0,597	-0,423	0,308	0,742	1								
Cd	-,927**	-0,507	0,610	-0,743	-0,768	-0,799	1							
Cr	-0,196	0,170	0,252	-0,516	-0,066	0,094	0,458	1						
Cu	0,116	-0,350	-0,552	-0,007	-0,319	-0,117	0,195	0,445	1					
Ni	0,006	0,470	0,270	-0,335	0,217	0,316	0,231	,943**	0,240	1				
Pb	0,290	,883*	0,447	0,220	,835*	0,491	-0,358	0,129	-0,586	0,392	1			
Zn	-0,143	0,204	0,514	0,033	0,335	-0,002	-0,178	-0,507	-,831*	-0,394	0,570	1		
Fe	0,030	0,267	0,061	-0,348	0,084	0,267	0,259	,973**	0,521	,948**	0,160	-0,572	1	
Al	-0,150	-0,506	-0,397	-0,221	-0,614	-0,309	0,437	0,456	,885*	0,236	-0,764	-,928**	0,463	1

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral); * . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral); pH: potencial Hidrogeno; MO: materia orgánica; CE: conductividad eléctrica; CT: coliformes totales; LA: limos y arcillas; As: arsénico; Cd: cadmio; Cr: cromo; Cu: cobre; Ni: nitrógeno; Pb: plomo; Zn: Zinc; Fe: Hierro; Al: Aluminio.

Fuente: Los Autores, 2018.

6.4.2. Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (ACP) con rotación Varimax para los metales y las variables fisicoquímicas y microbiológicas, fue realizado con la finalidad de contribuir a la evaluación de asociaciones entre el comportamiento de todas las variables analizadas.

El análisis permitió obtener tres factores que explican en total el 93,376% de la varianza, de los cuales, los factores 1 y 2 recogen la información más importante (68,919% de la varianza total) y son presentados en la Figura 13. El factor I (40,435% de la varianza total), se asocia de manera positiva con las concentraciones de As, Pb, coliformes totales, porcentaje de materia orgánica, porcentaje de limos y arcillas y el pH (zona representada en color naranja), lo cual evidencia un posible origen común entre los metales As y Pb, mientras que este mismo factor se asoció de manera negativa con las concentraciones de Cd, metal que posee una fuerte correlación negativa con el pH, como se había dicho anteriormente.

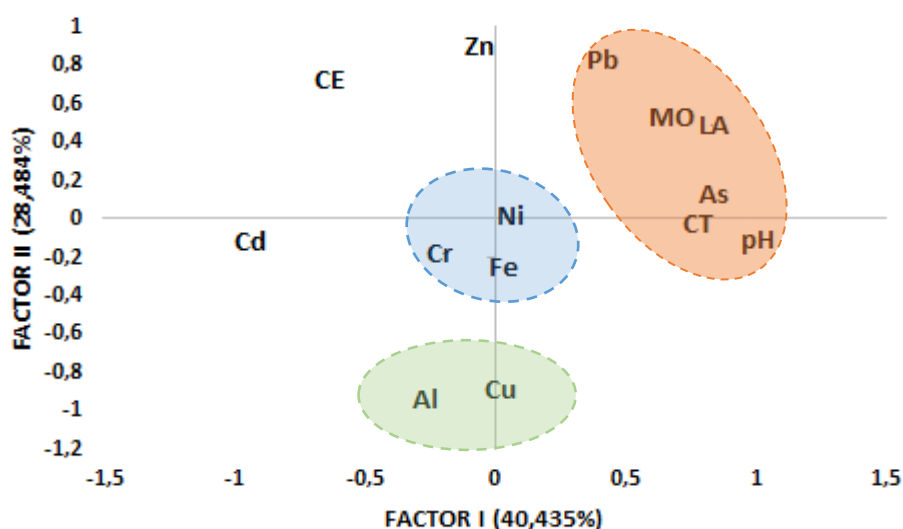


Figura 13. Factores del ACP con rotación varimax para las concentraciones de metales en sedimentos, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Fuente: Los Autores, 2018.

De la asociación de los metales As y Pb, con la materia orgánica del sedimento, se puede inferir que estos metales serían liberados con mayor facilidad cuando la materia orgánica presente en el sedimento se re movilice.

El factor II (28,484% de la varianza total), se relacionó positivamente con las variables Zn, Pb y CE (conductividad eléctrica), existiendo una asociación entre estos tres parámetros y un posible origen común de los metales Zn y Pb. Mientras que tuvo una relación negativa con las variables Al y Cu (zona representada con color verde), evidenciando un origen común entre los metales Al y Cu. Cabe resaltar que, en el análisis de correlaciones de Pearson, el Al y el Cu tuvieron una correlación positiva significativa entre sí, mientras que el Cu tuvo una correlación negativa significativa con el Zn, y el Al tuvo una correlación negativa altamente significativa con el Zn, lo cual también fue representado en el ACP.

El Fe es un metal de origen litológico, el cual se asocia con el Cr y Ni (zona representada con color azul), lo cual evidencia un origen común de estos metales.

6.5. INDICES DE CONTAMINACIÓN POR METALES

6.5.1. Concentración de efecto limite (TEC) y concentración de efecto probable (PEC)

Los valores de las concentraciones de los metales As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn, se registran en la Tabla 15, estas concentraciones fueron comparadas con los valores TEC y PEC (Tabla 3) propuestos por Mac Donald et al (2000) para cada metal. Los valores TEC y PEC son guías utilizadas para evaluar la calidad de sedimentos y la afectación a los organismos bentónicos por concentraciones de metales pesados y otras sustancias químicas presentes en sedimentos de aguas dulces.

En la Tabla 17 se comparan los valores de las concentraciones de los metales por puntos de muestreo para las dos épocas meteorológicas con los valores TEC y PEC. Como puede apreciarse para los metales Ar, Cd, Cr, Cu, Ni y Pb, ninguno de los valores de sus concentraciones supera el umbral de los límites TEC o PEC, por lo que estos metales poseen una baja probabilidad de generar efectos adversos en animales bentónicos presentes en este ecosistema.

Tabla 17. Comparación de metales pesados en sedimentos con los valores TEC y PEC para cada metal.

METAL PESADO	TEC	PEC	INVIERNO			VERANO		
			P1	P2	P3	P1	P2	P3
mg kg⁻¹								
As	9,79	33	3,944	4,202	3,922	3,404	3,296	4,406
Cd	0,99	4,98	0,125	0,038	0,034	0,209	0,160	0,070
Cr	43,4	111	13,920	10,000	10,600	14,450	10,000	13,910
Cu	31,6	149	22,500	16,000	19,300	19,320	15,000	15,000
Ni	35,8	128	14,940	11,450	12,230	16,680	10,090	17,700
Pb	22,7	48,6	5,387	6,870	9,437	6,924	8,173	14,737
Zn	121	459	84,980	106,130	106,130	80,770	148,330*	131,370*

*: supera la concentración TEC

** : supera la concentración PEC

Fuente: Los Autores, 2018.

Los valores de las concentraciones del Zn en los puntos de muestreo 2 y 3 en época de verano, supera el umbral de concentración TEC para este metal (121 mg kg⁻¹) con valores de 148,33 y 131,37 mg kg⁻¹ respectivamente, indicando así que para estos puntos de muestreo en referencia a las concentraciones del Zn existe probabilidad de que los organismos bentónicos presentes en este ecosistema sufran afectaciones.

6.5.2. Factor de contaminación

Para el cálculo del factor de contaminación se tomaron como valores de fondo (Background), los valores promedio del punto de muestreo 1 del presente estudio,

debido a la carencia de valores de referencia en el área estudiada, además el punto escogido presenta poca intervención antrópica. En la Tabla 18 se encuentran tabuladas estas concentraciones para cada metal en mg kg^{-1} .

Tabla 18. Concentraciones de fondo para sedimentos del río Maracas.

	METALES							
	As	Al	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Concentración de fondo (mg kg^{-1})	3,67	7658,48	0,17	14,19	20,91	15,81	6,16	82,88

Fuente: Los Autores, 2018.

Como se explicó anteriormente, el aluminio fue utilizado como elemento normalizador debido a su resistencia a la meteorización química, por lo que no participa activamente en los ciclos geoquímicos y a la tendencia de su contenido natural uniforme en los sedimentos.

La Tabla 19 muestra los valores del factor de contaminación calculados para cada uno de los metales en los tres puntos de muestreo de cada época (Invierno y Verano), en donde se registra que los valores obtenidos solo se clasifican en 2 categorías: Bajo y moderado.

Tabla 19. Factor de contaminación por metales en el río Maracas.

FACTOR DE CONTAMINACION (CF)								
Época De Muestreo	Punto de Muestreo	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Invierno	P 1	1,073	0,753	0,981	1,076	0,945	0,875	1,025
	P 2	1,144	0,231	0,705	0,765	0,724	1,116	1,286
	P 3	1,068	0,206	0,747	0,923	0,774	1,533	1,281
Verano	P 1	0,927	1,256	1,019	0,924	1,055	1,125	0,975
	P 2	0,897	0,965	0,705	0,717	0,638	1,328	1,790
	P 3	1,199	0,424	0,981	0,717	1,120	2,394	1,585

Fuente: Los Autores, 2018.

En la Figura 14 se presentan los valores calculados del factor de contaminación de los metales As, Cd, Cr, Cu, ni, Pb y Zn en época de invierno, en donde se observa que para los metales Cd, Cr y Ni en todos los puntos de muestreo se presentan valores menores a 1, lo que indica un factor de contaminación bajo. En cambio, para los metales As y Zn los valores del factor de contaminación son mayores a 1,0 y menores de 3,0 en los tres puntos de muestreo, mostrando así un factor de contaminación moderado. Para el Cu, solo el punto de muestreo 1 presenta un valor superior a 1, factor de contaminación moderado, y los puntos de muestreo 2 y 3 valores menores a 1, factor de contaminación bajo. Por último, el Pb registra para los puntos 2 y 3 valores superiores a 1 mostrando un factor de contaminación moderado y solo en el punto de muestreo 1 se observa que el valor del factor de contaminación es inferior a 1, factor de contaminación bajo. Esta disminución en el punto 1 obedece a que los metales en el sedimento son liberados a la columna de agua, lo cual no es algo positivo para el ambiente aguas abajo del río y sus fuentes receptoras.

