

**EVALUACION DEL RIESGO AMBIENTAL ASOCIADO A METALES EN LOS
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN DE LOS RÍOS TUCUY, MARACAS Y
CALENTURITAS EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR**

**MARIA CRISTHINA ARENGAS OROZCO
LUIS ALBERTO RAMIREZ BOSCAN**

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

2019

**EVALUACION DEL RIESGO AMBIENTAL ASOCIADO A METALES EN LOS
SOLIDOS EN SUSPENSIÓN DE LOS RIOS TUCUY, MARACAS Y
CALENTURITAS EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR**

**MARIA CRISTHINA ARENGAS OROZCO
LUIS ALBERTO RAMIREZ BOSCAN**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO
AMBIENTAL Y SANITARIO**

**DIRECTOR
LUIS HERNANDO MONTOYA ARMENTA**

**CO-DIRECTOR
ALEANA BEATRIZ CAHUANA MOJICA**

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

2019

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a Dios, por ser mi guía y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad. Agradezco a toda mi familia, en especial a mis padres, Elbert Arengas y Viviana Orozco por ser los principales promotores de mis sueños, por los consejos, valores y principios que me han inculcado para ser la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Mis hermanos Elbert Leonardo y Juan José, por apoyarme en las buenas y malas como solo ellos lo hacen. A Javier Forero por su incondicional amor y apoyo en todo este proceso. Gracias por ser mi motivación en todo lo que hago, los amo.

Gracias a la universidad popular del Cesar, por el apoyo y prestación de sus instalaciones para el desarrollo de la investigación, por la oportunidad de conocer a grandes amigos, gracias a mi compañero de proyecto Luis Ramírez, al Laboratorio de Toxicología Ambiental de la Universidad de Córdoba por su aporte, que fue muy importante para realización este proyecto.

De igual forma, agradezco a mi director de proyecto el ingeniero Luis Montoya, que gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo. A los Profesores que me han visto crecer como persona, y gracias a sus conocimientos hoy puedo sentirme dichosa y contenta.

MARIA CRISTHINA ARENGAS OROZCO

AGRADECIMIENTOS

Principalmente quiero agradecerle a Dios, porque me ha dado la sabiduría y la fortaleza para poder alcanzar este objetivo, a todos mis familiares que estuvieron ahí acompañándome en los momentos tristes y alegres, llenándome de mucha fortaleza para no de caer, a mis amigos, compañeros y docentes de la universidad que fueron fundamentales en mi crecimiento personal y profesional.

Agradecerle a mi prima Johana Olivares y a su esposo Edimir Fonseca por creer en mis capacidades y apoyarme siempre, me acogieron como un hijo más desde el primer día que llegué a su casa con la ilusión de cursar y culminar mis estudios profesionales, gracias a ellos pude cumplir este sueño.

Agradecerle al Dr. Luis Montoya, por su paciencia, tiempo, dedicación y direccionamiento que hicieron posible la realización de este proyecto. Agradecerle A la universidad popular del Cesar por la prestación de sus instalaciones para el buen desarrollo del proyecto y al Laboratorio de Toxicología Ambiental de la Universidad de Córdoba.

Agradecerle a mi compañera de proyecto María Cristhina Arengas por su entrega y dedicación al proyecto, también por su apoyo en estos cinco años de estudios.

LUIS ALBERTO RAMIREZ BOSCAN

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	11
2. JUSTIFICACION.....	12
3. OBJETIVOS.....	14
3.1 OBJETIVO GENERAL	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4. MARCO REFERENCIAL.....	15
4.1 ANTECEDENTES	15
4.2 MARCO TEORICO.....	19
4.2.1 Contaminación del agua	19
4.2.2. Metales	19
4.2.3 Metales tóxicos	20
4.2.4 Procedencia de la contaminación con metales tóxicos.....	21
4.2.5 Los metales pesados y los efectos en la salud y el ambiente.....	21
4.2.6 Solidos	22
4.2.7 Solidos en suspensión	22
4.2.8 Implicaciones de los sólidos suspendidos en el agua.....	23
4.3 MARCO CONCEPTUAL.....	25
4.4 MARCO CONTEXTUAL.....	27
4.5 MARCO LEGAL	28
5. MARCO METODOLOGICO	29
5.1 TIPO DE INVESTIGACION	29
5.2 POBLACION	30

5.3 DESARROLLO METODOLOGICO	30
5.3.1. Trabajo de campo	30
5.3.2. Trabajo de laboratorio.....	33
5.3.3. Tratamiento de datos	34
5.4 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	37
6. ANALISIS Y RESULTADOS	38
6.1. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS	38
6.2. CONCENTRACIÓN DE METALES PRESENTES EN LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS	44
6.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	51
6.3.1 Correlación de Pearson	51
6.3.2 Análisis de componentes principales (ACP)	54
6.4 ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	58
6.4.1 Factor de enriquecimiento (FE)	58
6.4.2 Índice de carga contaminante.....	59
6.4.3 Índice de riesgo ecológico potencial.	60
6.4.4 Índices de toxicidad ERMQ y PELQ.	61
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES.....	66
BIBLIOGRAFÍA.....	67
ANEXOS.....	70

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores de referencia en ($\mu\text{g g}^{-1}$) de los índices ERM.	36
Tabla 2. Características fisicoquímicas de los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas.	38
Tabla 3. Concentración de metales en sólidos suspendidos.	44
Tabla 4. Correlación entre los parámetros analizados en el periodo de invierno. .	53
Tabla 5. Varianza total explicada de los parámetros analizados en solidos suspendidos y agua para el periodo de invierno.	54
Tabla 6. Matriz de componentes rotados de los parámetros analizados en solidos suspendidos y agua para el periodo de invierno.	55
Tabla 7. Factor de enriquecimiento.	59
Tabla 8. Índices de cargas contaminantes.	60
Tabla 9. Índice de Riesgo Ecológico Potencial.	61
Tabla 10. Índices de toxicidad ERMQ y PELQ.	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación Geográfica de los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas.	27
Figura 2. Análisis de componentes principales basado en las correlaciones entre los factores I y II.	56
Figura 3. Análisis de componentes principales basado en las correlaciones entre los factores I y III.	57

INTRODUCCIÓN

Los problemas por contaminación en los que se encuentran inmersas muchas de las fuentes hídricas del país han generado que muchos investigadores se dediquen a la búsqueda de soluciones encaminadas a preservación y sostenimiento de este recurso. Esta contaminación es generada por una gran familia de contaminantes dentro de lo que encontramos de tipo microbiológico, químicos y físicos. Los contaminantes químicos son una de las mayores amenazas a la que se ven expuestos los cuerpos de agua, debido a su potencial toxicidad como es el caso de los metales pesados, los cuales si se presentan en unas concentraciones elevadas pueden hasta llegar a ser letales para el hombre.

Los cauces de los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas no son ajenos a esta problemática, dentro del área de estas cuencas se pueden observar una serie de sistemas productivos (agrícola, ganadería, minería), los cuales ha sido documentados por diversos autores como fuentes potenciales de contaminantes tipo químicos como los metales pesados (Montoya, 2013); Debido a las características de estos metales, como la afinidad con los sólidos presentes en los cauces de los ríos (sedimentos y sólidos en suspensión), llegar a la determinación no es tan complicado, siempre y cuando se cumplan unos lineamientos en el muestreo.

Una vez identificadas las concentraciones de estos metales se puede llegar a determinación el riesgo ambiental que representan estos, utilizando indicadores tales como concentración de efecto límite, concentración de efecto probable, índice de cargas contaminantes, factor de contaminación, índice de riesgo ecológico potencial, factor de enriquecimiento y el índice de toxicidad ERMQ, los cuales relacionan las concentración con una serie de factores y actores dentro y fuera de los ecosistemas acuáticos de dichos cauces.

Un estudio para la determinación del riesgo ambiental asociado a los metales pesados en los sólidos en suspensión de una columna de agua en específico, es una herramienta fundamental para una correcta gestión del recurso hídrico, además la identificación y valoración puede ser vista como el génesis de diversas investigaciones, las cuales busquen mitigar impactos asociados a estos metales, los cuales vayan a favor de la preservación y sostenimientos de las condiciones ambientales y de la salud pública.

1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

Cuando los ríos u otros cursos de agua reciben descargas de aguas servidas urbanas o efluentes de origen industrial, inicia el problema de contaminación o degradación de la calidad del cuerpo receptor, es decir, disminuye la calidad del curso agua, la hace menos útil y modifica su condición de elemento beneficioso para la salud, convirtiéndola en factor de amenaza para la misma. Teniendo en cuenta que la contaminación de los cauces superficiales tiene su principal origen en las descargas directas de residuos industriales líquidos y de aguas servidas domésticas sin previo tratamiento, también influyen en éstas las descargas difusas derivadas de actividades agrícolas o forestales, que llegan a las masas o corrientes de aguas superficiales (Consortio Calenturitas, 2016).

La contaminación en los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas producto del vertimiento se refleja en puntos, como el tramo que atraviesa el municipio de El Paso, que registra concentraciones de grasas y aceites por encima de los 5 mg/L, generando un potencial de perturbación de los procesos fotosintéticos; en el tramo que atraviesa el municipio de La Jagua de Ibirico se registran concentraciones de DQO superiores a 12 mg/L mostrando indicios de acumulación de materia inorgánica (Consortio Calenturitas, 2016).

Con base en estudios realizados en diferentes puntos de los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas se pudo determinar que las cargas contaminantes más notorias es la de los sólidos suspendidos totales (SST), con procedencia de la actividad minera, esto quiere decir que en los sólidos en suspensión encontrados en los afluentes son donde se radica el mayor grado de contaminación, el cual puede ser debido a la característica de estos. Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado y que el municipio de Becerril hace su captación para el agua de consumo del casco urbano municipal, surge la necesidad de analizar de una manera más profunda las características de los SST para verificar si estos contienen elementos que puedan afectar al ser humano.

2. JUSTIFICACION

Conservar y preservar las fuentes hídricas es de suma importancia debido a que son fundamentales para la estabilidad del ecosistema y por ende para la subsistencia del ser humanos, pero la intervención del hombre sobre estos afluentes puede llegar generar afectaciones directas e indirectas, es por esto que la realización de estudios e investigaciones sobre las fuentes hídricas son necesarias para realizar un análisis general sobre el estado de cada una de estas.

Debido a lo anterior, los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas por estar ubicados en zonas de influencia minera y agrícola, pueden estar expuestos a ser contaminados por diferentes tipos de residuos (metales, xantatos, ditiofosfato, amilxantato potásico, entre otros) derivado de las actividades presente en la zona; de igual manera los vertimientos son otras fuentes de contaminación que por las características químicas y físicas de estas aguas vertidas también pueden llegar a ocasionar afectaciones en los ríos. Debido a lo anteriormente mencionado, es sumamente necesario realizar un estudio por el cual se pueda analizar y evaluar el riesgo ambiental que estos contaminantes puedan ocasionar en afluentes y por ende, en la salud humana. En el caso particular del río Maracas que es utilizado como fuente de captación para el abastecimiento de agua potable del municipio de Becerril, cuyo sistema de acueducto no presenta un tratamiento, ya que, al parecer por dificultades administrativas y económicas, no se cuenta con los elementos para el tratamiento físico ni bacteriológico (Esquema de ordenamiento Territorial, 2010), en vista de que no se le da un tratamiento a adecuado a estas aguas que probablemente puedan contener algunos elementos como metales que se pueden encontrar en los sólidos en suspensión. Algunos metales son asimilables por el cuerpo humano debido a que no son peligrosos, pero otros como los metales pesados en concentraciones notorias tienden hacer peligrosos.

La peligrosidad de los metales pesados reside en que no pueden ser degradados (ni química, ni biológicamente) y, además, tienden a bioacumularse y a biomagnificarse (se acumulan en los organismos vivos alcanzando concentraciones mayores que la que alcanzan en los alimentos o medioambiente, y que estas concentraciones aumentan a medida que se asciende en la cadena trófica), provocando efectos tóxicos de muy diverso carácter. En el ser humano se han detectado infinidad de efectos físicos (dolores crónicos, problemas sanguíneos) y efectos psíquicos (Calidad y Evaluación Ambiental , s.f.).

De esta forma, la evaluación del riesgo ambiental asociado a metales en sólidos en suspensión es una investigación que se requiere hacer en los ríos Tucuy, Maracas y Calenturita en vista de la importancia que tienen estos para el centro del departamento del Cesar.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el riesgo ambiental asociado a metales en los sólidos en suspensión de los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas en el departamento del Cesar.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características fisicoquímicas básicas en cuenca alta, cuenca media y baja de los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas en el departamento del Cesar.
- Estudiar la concentración de metales (aluminio, arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, níquel, plomo y zinc) presentes en los sólidos en suspensión para los tramos seleccionados.
- Evaluar el riesgo ambiental asociado a la concentración de metales en los sólidos en suspensión mediante diferentes índices (índice de cargas contaminantes, índice de riesgo ecológico potencial, factor de enriquecimiento y los índices de toxicidad ERMQ y PELQ).