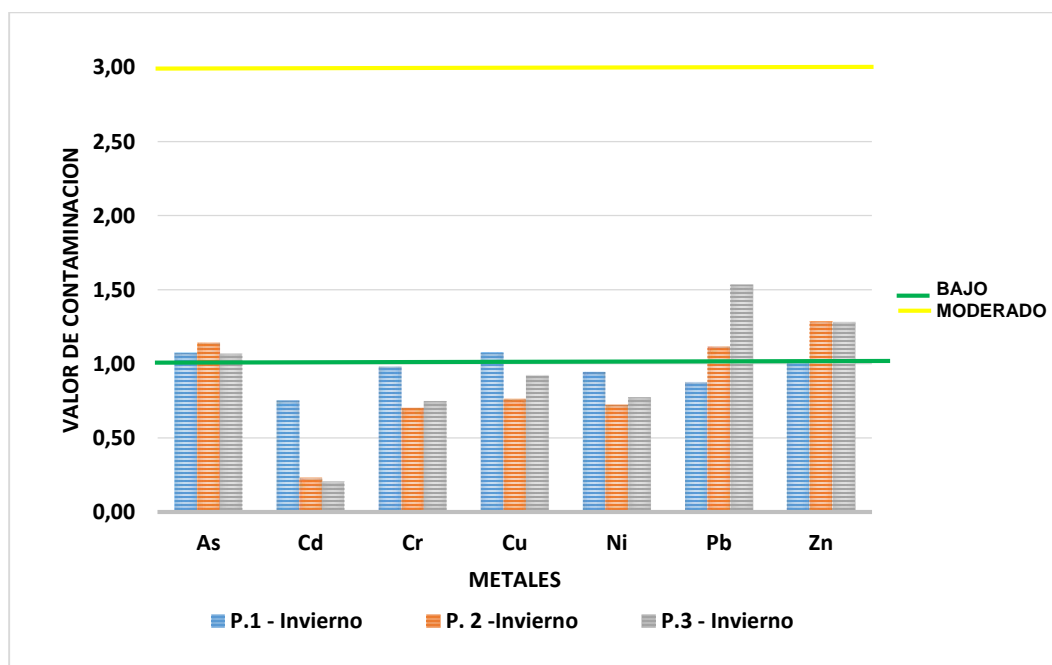


Figura 14. Factor de contaminación épocas de invierno.

Fuente: Los Autores, 2018.

La Figura 15 presenta los valores del factor de contaminación para los metales As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en épocas de verano, el Cu es el único metal en donde sus valores del factor de contaminación para los tres puntos de muestreo es inferior a 1,0, es decir, factor de contaminación bajo; caso contrario sucede con el Pb, en donde los valores del factor de contaminación para los tres puntos de muestreo es superior a 1,0, factor de contaminación moderado. Para metales como Cr y Cd, solo el punto de muestreo 1 supera el valor de contaminación de 1,0, clasificándolo como factor de contaminación moderado, en cambio, para los puntos de muestreo 2 y 3 el valor del factor de contaminación es inferior a 1,0, es decir, presentan un factor de contaminación bajo.

El As solo posee un punto de muestreo con un valor de contaminación superior a 1,0, el punto 3, siendo este un factor de contaminación moderado, mientras los otros dos puntos de muestreo (2 y 3) el valor de contaminación es inferior a 1, dando como resultado un factor de contaminación bajo. Para el Ni, los puntos de muestreo 1 y 3 superan el valor del factor de contaminación de 1,0, clasificándolo con una intensidad de contaminación moderada y para el punto de muestreo 2 el valor del factor de contaminación es inferior a uno, factor de contaminación bajo. Por último, el Zn para los puntos de muestreo 2 y 3 presenta un valor superior a 1,0, lo que los clasifica con un factor de contaminación moderado y el punto de muestreo 1 tiene un valor de factor de contaminación menor a 1,0, siendo este un factor de contaminación bajo. Se observa que el Pb y el Zn son los metales que pueden generar problemas ambientales, especialmente el Pb por poseer el mayor valor de factor de contaminación.

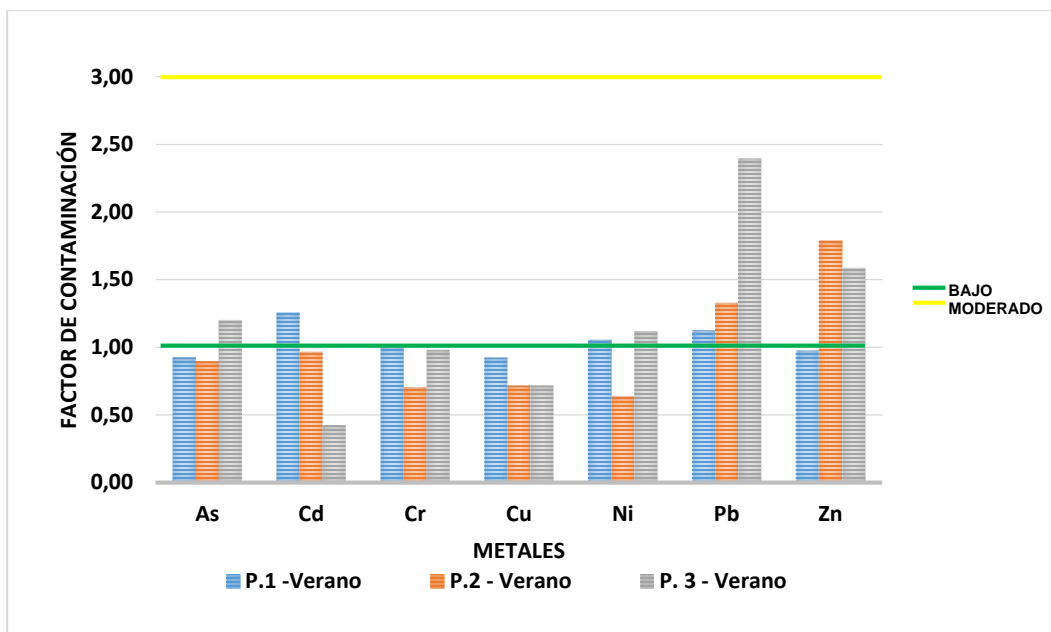


Figura 15. Factor de contaminación épocas de verano.

Fuente: Los Autores, 2018.

De la Tabla 19, haciendo un análisis porcentual de los valores del factor de contaminación en cada una de las épocas, se tiene que para la época de invierno el 42,85% de los valores se clasifica con un factor de contaminación moderado, siendo el 57,15% restante valores con un factor de contaminación bajo. Para la época de verano el porcentaje de valores con un factor de contaminación moderado aumenta a un 47,62% (aumento del 4,77% respecto a la época de lluvias), mientras que el porcentaje de los valores con factor de contaminación bajo disminuye a un 53,38% (diminución de 3,77 respecto a la época de lluvias).

6.5.3. Índice de carga contaminante (PLI)

El índice de carga contaminante (PLI) por sus siglas en inglés (Pollution Load Index), es utilizado para evaluar el nivel de carga contaminante de una muestra, en función de todos los metales analizados en la matriz de sedimentos de dicha muestra.

Los valores del índice de carga contaminante (PLI) calculados por cada punto de muestreo de sedimentos se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20. Índice de carga contaminante (PLI) Río Maracas.

INDICE DE CARGA CONTAMINANTE (PLI)		
EPOCA DE MUESTREO	PUNTO DE MUESTREO	PLI
INVIERNO	P 1	0,955
	P 2	0,761
	P 3	0,811
VERANO	P 1	1,034
	P 2	0,943
	P 3	1,062

Fuente: Los Autores, 2018.

En la Figura 16 se representan los valores del PLI para los tres puntos de muestreos en épocas de invierno, en la cual puede observarse que en ninguno de estos puntos registra un valor de PLI superior a 1, lo cual indica que la contaminación por los metales analizados no es tan significativa como para generar preocupación. Sin embargo, se observa que en el punto 1 de muestreo es donde se obtiene el mayor valor del PLI, con un valor de 0,955 muy cercano al umbral de contaminación.

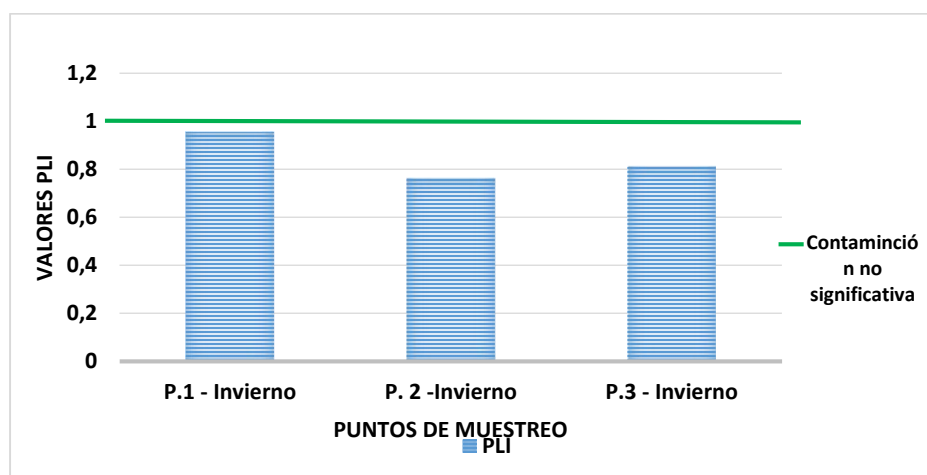


Figura 16. Índice de carga contaminante (PLI) época de invierno río Maracas.

Fuente: Los Autores, 2018.

Los valores de PLI por punto de muestreo en época de verano se encuentran representados en la Figura 17, en ella puede observarse que para los puntos de muestreos 1 y 3, se hallan valores de PLI que superan el umbral de contaminación, lo cual quiere decir que los niveles de contaminación en estos dos puntos (valores PLI de 1,034 para el punto uno y 1,062 para el punto tres), ya pueden generar afectación al medio, por lo que debe prestarse especial atención en estos puntos. Mientras que en el punto dos, el valor PLI es inferior a 1, es decir, que en este punto de muestreo la contaminación no es significativa y no representa ningún riesgo.

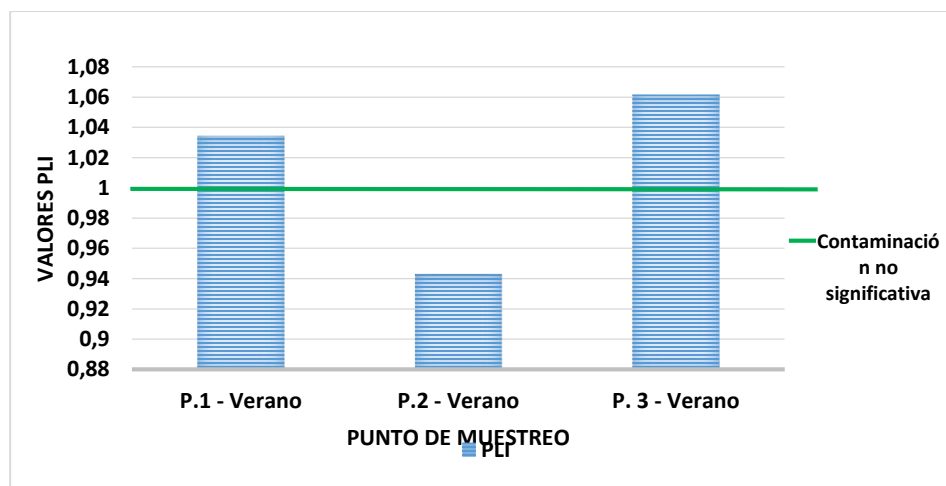


Figura 17. Índice de carga contaminante (PLI) épocas de verano río Maracas.
Fuente: Los Autores, 2018.

Lo anterior se explica por la disminución del caudal y la velocidad de flujo en el cauce del río, aumentando así los porcentajes de sedimentos finos, y a su vez, las concentraciones de metales en los sedimentos recolectados en los puntos de muestreo 1 y 3 en época de verano.

Los valores altos de PLI en los puntos de muestreo 1 y 3 en la época de verano, también pueden ser explicados por la adsorción de metales disueltos en la columna de agua por los sedientos, cuando este proceso es favorecido por las condiciones fisicoquímicas del agua.

6.5.4. Índice de riesgo ecológico potencial

El índice de riesgo ecológico potencial es utilizado para evaluar el nivel de contaminación con metales pesados en sedimentos de acuerdo con su toxicidad y la respuesta del ambiente. En la Tabla 21 se presentan los valores del coeficiente de riesgo ecológico potencial para cada uno de los metales (EI), así mismo se presenta el valor del índice de riesgo ecológico potencial (RI) de cada uno de los puntos de muestreo, que resulta de la sumatoria del coeficiente de riesgo ecológico potencial de cada metal analizado en cada punto de muestreo.

Tabla 21. Índice de riesgo ecológico potencial y cálculo de Riesgo ecológico para el río Maracas.

INDICE DE RIESGO ECOLOGICO POTENCIAL (EI) Y RIESGO ECOLOGICO (RI)									
EPOCA DE MUESTREO	PUNTO DE MUESTREO	COEFICIENTE DE EI PARA CADA METAL							RI
		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
INVIERNO	P 1	10,7	22,6	2,0	5,4	4,7	4,4	1,0	50,8
	P 2	11,4	6,9	1,4	3,8	3,6	5,6	1,3	34,1
	P 3	10,7	6,2	1,5	4,6	3,9	7,7	1,3	35,8
VERANO	P 1	9,3	37,7	2,0	4,6	5,3	5,6	1,0	65,5
	P 2	9,0	29,0	1,4	3,6	3,2	6,6	1,8	54,5
	P 3	12,0	12,7	2,0	3,6	5,6	12,0	1,6	49,4

Fuente: Los Autores, 2018.

La calificación del nivel de contaminación y los riesgos ecológicos por las concentraciones de metales en los sedimentos, se realiza en base a lo contenido en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Para $EI < 30$ y $RI < 50$, se considera que la contaminación por metales no es significativa. Con rangos de EI superiores a 30 y RI superiores a 50, existen otras clasificaciones: moderadamente contaminado, fuertemente contaminado, muy fuertemente contaminado, extremadamente contaminado (ver Tabla 5 para conocer los rangos de cada clasificación)

En la Figura 18 se muestran los valores calculados del coeficiente de riesgo ecológico potencial para la época de invierno, en donde se observa que para todos los metales en todos los puntos de muestreo el valor es menor a 30, lo que indica la contaminación no es significativa, por lo que no debe generar preocupación.

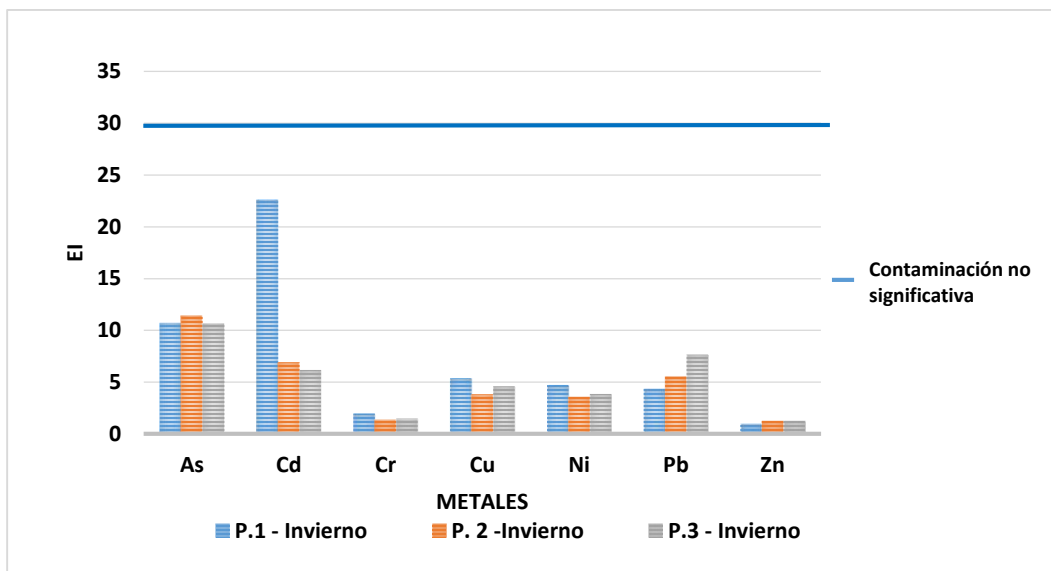


Figura 18. Coeficiente de Riesgo Ecológico Potencial (EI) para época de invierno.
Fuente: Los Autores, 2018.

Los valores del coeficiente del riesgo ecológico potencial para la época de verano, son representados en la Figura 19, en donde se observa que solo el valor del EI para el cadmio en el punto de muestreo 1 supera el valor de 30 pero no logra superar el valor de 60, lo que lo clasifica como moderadamente contaminado. El resto de valores de los demás metales en todos los puntos de muestreo presenta un valor de Ei menor a 30, indicando un nivel de contaminación no significativo.

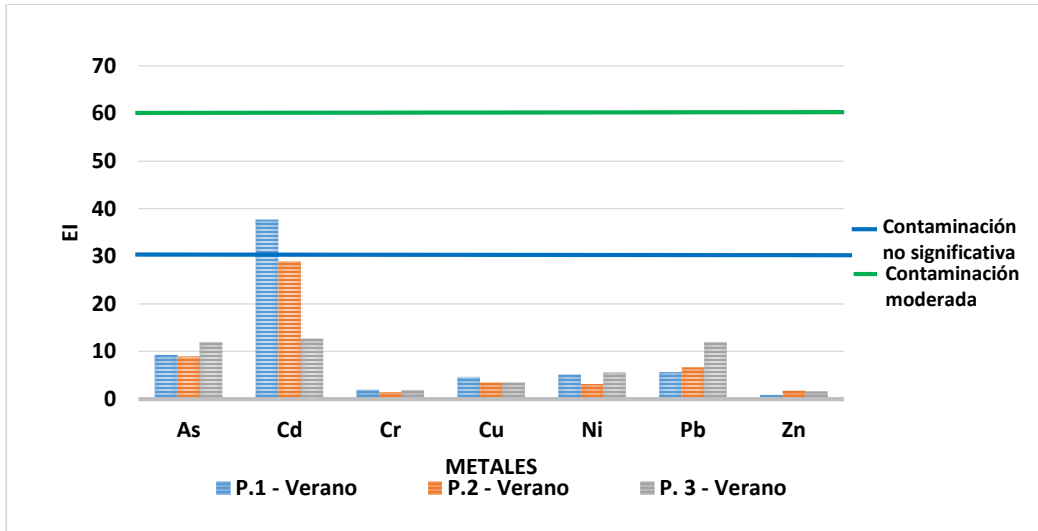


Figura 19. Coeficiente de Riesgo Ecológico Potencial (EI) para época de verano.
Fuente: Los Autores, 2018.

El índice de riesgo ecológico potencial para épocas de invierno, se encuentra representado en la Figura 20, en la cual puede observarse que en los puntos de muestreos 2 y 3, este índice tiene un valor menor a 50, indicando así que la contaminación no es crítica. Para el punto de muestreo 1, el valor del índice es superior al 50 clasificándolo en la categoría de moderadamente contaminado.