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES

Sánchez, R., León, S., Saravia A, De Mena C. (2009). Determinación de la concentración de solidos suspendidos totales (SST) y metales pesados en la cuenca del río Morote, Nicoya, Guanacaste. En este estudio se determinó la concentración de solidos suspendidos totales y metales pesados en la cuenca del río Morote. El estudio abarco seis campañas de muestreo entre abril del 2003 y mayo del 2005. Los puntos de muestreos seleccionados corresponden a lugares desde la cuenca alta hasta la desembocadura del río Morote en el Golfo de Nicoya. La concentración de sólidos suspendidos totales (SST) en la desembocadura durante la época lluviosa en promedio superó los 200 mg/L. En los sedimentos del lecho del río se encontró enriquecimiento de metales como Cu, Ni, Cd y Fe, no así en Pb. En cuanto al Zn, en la época seca la concentración estuvo cerca del valor límite (200 mg/kg) establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés).

Montoya, L. H. (2013). Efectos de las crecidas en el transporte de material particulado y contaminantes asociados: aplicación al caso del río Oka (Urdanivia), 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 énfasis en la determinación del riesgo ambiental de estos metales presentes en los sedimentos de fondo y en los sólidos en suspensión, a partir del uso de indicadores como el factor de enriquecimiento, el índice de carga contaminante (PLI) y los índices de toxicidad ERMQ y PELQ.

Ortiz L, Delgado J, Pardo D, Murillo E, Guio A. (2015). Determinación de metales pesados e índices de calidad en aguas y sedimentos del río Magdalena – tramo Tolima, Colombia. Este trabajo centró su interés en evaluar en época lluviosa y en período seco la concentración de elementos mayores (Na, K, Ca, Mg) y de metales pesados (Cd, Cr, Pb, Hg), en las aguas y sedimentos del río Magdalena, considerado como la más importante arteria fluvial de Colombia. La cuantificación de estas entidades químicas se realizó a través de espectroscopia de absorción atómica. Un análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas sirvió para reconocer la presencia de pesticidas organoclorados en dichas matrices del río, en su paso por los municipios de Purificación, Flandes, Ambalema y Honda, considerados como de mayor importancia pesquera en el departamento del Tolima. Se encontró que los atributos de calidad y contaminación del agua en todos los puntos muestreados evidenciaron un agua poco recomendable para el consumo humano, al plomo como el mayor contaminante de éstas, al índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) como el indicador de contaminación de mayor relevancia en Flandes, Ambalema y Honda. Los sedimentos del río deben ser tenidos en cuenta como grandes reservorios de información de la calidad del cuerpo de agua. Esta investigación se convierte en un punto de apoyo importante para posteriores estudios sobre monitoreo, biorremediación y toma de medidas integrales para la protección ambiental del río Magdalena.

Colmenares H, Torres V. (2012). Evaluación de contaminación en agua, suelo y sedimentos, asociada a plomo y cadmio en la subcuenca embalse de la muña, río Bogotá. El presente proyecto se desarrolló con el objetivo de evaluar la contaminación a través de la identificación y evaluación de los impactos ambientales, asociados a los metales cadmio y plomo con relación a los parámetros fisicoquímicos de calidad de agua, sedimento y suelo, su dinámica fisicoquímica y las actividades antrópicas. Monitoreos realizados en la subcuenca embalse del Muña por las autoridades ambientales regionales evidencian la presencia de trazas

de los metales cadmio y plomo en el recurso agua; la dinámica química y la movilidad de estos metales entre los recursos agua y suelo es influenciada por las condiciones climáticas, la dinámica hídrica del sistema embalse del Muña - río Bogotá y los aportes en la subcuenca y aguas arriba de sustancias químicas generadas por la actividad humana. Se plantean soluciones alternativas que permitan prevenir y mitigar los impactos ambientales que afectan el recurso agua, sedimento y suelo, en relación con el manejo del uso de los recursos en las diferentes actividades antrópicas. En la subcuenca se presenta participación activa de la comunidad, entidades territoriales, asociaciones y empresas, sin embargo, precisa de acciones con mayor eficiencia y eficacia para el mejoramiento de la calidad de los recursos ambientales en la subcuenca. Existen riesgos a largo plazo de movilidad de estos metales de un recurso a otro, la dinámica de estos contaminantes se presenta por tiempo prolongado con variaciones de las concentraciones influenciadas por el comportamiento climático, uso de los recursos, los vertimientos propios y aguas arriba de la subcuenca.

Bonnail E, Sarmiento A, Nieto J, Delvalls T. (2015). Caracterización del Riesgo Ecológico Asociado a Metales en Sedimentos de la Cuenca del Río Odiel a Través de Índices Teóricos. Alrededor del 40% de la cuenca del río Odiel (Huelva) se encuentra afectada por drenaje ácido de mina (AMD) (Sarmiento et al., 2009). El AMD es un lixiviado ácido procedente de la oxidación de sulfuros polimetálicos y que se caracteriza por un bajo pH y una elevada carga metálica en disolución. Esta contaminación fluye a través de pequeños arroyos hasta la red fluvial del río Odiel, afectando no solo las aguas superficiales sino también los sedimentos en mayor o menor medida, hasta alcanzar el estuario de Huelva. Varios estudios han caracterizado la polución metálica de las aguas superficiales de la cuenca del Odiel, así como su comportamiento hidroquímico (Cánovas et al., 2007; Sarmiento et al., 2009). Para sedimentos fluviales afectados por minería no existen guías de calidad. Para la evaluación de la calidad de sedimento (Sediment Quality Guidelines, SQG), se sigue el esquema de la triada propuesto por Long & Champan. El objetivo de

este estudio es realizar una caracterización del riesgo ecológico asociado a los niveles de polución de sedimentos de la cuenca del río Odiel a través de índices teóricos de riesgo ecológico, usando como bases de toxicidad valores generales propuestos por otros autores.

4.2 MARCO TEORICO

4.2.1 Contaminación del agua

Los problemas de contaminación de las aguas tienen su origen en la Revolución Industrial, y con un rápido aumento de la población mundial (Dekov et al., 1998). La industrialización condujo a una urbanización muy localizada creando problemas en la calidad y en la cantidad del agua (Förstner et al., 1990; Vink et al., 1999). El hombre abandonó el campo para trabajar en las nuevas fábricas alrededor de las cuales se crearon grandes ciudades densamente pobladas. El primer suceso para los problemas de la calidad del agua, se presentó con motivo de la contaminación fecal y orgánica por la falta de tratamiento de aguas residuales en zonas de alta densidad poblacional.

4.2.2. Metales

Por lo general se define a los metales como elementos sólidos que comparten ciertas propiedades físicas, químicas y mecánicas que los distinguen. Además del brillo, la maleabilidad, ductilidad, dureza, tenacidad y elasticidad, son buenos conductores de calor y electricidad y tienen una elevada capacidad de reflexión de la luz (Banco de la Republica, 2010).

Estas características se deben a que poseen una estructura interna cristalina con átomos dispuestos y enlazados de manera ordenada y específica, distribuidos en planos que permiten el deslizamiento de los átomos cuando se produce algún tipo de fuerza sobre ellos. La posibilidad de deslizamiento es la que permite la maleabilidad. Adicionalmente, su conductividad eléctrica se debe también a su estructura atómica: tienen un núcleo con carga positiva y electrones con carga negativa en movimiento alrededor, lo que permite la transmisión de calor y electricidad (Banco de la Republica, 2010).