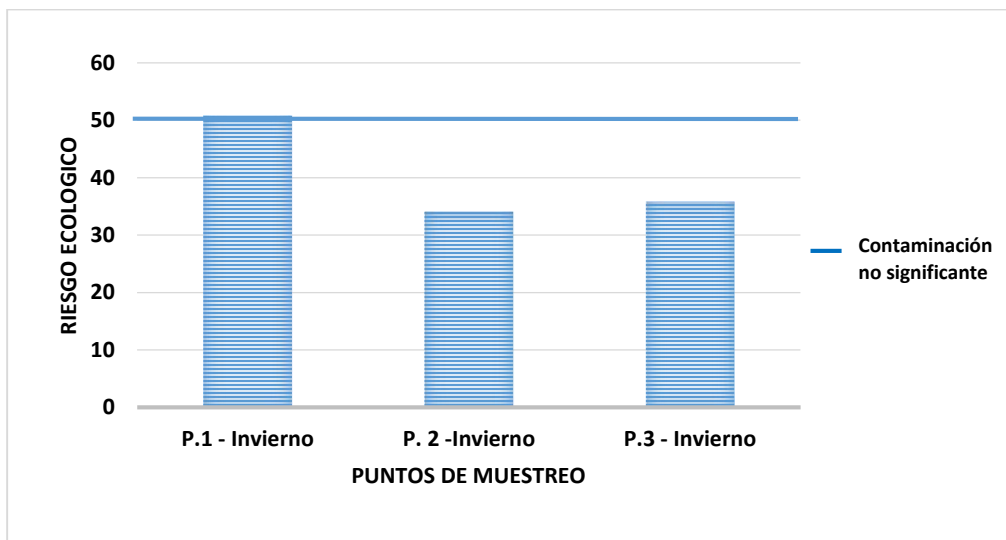


Figura 20. Índice de Riesgo Ecológico Potencial para la época de invierno.

Fuente: Los Autores, 2018.

Para la época de verano, los valores del índice de riesgo ecológico potencial se muestre en la Figura 21; en donde se observa que para los puntos de muestreo 1 y 2 el valor del índice es mayor a 50, siendo así puntos moderadamente

contaminados. El valor del índice ecológico potencial para el punto de muestreo 3 es inferior a 50, un punto que no posee contaminación.

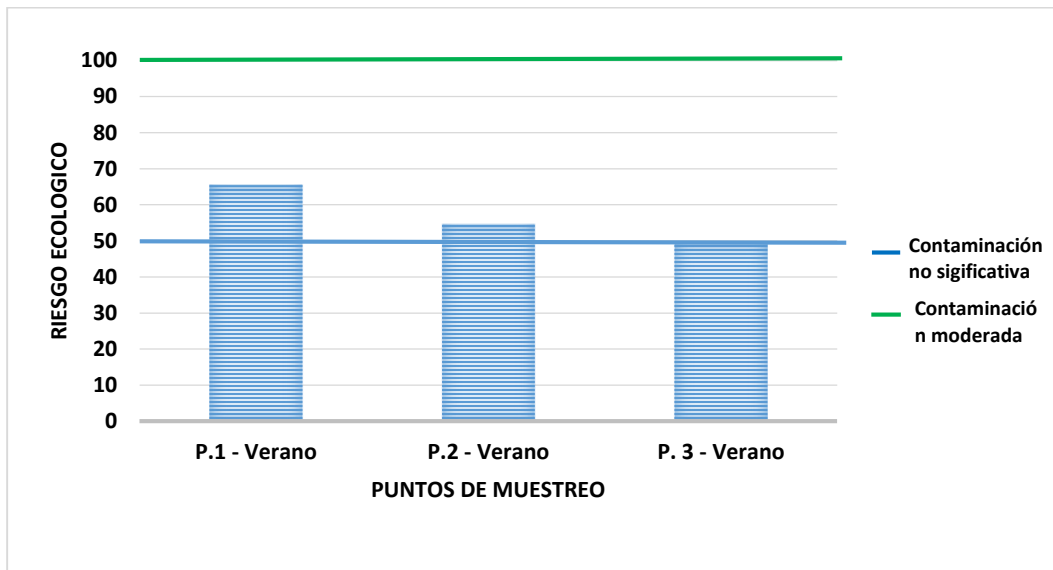


Figura 21. Índice de Riesgo Ecológico Potencial para época de verano.

Fuente: Los Autores, 2018.

6.5.5. Factor de enriquecimiento

Es utilizado para evaluar la contaminación por metales pesados en sedimentos fluviales. Identifica anomalías en concentraciones de metales tomando en cuenta el grado de enriquecimiento contribuido por efectos antrópicos en relación a un elemento conservativo.

Como se dijo anteriormente, el elemento conservativo utilizado fue el aluminio debido a la resistencia de este a la meteorización química, por lo que no participa de manera activa en los ciclos geoquímicos y por la carencia de fuentes antropogénicas significativas (Cieslewicz et al 2017).

En la tabla 22, se encuentran registrados los valores del factor de enriquecimiento para cada metal pesado en función del elemento conservativo utilizado (Aluminio, Al). Como se indica en la Tabla 6, si EF es menor a 1, no hay enriquecimiento; si

EF se encuentra entre 1 y 3, el enriquecimiento es menor; si EF está entre 3 y 5, el enriquecimiento es moderado; si EF se encuentra entre 5 y 10 el enriquecimiento es moderadamente grave; se EF está entre 10 y 25, el enriquecimiento es grave; valores de EF entre 25 y 50, indican enriquecimiento muy grave y valores mayores a 50, indican enriquecimiento extremadamente graves (Sakan et al, 2009).

Tabla 22. Factor de enriquecimiento para metales pesados río Maracas.

FACTOR DE ENRIQUECIMIENTO (AI)								
EPOCA DE MUESTREO	PUNTO DE MUESTREO	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
INVIERNO	P 1	1,070	0,750	0,978	1,073	0,942	0,873	1,022
	P 2	1,612	0,325	0,994	1,079	1,021	1,573	1,813
	P 3	1,457	0,281	1,020	1,260	1,056	2,092	1,748
VERANO	P 1	0,929	1,260	1,022	0,927	1,058	1,128	0,978
	P 2	1,601	1,722	1,258	1,280	1,139	2,369	3,194
	P. 3	2,490	0,881	2,036	1,490	2,325	4,972	3,292

Fuente: Los Autores, 2018.

Se graficaron para ambas épocas de muestreo cada uno de los valores del factor de enriquecimiento de todos los metales en los distintos puntos de muestreo. Para la época de invierno, los valores del factor de enriquecimiento se presentan en la Figura 22, en donde se observa que para metales como As, Cu y Zn el valor del factor de enriquecimiento en los 3 puntos de muestreo es mayor a 1,0 y menor a 3,0, indicando así que en estos valores poseen un enriquecimiento menor. Para el Cd, todos los valores del factor de enriquecimiento son menores a 1,0, mostrando así que en los tres puntos de muestreo no hay enriquecimiento para este metal.

Tomando los valores del factor de enriquecimiento de los metales Ni y Pb se observa que, para ambos, el punto 1 registra un valor inferior a 1,0, sin enriquecimiento; mientras que para los puntos de muestreo 2 y 3 el valor del factor de enriquecimiento es superior a 1 pero menor a 3,0, es decir, el enriquecimiento es menor. Por último, para el Cr los valores del EF en los puntos de muestreo 1 y

2 son menores a 1,0, indicando que no hay enriquecimiento. Para el punto de muestreo 3 el valor del EF es superior a 1 es inferior a 3,0, siendo para este punto enriquecimiento menor. El mayor valor del EF para la época de lluvias se registra en el punto de muestreo 3 del Pb con un valor de 2,092.

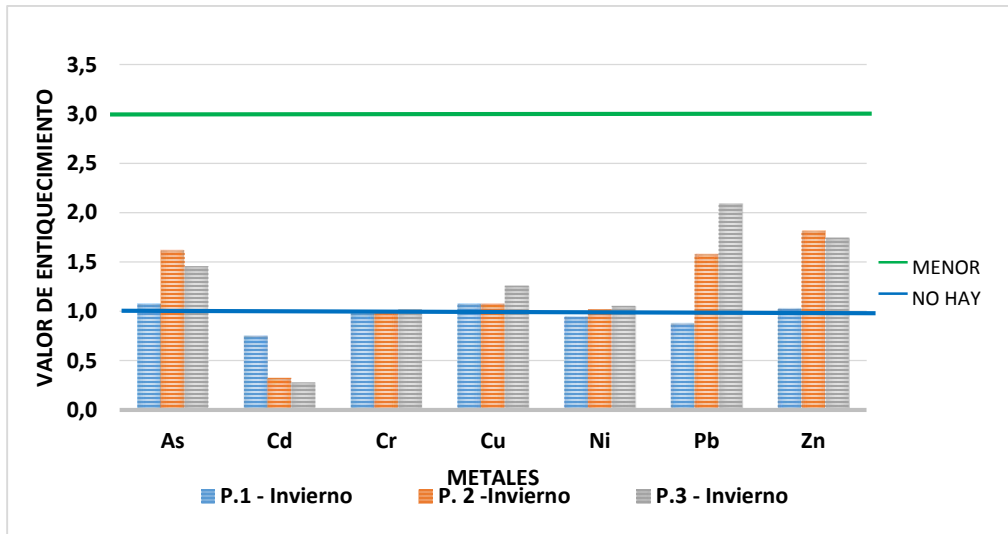


Figura 22. Factor de enriquecimiento época de invierno.

Fuente: Los Autores, 2018.

La Figura 23, muestra los valores del factor de enriquecimiento para los tres puntos de muestreo en época de verano. En esta grafica se observa que para los metales Cr y Ni el valor del EF para los tres puntos de muestreo se ubican entre 1,0 y 3,0, mostrando que estos metales presentan un factor de enriquecimiento menor. Para el As y el Cu, los puntos de muestreo 2 y 3 registran valores del EF superiores a 1,0 pero menores a 3,0, es decir, factor de enriquecimiento menor y para el punto de muestreo 1 en ambos metales el valor del EF es inferior a 1,0, expresando que no hay enriquecimiento en este punto. El Cd en los puntos de muestreo 1 y 2, presenta valores de EF mayores a 1,0 e inferiores a 3,0 indicando un enriquecimiento menor y para el punto de muestreo 3 el valor del EF es menor a 1,0, por lo tanto, este punto no presenta enriquecimiento.

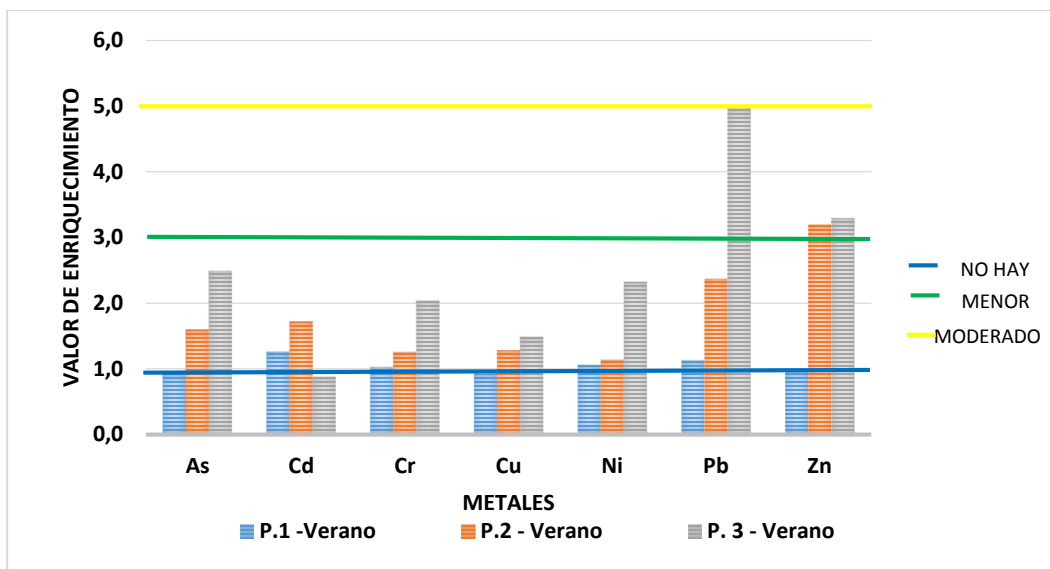


Figura 23. Factor de enriquecimiento época de verano.

Fuente: Los Autores, 2018.

Los valores del EF para el Pb en los puntos de muestreo 1 y 2 están ubicados en el rango de valores de 1,0 y 3,0, siendo así que para estos puntos de muestreo el enriquecimiento es menor y para el punto de muestreo 3 el valor del EF es mayor a 3,0 pero menor a 5,0, clasificándolo con un enriquecimiento moderado, además este es el punto y el metal en donde se registra el más alto valor (4,92). Por último, el Zn presenta valores del EF entre 3,0 y 5,0 para los puntos de muestreo 2 y 3, indicando de esta manera que el enriquecimiento en estos puntos es moderado, mientras que para el punto de muestreo 1 el valor del EF no presenta enriquecimiento debido a que este es menor a 1,0.

6.5.6. Índice de toxicidad ERMQ

El índice de toxicidad ERM (Effects Range Median), denota los efectos de rango medio sobre la biota en los sedimento fluviales (Montoya, 2013). En la Tabla 23 se registran los valores de los índices de Toxicidad ERMQ por punto de muestreo para las épocas de invierno y verano.

Tabla 23: índice de toxicidad ERMQ para sedimentos del río Maracas.

INDICE DE TOXICIDAD ERMQ		
EPOCA DE MUESTREO	PUNTO DE MUESTREO	ERMQ
INVIERNO	P 1	0,102
	P 2	0,095
	P 3	0,100
VERANO	P 1	0,105
	P 2	0,106
	P 3	0,128

Fuente: Los Autores, 2018.

Los valores del índice de toxicidad ERMQ para la época de lluvias se representan en la Figura 24, en donde se observa que para el punto de muestreo 2 el valor del ERMQ es menor a 0,1 indicando que para este punto existe un 10% de probabilidad de generar efectos adversos en la biota dándole a su vez un nivel de prioridad bajo. Para los puntos de muestreo 1 y 3 el valor del índice de toxicidad ERMQ es superior a 0,1 y menor a 0,5, teniendo así que para estos puntos de muestreo existe entre un 25 y 30% de probabilidad de generar efectos adversos en la biota, además de poseer un nivel de prioridad media-baja.

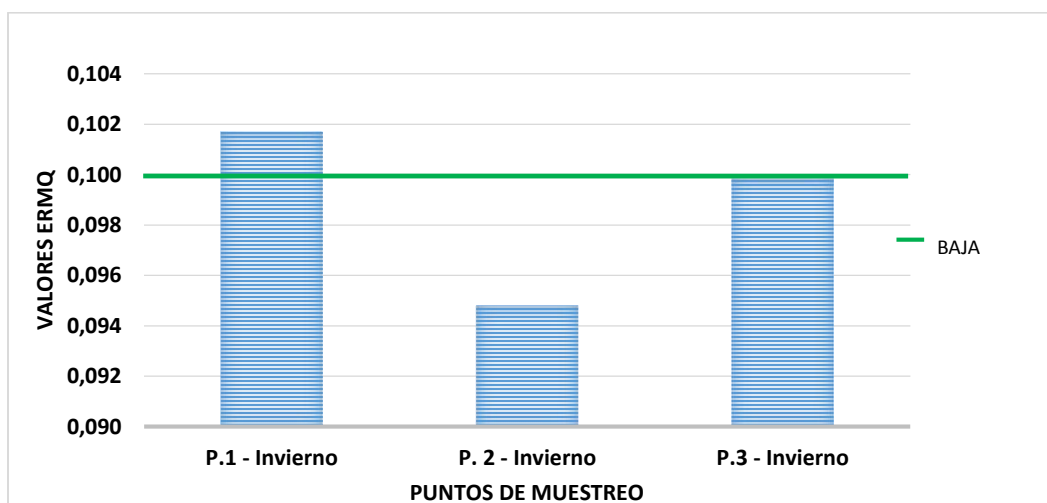


Figura 24. Índice de toxicidad ERMQ para la época de invierno.

Fuente: Los Autores, 2018.

En la Figura 25 se representan los valores del índice de toxicidad ERMQ para la época de verano, de la cual se puede identificar que para los 3 puntos de muestreo los valores del índice de toxicidad ERMQ son superiores a 0,1 e inferiores a 0,5, por lo tanto, estos 3 puntos de muestreo tienen una probabilidad entre el 25 y el 30% de generar efectos adversos a la biota, así como también poseen un nivel de prioridad medio-bajo.

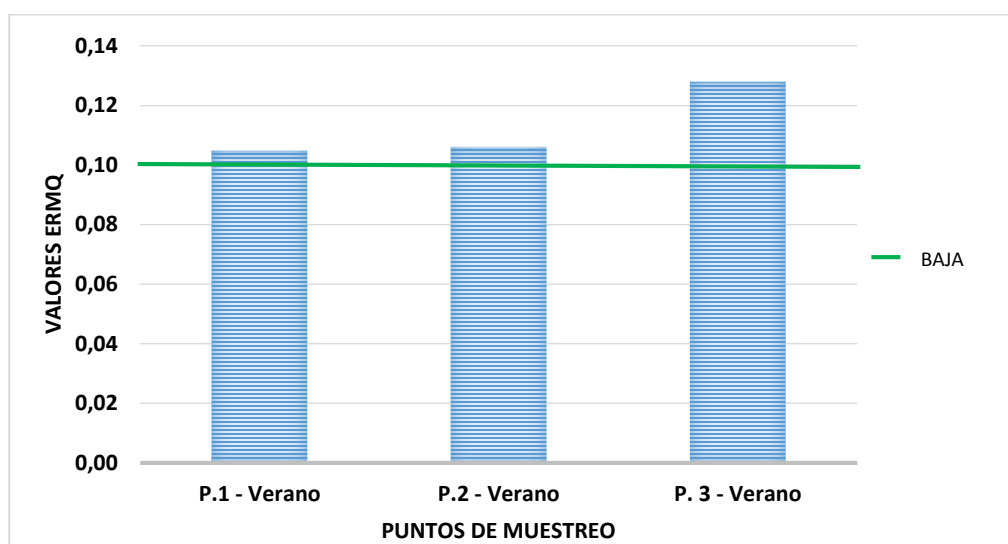


Figura 25. Índice de toxicidad ERMQ para la época de verano.

Fuente: Los Autores, 2018.

6.5.7. Índice de toxicidad PELQ

En la Tabla 24 se encuentran registrados los valores de los índices PELQ para los sedimentos en los diferentes puntos de muestreo para las épocas de invierno y verano.

Tabla 24. Índice de toxicidad PELQ para sedimentos Rio Maracas.

INDICE DE TOXICIDAD PELQ		
EPOCA DE MUESTREO	PUNTO DE MUESTREO	PELQ
INVIERNO	P 1	0,162
	P 2	0,149
	P 3	0,158
VERANO	P 1	0,164
	P 2	0,168
	P 3	0,197

Fuente: Los Autores, 2018.

Los valores del índice de toxicidad PELQ para la época de lluvias son representados en la Figura 26, en donde se observa que para los 3 puntos de muestreo los valores del índice PELQ son superiores a 0,1 y menor a 1.5, clasificándolos de esta manera con un nivel de prioridad medio-baja e indicando que tiene un 25 y 30% de probabilidad de generar toxicidad a la biota.