4.2.3 Metales tóxicos

Son considerados elementos potencialmente tóxicos (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, Zn, otros). Su aporte natural al ciclo hidrológico procede tanto de fuentes de origen litogénico o geoquímico a partir de los minerales que, por causas de erosión o lluvias, son arrastradas al agua. De hecho, se ha determinado que la concentración de metales traza en el agua y el sedimento de los ríos son generalmente controladas por la abundancia de metales en las rocas y los suelos de la cuenca y su movilidad geoquímica (Blake, et al., 2003) (Vivian y Massie, 1977). Sin embargo, en la actualidad un gran aporte de metales al medio se realiza antropogénicamente. Actividades como el vertido de todo tipo de residuos, los procesos industriales y la minería, se han convertido en fuentes de contaminación, incidiendo en una alta concentración de los metales pesados en las fuentes hídricas (Vink, 1999).

Metales tan conocidos y utilizados como el plomo, mercurio, cadmio, níquel, vanadio, cromo, cobre, aluminio, arsénico o plata, etc., son sustancias tóxicas si están en concentraciones altas. Especialmente tóxicos son sus iones y compuestos. Muchos de estos elementos son micronutrientes necesarios para la vida de los seres vivos y deben ser absorbidos por las raíces de las plantas o formar parte de la dieta de los animales. Pero cuando por motivos naturales o por la acción del hombre se acumulan en los suelos, las aguas o los seres vivos en concentraciones altas se convierten en tóxicos peligrosos. La industrialización ha extendido este tipo de polución ambiental. Por ejemplo, en los países más desarrollados la contaminación con el plomo procedente de los tubos de escape de los vehículos ha sido un importante problema, aunque desde hace unos años se está corrigiendo con el uso de gasolinas sin plomo. También la contaminación en los alrededores de las grandes industrias metalúrgicas y siderúrgicas puede alcanzar niveles muy altos y desechos tan frecuentes como algunos tipos de pilas pueden dejar en el ambiente

cantidades dañinas de metales tóxicos, si no se recogen y tratan adecuadamente (Barba, 2002).

4.2.4 Procedencia de la contaminación con metales tóxicos

La agricultura usaba algunos pesticidas inorgánicos como arseniatos de Pb y Ca, sulfato de Cr, que eran muy tóxicos. Se han usado hasta hace no mucho tiempo, especialmente en las plagas forestales. Ahora ya no se usan, pero como son muy persistentes en el ambiente, sigue habiendo lugares con concentraciones altas de estos productos. Algo similar sucedió con el uso de alquilmercuriales para recubrir semillas que desde 1960 están prohibidos. Los vertederos de minas y las industrias metalúrgicas son otra fuente de contaminación con metales muy importante en las zonas en las que están situadas. En los vertederos se suele producir lixiviación cuando el agua de lluvia disuelve y arrastra las sustancias tóxicas y las transporta por los ríos o contamina las aguas subterráneas (Barba, 2002).

4.2.5 Los metales pesados y los efectos en la salud y el ambiente

Los metales son persistentes, es decir, no pueden ser creados o degradados, ni mediante procesos biológicos ni antropogénicamente. Una vez que han entrado en los ecosistemas acuáticos, se transforman a través de procesos biogeoquímicos y se distribuyen entre varias especies con distintas características físico-químicas, por ejemplo, material particulado ($>0,45 \mu\text{m}$), coloidal ($1 \text{ nm}-0,45 \mu\text{m}$) y especies disueltas ($=1 \text{ nm}$). La inhalación y la ingesta de alimentos, son dos de las causas más sobresalientes de contaminación. Los efectos tóxicos dependen del tipo de metal, de la concentración y en algunos casos de la edad de la población expuesta. Algunos estudios que evalúan la contaminación de metales pesados en alimentos, carne y leche, han encontrado que el cadmio, el mercurio, el plomo y el arsénico, son cuatro de los elementos que por su impacto en la salud y concentración deben ser cuidadosamente evaluados y monitoreados (Yulieth Reyes, 2016).

4.2.6 Sólidos

El contenido de sólidos de un agua afecta directamente la cantidad de lodo que se produce en el sistema de tratamiento o disposición. Se considera como sólidos totales de un agua el residuo de evaporación y secado a 103-105°C. Los sólidos sedimentables son una medida del volumen de sólidos asentados al fondo de un cono Imhoff, en un periodo de una hora, y representan la cantidad de lodo removible por sedimentación simple; se expresan comúnmente en ml/L. Los sólidos disueltos representan el material soluble y coloidal, el cual requiere usualmente, para una remoción, oxidación biológica o coagulación y sedimentación. Los sólidos suspendidos o no disueltos constituyen la diferencia entre los sólidos totales de la muestra no filtrada y los sólidos de la muestra filtrada. En la práctica los sólidos disueltos son aquellos con tamaño menor de 1.2 μm y los suspendidos los que tienen tamaño mayor de 1.2 μm , tamaño nominal de poros correspondiente a los filtros de fibra de vidrio usados para hacer la separación. Los sólidos volátiles son básicamente, la fracción orgánica de los sólidos o porción de los sólidos que se volatilizan a temperaturas de $550 \pm 50^\circ\text{C}$. Su determinación es muy importante en lodos activados, lodos crudos y lodos digeridos. El residuo de la calcinación se conoce como sólidos fijos y constituyen la porción inorgánica o mineral de los sólidos. En tratamiento biológico de aguas residuales se recomienda un límite de sólidos disueltos de 16000mg/l (Angelica Molina, 2005).

4.2.7 Sólidos en suspensión

La materia en suspensión formada por gran variedad de compuestos incluyendo arcillas, carbonatos, cuarzos, feldespatos y en gran parte materia de carácter orgánico (Metcalf y Eddy, 1984; Casas, 1989; Hernández, 1992; Seoáñez, 1999). Asimismo, a dicha materia en suspensión, se asocia el transporte de carbono orgánico total (COT), que comprende el carbono orgánico disuelto (COD) y el carbono orgánico particulado (COP), el cual no sólo es un factor importante en la

calidad del agua, sino también un indicador de contaminación orgánica (Ni et al., 2008). El tipo y cantidad de la materia en suspensión en las aguas superficiales depende de la geología, orografía, vegetación, usos del suelo, caudal, la pendiente que puede influir en el desmoronamiento de los materiales del cauce y la superficie de drenaje del río. Por otro lado, la descarga de las aguas residuales con saneamientos incompletos también influye en gran medida en el contenido de la materia en suspensión (Dekov et al., 1997; Montoya, 2013).

Los sólidos en suspensión es el material que se encuentra en fase sólida en el agua en forma de coloides o partículas sumamente finas, y que causa en el agua la propiedad de turbidez. Cuanto mayor es el contenido de sólidos en suspensión, mayor es el grado de turbidez. A diferencia de los sólidos disueltos, estos pueden separarse con mayor o menor grado de dificultad por procesos mecánicos como son la sedimentación y la filtración. Analíticamente se determinan pasando un volumen medido de una muestra de agua a través de una cápsula la cual tiene una membrana o filtro con poros de 0.2 micrones dónde son retenidos los sólidos suspendidos, cuando se filtra la muestra de agua. Las partículas o sólidos suspendidos se componen de material orgánico e inorgánico. El material orgánico es principalmente algas o microorganismos y el inorgánico son: arcillas, silicatos, feldespatos (Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas , 2009).

4.2.8 Implicaciones de los sólidos suspendidos en el agua

En el agua que se encuentra en la naturaleza se pueden encontrar varias impurezas de forma suspendida o disuelta. En la cuantificación de los niveles de impurezas, el término sólido en suspensión describe las partículas en suspensión presentes en una muestra de agua. Prácticamente, estas partículas se definen por su imposibilidad de ser separadas de la muestra de aguas usando un filtro. Las partículas más pequeñas, incluyendo especies conteniendo cargas iónicas, se refieren como sólidos disueltos. En el agua potable es importante tomar en cuenta

ambas concentraciones de sólidos disueltos y en suspensión. El contaminante más común del mundo es la tierra en forma de TSS (siglas en inglés de total suspended sólidos, sólidos en suspensión totales) (Whitman, 2012).

Entre las implicaciones se encuentran: Altas concentraciones de sólidos en suspensión pueden depositarse en el fondo de un cuerpo de aguas, cubriendo organismos acuáticos, huevos, o larvas de macroinvertebrados. Este depósito puede impedir la transferencia de oxígeno y resultar en la muerte de los organismos enterrados bajo esta capa, Altas concentraciones de sólidos en suspensión disminuyen la eficacia de agentes desinfectantes del agua potable; por proveer a los microorganismos de un sitio protector frente la presencia de desinfectantes. Esta es una de las razones por las que los TSS, también conocido como la turbidez de agua, se filtra en una planta de tratamiento de aguas residuales (Whitman, 2012).

4.3 MARCO CONCEPTUAL

Afluente: Arroyo o río secundario que lleva sus aguas a otro mayor o principal.

Contaminante: Es una sustancia que se encuentra en un medio al cual no pertenece o que lo hace a niveles que pueden causar efectos adversos para la salud o el medio ambiente.

Cuenca hidrográfica: Es una unidad de territorio donde las aguas fluyen naturalmente conformando un sistema interconectado, en el cual interactúan aspectos biofísicos, socioeconómicos y culturales.

Demanda biológica de oxígeno (DBO): Parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O₂/L).

Demanda química de oxígeno (DQO): Es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno necesario para degradar sustancias bioquímicamente (incluye degradación de materia orgánica e inorgánica) en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O₂/L).

Efluente: Agua o cualquier otro líquido, en su estado natural o tratado total o parcialmente, que sale de un tanque de almacenamiento, depósito o planta de tratamiento. La salida o flujos salientes de cualquier sistema que despacha flujos de agua. Este es el agua producto dada por el sistema.

Evaluación ambiental: Es la valoración de los impactos que se producen sobre el medio ambiente por un determinado proyecto, obra o actividad.

Impacto ambiental: Es la alteración de la calidad del medio ambiente producida por un proyecto, obra o actividad, pueden tener efectos positivos o negativos y tienen características de duración, frecuencia e importancia.

Índices de toxicidad: Son los parámetros toxicológicos que se utilizan en la evaluación de riesgos y se obtienen de los estudios de dosis-respuesta. Se estiman en forma diferente los índices para cancerígenos y los índices para no cancerígenos.

Potencial de hidrógeno (pH): Concentración de iones de hidrógeno, indica la intensidad del carácter ácido, neutro o alcalino de las soluciones. El valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrógeno presente.

Toxicidad: Medida usada para medir el grado tóxico o venenoso de algunos elementos. El estudio de los venenos se conoce como toxicología. La toxicidad puede referirse al efecto de esta sobre un organismo completo, como un ser humano, una bacteria, cuerpo de agua o incluso una planta.

Turbiedad: Efecto óptico que se origina al dispersarse o interferirse el paso de los rayos de luz que atraviesan una muestra de agua, a causa de las partículas minerales u orgánicas que el líquido puede contener en forma de suspensión; tales como micro organismos, arcilla, precipitaciones de óxidos diversos, carbonato de calcio precipitado, compuestos de aluminio.

Vertimiento: Cualquier descarga final de un elemento, sustancia o compuesto, que, contenido en un líquido residual de cualquier origen, ya sea agrícola, minero, industrial, de servicios, aguas residuales a un cuerpo de agua, canal, al suelo o el subsuelo.

4.4 MARCO CONTEXTUAL

La investigación se realizó en los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas, del departamento del Cesar, los cuales pertenecen a la cuenca del río Calenturitas. La cuenca hidrográfica del río Calenturitas se encuentra ubicada en el departamento del Cesar hacia el costado oeste de la serranía del Perijá, en jurisdicción de los municipios de Becerril, La Jagua de Ibirico y El Paso. El río Calenturitas tiene una longitud aproximada de 32 km y pertenece a la cuenca del río Cesar, el cual nace a 7 km de la cabecera municipal de Becerril, en la serranía de los Motilonos o del Perijá (ubicada en el departamento del Cesar, en la zona oriental, en límites con Venezuela). Limita al norte con la cuenca hidrográfica del río Casacará (NSS – 2802-07), al sur con la cuenca hidrográfica Bajo Cesar – Ciénaga Zapatosa (NSS – 2805-02) y al oriente con la Serranía del Perijá que sirve como límite natural con Venezuela (Consorcio Calenturitas, 2016).



Figura 1. Ubicación Geográfica de los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas.

Fuente: Ramírez y Rosado, 2019.

4.5 MARCO LEGAL

Dentro de las normas, leyes y decretos relacionados con la investigación se encuentran:

Constitución Política Colombiana de 1991. Artículo 79: Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.

Ley 99 de 1993 (diciembre 22). TÍTULO VII: De las rentas de las corporaciones autónomas regionales, Tasas retributivas y compensatorias. La utilización directa o indirecta de la atmósfera, del agua y del suelo, para introducir o arrojar desechos o desperdicios agrícolas, mineros o industriales, aguas negras o servidas de cualquier origen, humos, vapores y sustancias nocivas que sean resultado de actividades antrópicas o propiciadas por el hombre, o actividades económicas o de servicio, sean o no lucrativas, se sujetará al pago de tasas retributivas por las consecuencias nocivas de las actividades expresadas.