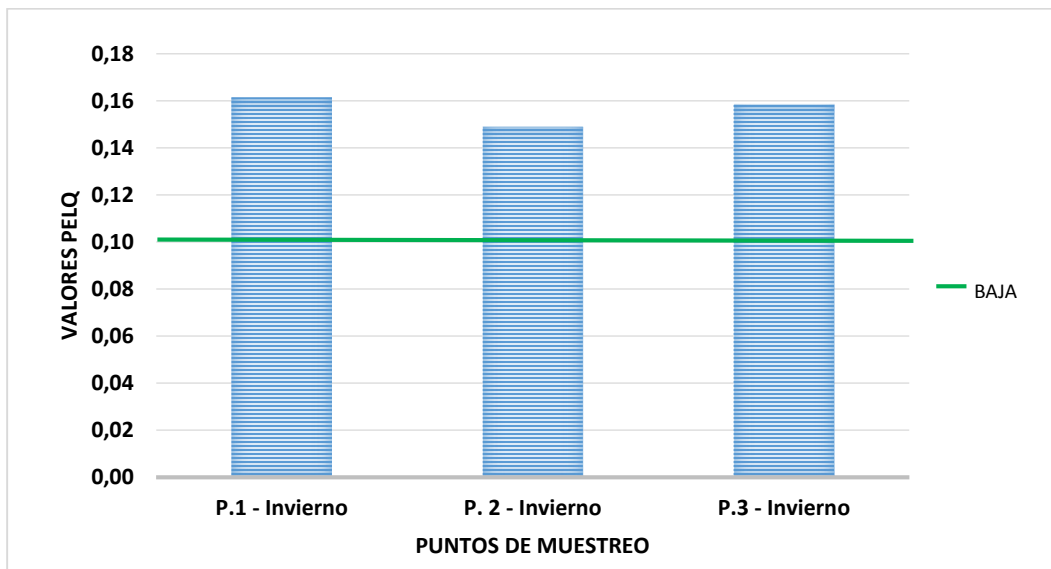


Figura 26. Índice de toxicidad PELQ para la época de invierno.

Fuente: Los Autores, 2018.

En la Figura 27 se presentan los valores del índice de toxicidad PELQ para la época de verano, aquí se evidencia que para los tres puntos de muestreo los valores de este índice son mayores a 0,1 y menores a 1,5, por lo tanto se establece con un nivel de prioridad medio-bajo y además presentan un porcentaje para generar efectos tóxicos a la biota de un 25 y 30%.

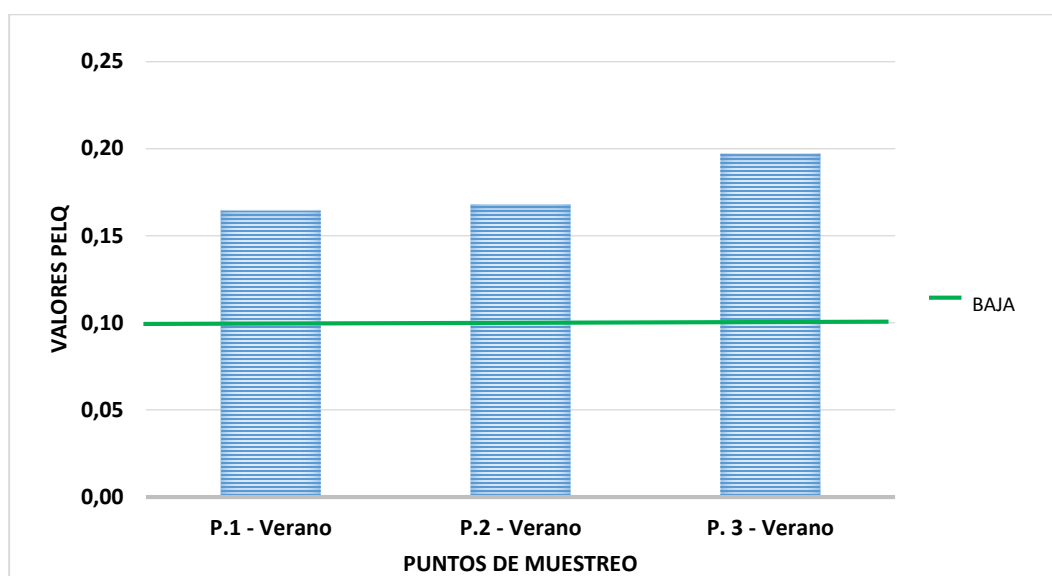


Figura 27. Índice de toxicidad PELQ para la época de verano.

Fuente: Los Autores, 2018.

Una vez hecho el análisis de todos los índices propuestos en la metodología, de manera global puede decirse que en la época de verano es en donde el río presenta las concentraciones de metales más altas, lo cual puede atribuirse a que la época de verano es un periodo de recarga en los sedimentos, debido a que las condiciones hidráulicas del río en esta época permiten que los metales presentes en la columna de agua, pasen a la matriz de sedimentos. En época de invierno estos metales son resuspendidos, quedando liberados en la columna de agua, lo que explica las menores concentraciones en esta época. Esta liberación de metales de los sedimentos a la columna de agua no es positiva para el ambiente aguas abajo del río y sus fuentes receptoras (río Calenturitas, río Cesar y la Ciénega de Zapatos), infiriéndose los mayores impactos por metales en el

complejo cenagoso de la Zapatosa, debido a que esta, por sus condiciones hidráulicas, actúa como reservorio de metales.

Los puntos de muestreo 1 y 3 de manera global, son los que presentan las concentraciones de metales más significativas, por lo que se puede inferir que en el río Maracas existen altos aportes de metales de origen litológicos, lo cual no quiere decir que no haya aportes de metales de tipo antropogénico. En cuanto a los metales analizados, el Zn, Pb, As y Cd son los que registran mayor incidencia en la contaminación, por ende representan mayor riesgo para la biota.

CONCLUSIONES

En el río Maracas predomina la fracción de sedimentos gruesos, siendo la arena el de mayor proporción con un porcentaje promedio 49,63% para la época de invierno y de 58,83% para la época de verano, y un porcentaje de sedimentos finos (limos y arcillas) de 11,62% para la época de invierno y 19,99% para la época de verano. A medida que se desciende en la cuenca el porcentaje de sedimentos finos aumenta.

El punto de muestreo 3 presenta los valores de pH, porcentaje de materia orgánica, porcentaje de limos y arcillas y coliformes totales más alto en las dos épocas de muestreo, siendo indicadores la materia orgánica y los coliformes totales de contaminación en este punto de muestreo.

La correlación de Pearson muestra correlación positiva altamente significativa entre los metales Cr, Ni y Fe. Los metales Al y Zn están altamente correlacionados de manera negativa, al igual que el Cd con el pH.

El ACP asocia de manera positiva las concentraciones de As y Pb, evidenciando un posible origen común de estos metales. Debido a que estos metales también se asociaron con la materia orgánica del sedimento, se infiere que el As y el Pb serían liberados con mayor facilidad cuando la materia orgánica presente en el sedimento se re-movilice.

Según los valores de concentraciones PEC ninguno de los metales analizados puede ocasionar efectos adversos en la biota presente en el ecosistema del río Maracas.

El Zinc es el único metal que posee una concentración superior a los valores TEC en los puntos de muestreo 2 y 3 para épocas de verano, aun así la probabilidad de que este metal genere efectos biológicos adversos en los organismos es muy baja.

Para el factor de contaminación todos los valores de los metales pesados analizados estuvieron dentro de las categorías de contaminación baja y moderada. Indicando que en términos generales el río Maracas posee un factor de contaminación bajo, es decir, que la contaminación en sus sedimentos de fondo superficiales no es de preocupar.

Solo para la época de verano en los puntos de muestreo 1 y 3, los valores de PLI superan el umbral de contaminación, con valores de 1,034 y 1,062 respectivamente, indicando que en estos dos puntos existe contaminación por metales, ya que estos superan las concentraciones de fondo, por lo que a estos puntos debe prestársele especial atención.

En cuanto al coeficiente de riesgo ecológico potencial solo el Cadmio en el punto de muestreo 1 para la época de verano presenta una contaminación de rango moderado. En el caso del índice de riesgo ecológico por puntos de muestreo en general puede decirse que es el punto 1 en ambas épocas y el punto de muestreo 2 en época de verano quienes presentan un riesgo ecológico moderado.

En el punto de muestreo 3 tanto para la época de invierno como la época de verano es donde se encuentran los mayores valores de enriquecimiento, siendo el plomo el metal más enriquecido. En términos generales puede decirse que los metales poseen un enriquecimiento menor. En la mayoría de los casos los metales presentan un enriquecimiento a medida que se desciende en la cuenca, sugiriendo que este enriquecimiento obedece a un origen antrópico.

Del índice de toxicidad ERMQ se obtiene que la mayoría de puntos de muestreo para las dos épocas (invierno y verano), tienen una probabilidad entre el 25 y 30% de ocasionar afectaciones a la biota presente en el ecosistema acuático del río Maracas. En el índice de toxicidad PELQ para todos los puntos de muestreo se tiene que hay una probabilidad del 25 y 30% de ocasionar daño a la biota. Ambos

indican sugieren que hay impactos en la biota debido a contribuciones antropogénicas sobre el medio acuático.

En términos generales, se afirma que en la época de verano es donde se presentan las concentraciones más elevadas, debido a que en esta época es en donde las concentraciones de metales aumentan en la matriz de sedimento gracias a las condiciones hidráulicas del río, haciendo que los metales presentes en la columna de agua se dirijan hacia los sedimentos. En la época de invierno los metales regresan a la columna de agua ya que estos son re suspendidos, disminuyendo la cantidad de concentraciones de metales en los sedimentos. Los puntos de muestreo 1 y 3 son quienes presentan los mayores valores en sus concentraciones, sugiriendo que existen aportes de metales de carácter litológico debido a que el punto de muestreo 1 presenta altas concentraciones siendo este el punto de menor intervención antropogénica por encontrarse en la parte alta de la cuenca.

RECOMENDACIONES

Realizar estudios a lo largo del río Maracas, en donde se contemple el análisis de muestras biológicas como macro invertebrado, micrófitos y peces, con el objeto de explorar la posible contaminación sobre la biota.

Realizar estudios sobre el riesgo ambiental por metales en el complejo cenagoso de la Zapatosa, debido a que esta actúa como último reservorio de los metales de origen antropogénicos y/o litológicos transportados por la mayoría de fuentes hídricas del centro y norte del departamento de Cesar, donde se incluyen los ríos Maracas, Túcuy, Calenturitas y el río Cesar.

Se recomienda la realización de estudios de extracción secuencial para definir los metales de origen litológico y no litológico, y conocer las fracciones a la que tienen mayor afinidad los metales presentes en el río Maracas.

Realizar convocatorias para la financiación de proyectos de investigación con el objetivo de realizar control ambiental en el río Maracas.

Los entes de control y la administración pública deben ejercer mayor control sobre las actividades agroindustriales y de minería que se realizan a lo largo del cauce del río Maracas.

BIBLIOGRAFIA

Bhuiyan, M., Parvez, L., Islam, M., Dampare, S., & Suzuki, S. (2010). Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. (173, Ed.) *Journal of Hazardous Materials*, 384-392.

Bradl, H. (2005). *Heavy Metals in the environment*. H.B. Bradl.

Cabrera, J. (2018). *Evaluación de la contaminación por metales pesados en sedimentos y suelos de la Reserva Biológica Limoncocha - Ecuador mediante índices de polucion (tesis de Maestria)*. Santander, España : Universidad de Cantabria.

Cáceres, L., Ramos, S., Valdez, R., Choque, R., Choque, S., Fernández, O., . . . Bhattacharya. (2013). Fractionation of heavy metals and assessment of contamination of the sediments of Lake Titicaca. *Environmental Monitoring and Assessment*, 9979–9994.

Carignan, R., & Tessier, A. (1988). The co-diagenesis of sulphur and iron in acid lake sediments of southwestern Quebec. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52, 1179-1188.

Chandrasekaran, A., Ravisankar, R., Harikrishnan, N., Satapathy, K., Prasad, M., & Kanagasabapathy, K. (2015). Multivariate statistical analysis of heavy metal concentration in soils of Yelagiri Hills, Tamilnadu, India-Spectroscopical approach. *The Journal of Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 137, 589-600.

Chen, Y., Hu, W., Huang, B., Weindorf, D., Rajan, N., Liu, X., & Niedermann, s. (2013). Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 324-330.

Cieslewicz, J., Kobierski, M., & Cichosz, M. (2017). Geochemical assessment of lake sediments in protected areas in Poland a search for reference condition. *Journal of Limnology*, 77(1), 35-45.

Consortio Calenturitas . (2016). *Formulación del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Río Calenturitas en el Departamento del Cesar, en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Cesar, incorporando el Componente de Gestión del Riesgo como Determinante Ambiental*. Bucaramanga : Corpocesar.

Contrera, J., Mendoza, C., & Gómez, A. (2004). Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del río Haina. *Ciencia y Sociedad* , 38-71.

Escobar, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar* . Santiago de Chile: Cepal.

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 Ciénega Grande de Santa Marta, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 7-23.

Espitia, N. (2014). Determinación de metales pesados en sedimentos superficiales en cuerpos de agua del canal del dique en las poblaciones de Gambote y Soplaviento (Bolívar) . *Revista del instituto de investigación RIIGEO*, 91 -100.

Florez, E. C. (2009). Impacto ambiental y social del vertimiento de residuos sólidos y escombros sobre la calidad del río Medellín y algunos de sus afluentes. *Bioética en la universidad*, 225-265.

Förstner, U., & Salomons, W. (1980). Trace metals analysis on polluted sediments. I. Assesment of sources and intensities. *Environment Technology Letters*, 494-505.

Förstner, U., & Wittmann, G. (1981). *Heavy metal pollution in the aquatic environment* (2nd ed.). Heidelberg, New York: Springer-Verlag. Berlin.

Gadd, G., & Griffiths, A. (1978). Microorganisms and heavy metal toxicity. *Microbial Ecology*, 303-317.

Hakanson, L. (1980). Ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *The Journal of Water Research*, 14, 975-1001.

Harikumar, P., Nasir, U., & Mejeeburahman, M. (2002). Distribution of heavy metals in the core sediments of a tropical wetland system. *The International Journal of Environmental Science and Technology*, 6, 225-232.

Hernández, C. R., Fernández, C., & Baptista, P. (1991). *Metodología de la investigación*. México: McGRAW - HILL.

Herrera, J., Rodríguez, J., Coto, J., Salgado, V., & Borbón, H. (2013). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. *Tecnología en Marcha*, 26(1), 27-36.

Illera, V., Walter, I., Souza, P., & Cala, R. (2000). Short-term effects of biosolid and municipal solid waste application on heavy metals distribution in a degraded soil under a semi-arid environment. *The Science of the Total Environment* 255, 29-44.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2015). *Tomo II: Deforestación y afectación de los ecosistemas por ocupación del territorio y actividades económicas*. Bogota: IDEAM.

Kennish, M. (1996). *Practical handbook of Estuarine and marine pollution*. New York: CRC Press.

Lide, D. (2008). *Handbook of Chemistry and Physics, Geophysics, Astronomy and Acoustics*. Boca Raton, FL: CRC Press.

Mac Donald, Ingersoll, C., & Berger, T. (2000). Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *The Journal of Archives of Environment Contamination Toxicology*, 39, 20-31.

Martinez Miren, P. A.-G.-R. (2015). Influence of anthropogenic inputs and a high-magnitude flood event on metal contamination pattern in surface bottom sediments from the Debra river urban catchment. *Open Archive Toulouse Archive Ouverte*.

Martino, M., Turner, A., Nimmo, M., & Millward, G. (2002). Resuspension, reactivity and recycling of trace metals in the Mersey Estuary. *UK. Mar. Chem.*, 77, 171-186.

Matagi, S., Swai, D., & Mugabe, R. (1998). A review of heavy metal removal mechanisms in wetlands. *Afr. J. Trop. Hydrobiol. Fish.*, 8, 23-35.

Moalla, S., Awadallah, R., Rashed, M., & Soltan, M. (1998). Distribution and chemical fractionation of some heavy metals in bottom sediments of Lake Nasser. *Hydrobiologia* 364, 31-40.

Montoya, L. (2013). *Efectos de las crecidas en el transporte de material particulado y contaminantes asociados: aplicación al caso del río Oka (Urdaibai), País Vasco (tesis de doctorado)*. Bilbao: Universidad del País Vasco.

Nelson, C., & Lamothe, P. (1993). Heavy metals anomalies in the Tinto and Odiel river and estuary system, Spain. *Estuaries* 16, 496-511. doi:10.2307/1352597

Norrish, K. (1975). The geochemistry and mineralogy of trace elements. *Trace Elements in Soil-Plant-Animal System*, 55-82.

Parra, J., & Espinoza, L. (2008). Distribución de metales pesados (Pb, Cd y Zn) en perfiles de sedimentos asociados a Rhizophora Mangle en el río Sevilla - Ciénega Grande de Santa Marta, Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 95-110.

Planas Martín, M. (2010). *Estudio sobre metales pesados en la cuenca del Jequetepeque, Perú*. Barcelona : universitat politècnica de Catalunya .

Rieuwerts, J., Farago, M., Cikrt, M., & Bencko, V. (1998). Differences in lead bioavailability between a smelting and a mining area. *Water Air and Soil Poll*, 122((1-2)), 203-229.

Rocha, C. (2000). *Principios Básicos de Espectroscopía*. Chihuahua: Editorial UACH.

Rodriguez, R. (2001). *Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Trabajo de grado*. Barcelona, España: Universidad Politècnica de Catalunya. Departamento de Ingeniería Minera y Recursos Naturales.

Rosas, H. (2001). *Estudio de la Contaminación de Metales Pesados en la Cuenca del Llobregat*. Barcelona: Universidad Politècnica de Catalunya.

Sakan, S., Dordevic, D., Manojlovic, D., & Predrag, P. (2009). Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza river sediments. *Journal of Environmental Management*, 90(11), 3382-3390.

Salomons, W. (1995). Environmental impact of metals derived from mining activities: processes, predictions, prevention. *Journal Geochemical Exploration* 52, 5-23.

Simex, S., & Helz, G. (1981). Regional geochemistry of trace elements in Chesapeake Bay. *Environmental Geology*, 3, 315 - 323.

Song, J., Yang, X., Zhang, J., Long, Y., Zhang, Y., & Zhan, T. (2015). Assessing variability of heavy metal concentrations in liquid-solid two-phase and related environmental risks in the Weihe River of Shaanxi Province, China. *The International Journal Environmental Research Public Health*, 12, 8243-8262.

Tejeda, L., & Olivero, J. (2016). *Perfil toxicológico de los sedimentos del río Magdalena usando como modelo biológico Caenorhabditis Elegans*. Sevilla: Universidad internacional de andalucía.

Valdés, J., Guiñez, M., Castillo, A., & Vega, S. E. (2014). Contenido de Cu, Pb y Zn en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge (norte de Chile): Acumulación y biotransferencia en sistemas costeros submareales. *Scielo*, 40(1). doi:10.7773/cm.v40i1.2318


Varol, M. (2011). Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques. *Journal of Hazardous Materials*, 195, 355-364.

Vicente, M. ,. (2010). *Biodisponibilidad de metales pesados en dos ecosistemas acuáticos de la costa suratlántica Andaluza afectados por contaminación difusa*. Andalucía: Universidad de cádiz.

Violintzis, C., Arditsoglou, A., & Voutsas, D. (2009). Elemental composition of suspended particulate matter and sediments in the coastal environment of Thermaikos Bay, Greece: Delineating the impact of inland waters and wastewaters. *Journal of Hazardous Materials*, 166, 1250-1260.

ANEXOS

- Informe de resultado del análisis de concentraciones de metales presentes en los sedimentos de fondo superficiales del río Maracas por parte del Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental de la Universidad de Córdoba.