Resolución 273 del 1 de abril de 1997. Ministerio del Medio Ambiente: Por la cual se fijan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Totales (SST).

5. MARCO METODOLOGICO

Para la realización de la investigación se utilizó la metodología adecuada a los procedimientos que serán ejecutados para llevar a cabo el estudio, explicando cómo se realizaron las diferentes etapas de la investigación.

5.1 TIPO DE INVESTIGACION

La investigación se determinó como exploratoria ya que busca indicar, examinar o explorar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado nunca antes en la región. Por lo tanto, sirve para familiarizarse con fenómenos relativamente desconocidos, poco estudiados o novedosos, permitiendo identificar conceptos o variables promisorias, e incluso identificar relaciones potenciales entre ellas. La investigación exploratoria, también llamada formulativa (Selltiz), permite conocer y ampliar el conocimiento sobre un fenómeno para precisar mejor el problema a investigar. Puede o no partir de hipótesis previas, pero al científico se le exige flexibilidad, es decir, no ser tendencioso en la selección de la información (Cazau, 2006).

De igual forma, esta investigación es correlacional ya que tiene como finalidad medir el grado de relación que eventualmente pueda existir entre dos o más conceptos o variables, en los mismos sujetos. Más concretamente, busca establecer si hay o no una correlación, de qué tipo es y cuál es su grado o intensidad (cuán correlacionadas están). En otros términos, los estudios correlacionales pretenden ver cómo se relacionan o vinculan diversos fenómenos entre sí (o si no se relacionan) (Cazau, 2006).

5.2 POBLACION

La población de la presente investigación son los sólidos en suspensión de los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas, ya que en estos se encuentran los metales de estudio que afectan a la biota presente en los sedimentos y la columna de agua.

5.3 DESARROLLO METODOLOGICO

Para la realización de la investigación se implementaron varias fases: trabajo de campo, trabajo de laboratorio y tratamiento de datos.

5.3.1. Trabajo de campo

Esta fase consta de la recolección de muestras en los diferentes puntos de muestreo de los ríos en estudio, las muestras recolectadas se utilizarán para determinar los parámetros fisicoquímicos básicos (temperatura, pH, turbiedad y sólidos suspendidos) encontrados en cada punto de muestreo para identificar las condiciones actuales de los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas.

5.3.1.1. Identificación de los puntos de muestreo

Al momento de seleccionar los diferentes puntos de muestreo en cada cauce de los ríos (Tucuy, Maracas y Calenturitas) se siguió la metodología del IDEAM, la cual tiene en cuenta la ubicación de los sitios, las rutas de acceso, y las diferentes características de los puntos. Ya teniendo lo anterior, se procedió a identificar los puntos de muestreo en cada río.

Río Tucuy

- **Primer punto:** Cerca de la vereda Estados Unidos, esta vereda no cuenta con sistema de tratamiento de aguas residuales lo cual nos indica que las aguas llegan directamente al río sin un previo tratamiento contaminando el tramo del río Tucuy, por tal motivo fue la escogencia de este punto para la muestra.
- **Segundo punto:** Aguas abajo donde se descargan las aguas residuales del municipio de la Jagua de Ibirico, debido al vertimiento de las aguas residuales en ese tramo del río Tucuy y sabiendo el grado de contaminación que estas generan se tomó este punto para tomar la muestra.
- **Tercer punto:** Inmediaciones de la hacienda Tolima, la agricultura y la ganadería son las actividades principales de esta hacienda, por lo tanto, generan una serie de desechos, y material particulado que terminan en el tramo del río Tucuy, debido a esto, este punto es idóneo para el muestreo.

Río Maracas

- **Primer punto:** Aguas arriba del asentamiento indígena Campo Alegre, se tomó este punto ya que estas comunidades por medio de sus actividades diarias generan una serie de residuos que tienen al río Maracas como sitio de disposición final.
- **Segundo punto:** Aguas debajo de la descarga de aguas residuales del municipio de Becerril, las aguas residuales domésticas sin un adecuado tratamiento se convierten en agentes de contaminantes, debido a esto la escogencia de este punto de muestreo.

- **Tercer punto:** Inmediaciones de la hacienda Comete La Piedra, las razones por la cual se eligió este punto para tomar las muestras es debido a que en esta hacienda se realizan una serie de actividades las cuales producen desechos peligrosos y no peligrosos, que posteriormente terminan en ese tramo del río Maracas.

Río Calenturitas

- **Primer punto:** Aguas abajo donde se encuentran ubicadas las minas Calenturitas y PRODECO. La ubicación de este punto se tomó debido a las minas anteriormente mencionadas que por medio de sus actividades de explotación del carbón generan material particulado los cuales se depositan en el río como SST.
- **Segundo punto:** Inmediaciones de la hacienda el paraíso. La producción agrícola es una actividad muy común en la región, y esta puede generar agentes contaminantes producto de los insumos utilizados, debido a lo anterior se tomó este punto ya que la cantidad de SST presentes en el río pueden contener metales.
- **Tercer punto:** Inmediaciones al puente en la vía Bosconia – Curumaní. El tráfico permanente de vehículos por el puente, generan material particulado que terminan en este tramo del río.

5.3.1.2. Toma de muestras

Se recolectarán manualmente cuatro muestras de un litro cada una para generar una muestra compuesta en cada uno de los tres ríos en estudio. Durante la época lluviosa del año (invierno), basado en lo estipulados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para la toma de muestras. Las

muestras recolectas fueron utilizadas para la determinación de los parámetros fisicoquímicos, los sólidos en suspensión, la determinación de los metales en cada punto de toma de muestra de los ríos en estudio.

5.3.2. Trabajo de laboratorio

Después de tomar las muestras, estas fueron llevadas en el menor tiempo posible al laboratorio para efectuarles el respectivo procesamiento para su posterior análisis. Todas las muestras de agua recolectadas se llevaron al laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar donde se realizarán los respectivos análisis. Ya teniendo las muestras en el laboratorio se dividieron en dos partes iguales de dos litros por cada río de estudio, una parte se utilizó para determinar los parámetros fisicoquímicos en la columna de agua y la otra mitad exclusivamente para determinar los sólidos en suspensión.

5.3.2.1. Determinación de parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos que se determinaron son: Temperatura, pH, Turbiedad, Sólidos suspendidos, Conductividad, DBO, DQO y Coliformes totales, los cuales se realizaron en las instalaciones del laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Popular del Cesar, siguiendo el protocolo de muestreo y análisis de laboratorio para las caracterizaciones fisicoquímicas del IDEAM.

5.3.2.2. Determinación de los sólidos suspendidos totales

Los sólidos en suspensión se determinaron mediante filtración de un volumen determinado (500 a 1000 mL) de muestra bruta, previamente homogeneizada, utilizando un filtro con un diámetro de poro de 0,45 μm . El filtro, que posteriormente es secado a 105 $^{\circ}\text{C}$ durante una hora, se tara hasta obtener peso constante. Las diferentes muestras de sólidos en suspensión recolectadas en los ríos (Tucuy,

Maracas y Calenturitas), después de realizada la filtración, fueron digeridas con una mezcla ácida siguiendo el método SW-846: US EPA Method 3051A (US EPA, 2007), mediante un sistema de digestión por microondas. Las muestras digeridas se pasaron a través de un filtro de 0,45 micras, se les añadió agua desionizada hasta un volumen determinado y fueron almacenadas a 4 °C hasta su posterior análisis de metales.

5.3.2.3. Determinación de metales

Los metales que se determinaron fueron: plomo, cadmio, arsénico, cobre, zinc, níquel, cromo, hierro y aluminio. Para el análisis de estos metales en las soluciones digestoras se utilizó un espectrómetro de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo ICP-OES. Para ello, la Universidad Popular del Cesar cuenta con el apoyo del laboratorio de Toxicología Ambiental de la Universidad de Córdoba, para la determinación de los metales en las muestras de sedimentos.

5.3.3. Tratamiento de datos

El tratamiento de datos se contempla cuando ya se tengan los datos de campo y laboratorio y se puedan utilizar para el cálculo de los índices de contaminación y las técnicas estadísticas empleadas. Esta es la última etapa de la investigación y es el análisis de los resultados de la anterior etapa, en esta se podrá inferir cómo es el comportamiento de los diferentes metales en los sedimentos en suspensión y como varían su concentración a lo largo de los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas

5.3.3.1. Cálculo de índice de contaminación en los sólidos en suspensión

Para evaluar el riesgo ambiental de los metales en los sólidos suspendidos, se determinaron los siguientes indicadores:

5.3.3.1.1 Factor de enriquecimiento

El factor de enriquecimiento (EF, siglas en inglés de Enrichment Factor), según lo propuesto por Simex y Helz (1981), es una herramienta útil para evaluar el grado de contaminación y entender la distribución de los elementos de origen antropogénico de los sitios por elementos individuales (metales pesados) en los sedimentos (Montoya, 2013).

Para la realización del cálculo del factor de enriquecimiento se efectúa la siguiente relación:

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

Donde, C_n es el contenido ($\mu\text{g g}^{-1}$) del elemento "n" y C_{Fe} es el contenido del elemento de normalización (hierro). El valor de fondo es determinado para cada metal en una zona que se reconozca como no impactada. Con base en lo anterior, se tomó como concentraciones de fondo las determinadas por Cáceres y Osorio (2018) para As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Al y Fe en la cabecera del río Maracas, debido a que esta se encuentra en la región caribe y al igual que el río Tucuy, nace en la Serranía del Perijá y desemboca en el río Calenturitas.

5.3.3.1.2 Índice de cargas contaminantes (PLI)

El índice de carga contaminante PLI (siglas en inglés de Pollution Load Index) es otra herramienta sencilla y comparativa para evaluar el nivel de contaminación por metales pesados, la cual es utilizada por diversos autores. El PLI se ha calculado con la fórmula presentada a continuación, donde n es el número de metales (seis en el presente estudio) y CF es el factor de contaminación. El factor de contaminación (CF) se obtiene dividiendo el contenido de cada metal en las muestras (Montoya, 2013).

$$PLI = (CF_1 * CF_2 \dots CF_n)^{1/n}$$

Cuando $PLI > 1$, significa que existe una contaminación, de lo contrario, si $PLI < 1$, no hay contaminación por metales.

5.3.3.1.3 Índice de toxicidad ERMQ

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. Estos índices diseñados para evaluar la toxicidad de los sedimentos en diferentes puntos de muestreo de una cuenca y determinar el impacto de las contribuciones antropogénicas sobre el medio acuático, han sido utilizados en numerosas investigaciones (Montoya, 2013).

$$ERMQ \text{ o } PLEQ = \frac{\sum (C_i / ERM_i \text{ o } PEL_i)}{n}$$

Donde C_i es el contenido del elemento i en el sedimento ($\mu\text{g g}^{-1}$). ERM_i y PEL_i son valores de referencia ($\mu\text{g g}^{-1}$) para cada metal y n que representa el número de metales. Se debe resaltar que estos índices contemplan solo valores de referencia para los metales Ag, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn.

Tabla 1. Valores de referencia en ($\mu\text{g g}^{-1}$) de los índices ERM.

Metal	ERM_i	PEL_i
Cu	270	108
Ni	51,6	42,8
Cr	370	160
Pb	218	112
Zn	410	271

Fuente: (Montoya, 2013)

Valores de ERMQ < 0,1; 0,11–0,5; 0,51–1,5 y > 1,5 se relacionan respectivamente con un < 10%, 25 - 30%, 50% y > 75% de probabilidad en generar efectos adversos para la biota (Montoya, 2013).

5.3.3.2. Técnicas estadísticas

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software SPSS 20.0. Los coeficientes de correlación de Pearson (R) y el análisis de componentes principales (ACP) se realizaron para establecer relaciones entre los principales parámetros que se obtienen en cada uno de los componentes de esta investigación.

5.4 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el procesamiento y análisis de la información se utilizaron tablas y figuras, las cuales relacionaron variables y mostraron su comportamiento respecto a las otras. La utilización de las figuras y tablas se hacen para tener la información más detallada y explícita, para obtener un mayor entendimiento de los fenómenos.

6. ANALISIS Y RESULTADOS

6.1. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

Los metales en los sólidos suspendidos pueden estar influenciados por diferentes factores fisicoquímicos que determinan su comportamiento en el agua. Las características fisicoquímicas de los puntos de muestreo como lo es pH, conductividad (COND), temperatura (T) fueron tomadas in situ, a comparación de DBO₅, DQO, coliformes totales (CLT), sólidos suspendidos totales (SST), turbiedad (TRB), que fueron realizados en el laboratorio.

Tabla 2. Características fisicoquímicas de los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas.

Ríos	Puntos	pH	T (°C)	TRB (UNT)	SST (mg/L)	COND (μS/cm)	DBO5 (mg/L)	DQO (mg O ₂ /L)	CLT (NPM/100 mL)
Tucuy	1	8,91	21,6	47	146,4	138	6,2	12	2500
	2	8,8	26,3	57,4	209,6	360	7,4	13,5	2900
	3	8,47	28,1	53,2	197	611	8,6	20	4400
Maracas	1	7,7	27	184	598	252	5,5	10	1500
	2	7,9	28	134	359,4	258	6,7	12,1	3400
	3	8,1	28,8	387	600	263	9,4	14,2	4100
Calenturitas	1	8,37	25,5	240	427	630	25,2	51,4	90000
	2	8,44	27,7	202	262,8	644	24	49,2	100000
	3	7,9	27,05	265	368	604	24,1	50	70000

Fuente: Autores (2019).