	INFORME DE RESULTADOS LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL	CÓDIGO: FLTX-002 VERSIÓN: 01 EMISIÓN: 01/06/2017 PÁGINA 1 de 1
---	---	--

Cons. N°: 18-177

CLIENTE: Universidad Popular del Cesar	SOLICITADO POR: Luis Montoya
CONVENIO/PROYECTO: -	
TIPO DE MUESTRA: Sedimentos y material en suspensión	
TOTAL MUESTRAS: 31	
RESPONSABLES DE MUESTREO: CLIENTE	
RECEPCIÓN EN LABORATORIO: S.B.	
FECHA DE MUESTREO: N.A.	RESPONSABLES DE ANALISIS: I.U.
FECHA RECEPCIÓN MUESTRAS:	18/07/2018
METODO DE ANALISIS: Método de digestión EPA3051A. Pb, Cd: GFAAS; As: HGAAS; Cu, Zn, Ni, Fe, Al, Cr: FLAAS	

SEDIMENTOS										
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	Pb	Cd	As	Cu	Zn	Ni	Fe	Al	Cr
		(LDM: 80)	(LDM:25)	(LDM: 80)	(LDM:15)	(LDM:8)	(LDM:10)	(LDM:25)	(LDM: 400)	(LDM:10)
		µg/kg			mg/kg					
TX-180718-01	Río Tucuy - 24/11/2017 - Invierno - P1	10534,54	376,09	6048,69	34,68	160,69	29,78	25803,00	7484,29	20,24
TX-180718-02	Río Tucuy - 24/11/2017 - Invierno - P2	7756,37	46,23	4858,57	34,09	241,51	27,80	19065,46	5205,58	11,51
TX-180718-03	Río Tucuy - 24/11/2017 - Invierno - P3	4787,94	42,23	3640,64	20,69	88,72	15,18	16607,81	3990,31	10,55
TX-180718-04	Río Tucuy - 16/03/2018 - Verano - P1	12267,03	805,59	3682,88	34,93	134,96	22,54	28107,67	8225,58	16,07
TX-180718-05	Río Tucuy - 16/03/2018 - Verano - P2	7672,30	41,88	4063,59	33,42	155,80	25,52	21013,74	6060,63	13,37
TX-180718-06	Río Tucuy - 16/03/2018 - Verano - P2	10120,60	35,62	4968,60	27,71	137,47	18,70	19288,23	6015,73	12,60
TX-180718-07	Río Maracas - 25/11/2017 - Invierno - P1	5386,70	124,95	3943,93	22,50	84,98	14,94	19464,27	7681,49	13,92
TX-180718-08	Río Maracas - 25/11/2017 - Invierno - P2	6870,48	38,31	4202,43	16,00	106,59	11,45	14112,00	5433,02	<10
TX-180718-09	Río Maracas - 25/11/2017 - Invierno - P3	9437,09	34,22	3922,05	19,30	106,13	12,23	15474,84	5612,25	10,60
TX-180718-10	Río Maracas - 17/03/2018 - Verano - P1	6924,46	208,55	3404,11	19,32	80,77	16,68	19178,53	7635,46	14,45
TX-180718-11	Río Maracas - 17/03/2018 - Verano - P2	8173,08	160,21	3296,08	<15	148,33	10,09	12844,76	4291,93	<10
TX-180718-12	Río Maracas - 17/03/2018 - Verano - P3	14737,10	70,29	4405,80	<15	131,37	17,70	19266,88	3687,95	13,91
TX-180718-13	Río Calenturitas - 26/11/2017 - Invierno - P1	10639,34	86,66	4522,11	45,02	142,70	22,21	20292,48	2121,64	13,94



INFORME DE RESULTADOS

LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL


CÓDIGO:
FLTX-002
VERSIÓN: 01
EMISIÓN:
01/06/2017
PÁGINA
1 de 1

Cons. N°: 18-177

CLIENTE: Universidad Popular del Cesar	SOLICITADO POR: Luis Montoya
CONVENIO/PROYECTO: -	
TIPO DE MUESTRA: Sedimentos y material en suspensión	
TOTAL MUESTRAS: 31	
RESPONSABLES DE MUESTREO: CLIENTE	RECEPCION EN LABORATORIO: S.B.
FECHA DE MUESTREO: N.A.	RESPONSABLES DE ANALISIS: I.U.
FECHA RECEPCION MUESTRAS:	18/07/2018
METODO DE ANALISIS: Método de digestión EPA3051A. Pb, Cd: GFAAS; As:HGAAS; Cu, Zn, Ni, Fe, Al, Cr: FLAAS	

SEDIMENTOS										
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	Pb (LDM: 80)	Cd (LDM:25)	As (LDM: 80)	Cu (LDM:15)	Zn (LDM:8)	Ni (LDM:10)	Fe (LDM:25)	Al (LDM: 400)	Cr (LDM:10)
		µg/kg		mg/kg						
TX-180718-14	Río Calenturitas - 26/11/2017 - Invierno - P2	7830,74	104,43	6485,38	34,84	190,50	23,08	24729,39	2016,78	16,60
TX-180718-15	Río Calenturitas - 26/11/2017 - Invierno - P3	14338,00	54,77	7346,62	40,82	135,41	30,55	31782,43	4906,96	19,72
TX-180718-16	Río Calenturitas - 18/03/2018 - Verano - P1	7339,59	44,63	5431,94	31,17	140,13	18,72	21064,32	1273,15	14,60
TX-180718-17	Río Calenturitas - 18/03/2018 - Verano - P2	8760,95	47,42	5185,30	34,53	152,93	27,39	22694,11	1816,02	15,44
TX-180718-18	Río Calenturitas - 18/03/2018 - Verano - P3	13876,65	45,54	5619,64	25,67	141,68	23,22	25937,56	1272,42	17,01
TX-180718-19	Río Sororia - 08/04/2018 - Verano - P1	14510,21	<25	5599,89	38,94	103,62	<10	25519,46	955,09	12,48
TX-180718-20	Río Sororia - 08/04/2018 - Verano - P2	11086,36	<25	5507,34	39,54	143,36	11,25	21141,78	897,66	14,79
TX-180718-21	Río Sororia - 20/05/2018 - Invierno - P1	11866,17	<25	6735,74	30,50	60,73	10,41	16842,07	320,84	12,76
TX-180718-22	Río Sororia - 20/05/2018 - Invierno - P2	12555,56	<25	5627,71	18,82	86,35	11,61	19561,23	1382,78	12,37

2. Informe de resultado del análisis de microbiológico en sedimentos (coliformes totales) época de invierno.

	FORMATO ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO	VIGENCIA	
		14 - 01 - 17	
		VERSION: 1	PAG: 2

REPORTE DE ENSAYO
No 1337-2

ODS No.	1337-2
Códigos:	1117-1337-2

I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

CLIENTE:	Gustavo Quintero y Efrain Mejía			NIT/C.C.	N.I.
CONTACTO/CARGO:	Gustavo Quintero y Efrain Mejía		DIRECCIÓN:	Becerril	
DEPARTAMENTO:	Cesar	MUNICIPIO:	Becerril	TELÉFONO:	NI

II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

CÓDIGO	NATURALEZA DE LA MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	LUGAR DE MUESTREO	MUESTRA TOMADA POR		
				Fecha de Muestreo	Laboratorio	
1117-1337-2	SUELO	SEDIMENTO	RIO MARACAS BECERRIL	2017-11-25	HORA:	08:00 am
				2017-11-25	HORA:	04:25 pm
				2017-11-25		
				2017-12-06		
				2017-12-06		

N.A. No aplica

N.I. Información no suministrada

III. RESULTADOS

FÍSICO-QUÍMICOS

MICROBIOLÓGICOS


ENSAYO	METODO DE REFERENCIA	UNIDAD	VALOR DE REFERENCIA	RESULTADOS		
				1117-1337-2 P1	1117-1337-2 P2	1117-1337-2 P3
Coliformes totales	NPM/g	NPM/g	-	5x10 ⁴	9x10 ⁵	22x10 ⁵

Nota: Los resultados sólo están relacionados con las muestras analizadas. Es válido únicamente con firmas y en original. Este informe de resultados no deberá reproducirse parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio. LABORATORIOS BIOINDALAMAB se compromete a mantener la confidencialidad de los resultados de los ensayos.


PEDRO JOSÉ FRAGOSO C.
 BACTERIOLOGO MSC, PhD
 TP: 507-02
PEDRO JOSE FRAGOSO C.
 Bacteriólogo MSc. Ciencia y Tecnología de Alimentos

Dirección calle 8ª N 22-80 Valledupar. TEL.5700657, CEL. 3166954067. www.bioindalamb.com
 E - mail. pedrojosefragoso@gmail.com, bioindallab@gmail.com

3. Informe de resultado del análisis de microbiológico en sedimentos (coliformes totales) época de verano.

	FORMATO ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO	VIGENCIA	
		14 - 01 - 17	
		VERSION: 1	PAG: 2

REPORTE DE ENSAYO
No 1403-2

ODS No.	1403-2
Códigos:	0318-1403-2

I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

CLIENTE:	Gustavo Quintero y Efraín Mejía			NIT/C.C.	N.I.
CONTACTO/CARGO:	Gustavo Quintero y Efraín Mejía	DIRECCIÓN:	Becerril		
DEPARTAMENTO:	Cesar	MUNICIPIO:	Becerril	TELÉFONO:	NI

II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

CÓDIGO	NATURALEZA DE LA MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	LUGAR DE MUESTREO	MUESTRA TOMADA POR		Laboratorio	
				FECHA DE MUESTREO	HORA	FECHA DE INGRESO MUESTRA	HORA
0318-1403-2	SUELO	SEDIMENTO	RIO MARACAS BECERRIL	2018-03-17	08:00 am	2018-03-17	04:25 pm
				2018-03-17		2018-03-17	
						2018-03-25	
						2018-03-25	

N.A. No aplica

N.I. Información no suministrada

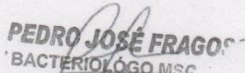
III. RESULTADOS

FISICO-QUÍMICOS

MICROBIOLÓGICOS

ENSAYO	METODO DE REFERENCIA	UNIDAD	VALOR DE REFERENCIA	RESULTADOS		
				0318-1403-2 P1	0318-1403-2 P2	0318-1403-2 P3
Coliformes totales	NPM/g	NPM/g	No aplica	11x10 ⁴	20x10 ⁴	50x10 ⁴

Nota: Los resultados sólo están relacionados con las muestras analizadas. Es válido únicamente con firmas y en original. Este informe de resultados no deberá reproducirse parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio. LABORATORIOS BIOINDALAMAB se compromete a mantener la confidencialidad de los resultados de los ensayos.


PEDRO JOSÉ FRAGO
 BACTERIOLOGO MSc
 TP: 507-00

PEDRO JOSE FRAGOSO C.
 Bacteriólogo MSc. Ciencia y Tecnología de Alimentos

Dirección calle 8ª N 22-80 Valledupar. TEL. 5700657, CEL. 3166954067. www.bioindalamb.com
 E - mail. pedrojosefrago@gmail.com, bioindallab@gmail.com