Río Tucuy

Considerando los resultados obtenidos en los diferentes puntos de muestreo del río Tucuy, se observa que el pH del agua, es de carácter alcalino y que su variación no fue de gran significancia a lo largo del río, manteniéndose en un rango de 8 - 9. La temperatura se mantuvo en un rango de 21 - 28,5 °C, siendo en el punto 1 el de menor temperatura y el punto 2 el de mayor. Los valores de temperatura obtenidos

en los diferentes puntos de muestreo, se encuentran entre el rango permitido según la Resolución 0631 de 2015 sobre los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales, el cual establece un valor permisible menor o igual a 40 °C.

La mayor concentración de sólidos suspendidos totales (SST) se encontró en la zona media del cauce principal del río (punto 2), con un valor de 209.6 mg/L, esta concentración puede atribuirse a los vertimientos de aguas residuales, municipales y las diferentes actividades como la minería y el cultivo de palma de aceite. Los datos obtenidos de la turbidez nos indican que el nivel más bajo se presentó en el punto 1, con un valor de 47 UNT, esto es debido a que en la parte alta del río se presentan pocas intervenciones antrópicas, lo contrario pasa en los puntos 2 y 3 en los cuales la turbidez es más alta, por lo tanto, se puede inferir que en estos puntos se puede presentar mayor actividad antrópica las cuales influyen en la variación de la turbidez.

La conductividad es un parámetro que va relacionado con las concentraciones de sales y sustancias, como también a la presencia de iones en la columna de agua .tomando como base los datos obtenidos, encontramos que el punto 1 presento una conductividad de 138 $\mu\text{S}/\text{cm}$ siendo la más baja del muestro ,sin embargo esta conductividad aumento en el punto 3 la cual tiene un valor de 611 $\mu\text{S}/\text{cm}$ siendo un valor muy elevado , sin embargo este se encuentra en el rango permisible el cual es de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ establecido por la Resolución 2115 de 2007, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua del consumo humano. La variación en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) se pudo notar en los puntos 1 y 3, con un rango de 6,2 - 8,6 mg/L, siendo la más alta en el punto 3, esto nos indica que la alta concentración en este punto es debido a la presencia de cierta cantidad de materia orgánica con procedencia de los vertimientos de aguas residuales y de las diferentes actividades. Ahora teniendo en cuenta un tratamiento convencional

cuando se trate de agua para consumo humano, la legislación colombiana no establece un rango aceptable para este parámetro, el rango establecido por la OMS es un valor máximo de 30 mg/L, entonces los datos obtenidos en los tres puntos de muestreo no sobre pasan el valor máximo permisible establecido por la OMS.

Tomando como referencia la DQO en los puntos 1 y 2 se pudo denotar que no hay una gran variación con respecto al punto 3 en la cual observamos una DQO de 20 mg O₂/L sumamente alta comparado con los primeros punto, esto se atribuye a que este punto está ubicado en la parte baja del cauce principal en la cual se puede encontrar descargas de materia orgánica poblacional proveniente del complejo minero y el arrastre de material estéril o propio de la erosión en el cauce del río. En el caso de los coniformes totales se pudo evidenciar un aumento significativo en los diferentes puntos de muestreo, siendo en el punto numero 3 el de mayor concentración con un valor de 4400 NPM/100 mL.

Río Maracas

La variación del pH en los diferentes puntos de muestreo fue mínima, manteniéndose en un rango de 7,7 - 8,1, siendo en el punto 3 el más alto, De tal manera que este se mantuvo en un pH alcalino, por ende, es óptimo para el desarrollo de la vida acuática. Por otro lado, la temperatura fue aumentando entre cada punto de muestreó, este aumento se puede atribuir a las horas del día en las cuales se tomaron las muestras, Siendo en el punto 3 la más alta con una temperatura de 28,8 °C, los valores obtenidos se encuentran en un rango natural, lo cual permite un buen desarrollo, y este no altera la calidad del agua.

Los valores obtenidos en los diferentes puntos de muestreo nos arrojaron que los sólidos suspendido totales se mantuvieron en un rango de 359,4 - 600 mg/L, en el cual el valor más alto se presentó en el punto de muestreo 3, esto debido a la descarga de agua residual municipal, rural y los campamentos instalados en la zona

minera, por otra parte, también se puede atribuir al material de arrastre por erosión en la cuenca. En la turbidez se pudo de notar que en el punto 3 fue donde se obtuvo el valor más alto el cual es 383,4 UNT, esto es debido al arrastre de partículas suelo, que por medio de escorrentía superficial llegan al afluente. Así como en los sólidos suspendidos totales y la turbidez, la conductividad presentó el valor más alto en el punto de muestreo 3, ahora este parámetro está relacionado estrechamente a la temperatura de tal manera que si aumenta la temperatura la capacidad de conducción de cargas eléctrica también lo hace lo que se vio reflejado en los resultados obtenidos en el muestreo.

Los valores obtenidos de la DBO₅ nos indica que en el punto de muestreo 3 se presentó el máximo valor de 9,4 mg/L, manteniéndose en un rango de 5,5 - 9,4 mg/L, índice de mayor concentración de materia orgánica proveniente de las diferentes actividades que se realizan en zonas aledañas al río como lo son la ganadería y la agricultura. Los valores de la DQO en el punto de muestreo 1 y 2 no variaron mucho en comparación con el punto 3 el cual arrojó un valor de 19,2 mg/L, esta variación puede atribuirse a que en esta zona se presenten altos contenidos de sustancias tóxicas y demás elementos provenientes de descargas domésticas lo que genera un consumo de oxígeno presente en el agua. A lo concerniente a los coliformes totales se evidenció que tuvo un comportamiento creciente a lo largo del cauce principal del río Maracas siendo el punto de muestreo 3 el de mayor concentración de coliformes totales con un valor de 4100 NPM/100 mL. En investigaciones realizadas por Ospina et al. (2015), se estableció que hay un posible efecto entre la estacionalidad de las lluvias sobre la carga de sedimentos y contaminación de las aguas, en función de un mayor arrastre de agentes de polución, efecto que se va haciendo mayor en la medida que se aumenta el recorrido de las aguas. Anotando que para la época de lluvias la presencia de coliformes es mayor en la zona previa de la desembocadura del río. Resultados similares reportaron Chan y Peña (2015), durante la evaluación de la calidad del agua de una cuenca en Guatemala; afirmaron que las aguas en las zonas de desembocaduras

recorrieron mayores distancias que en otras secciones de los cuerpos de agua, por lo que han presentado mayor exposición al ambiente, y, por lo tanto, han recibido mayores descargas de coliformes totales.

Río Calenturitas

El pH en los diferentes puntos de muestreo no tuvo variabilidad significativa manteniéndose en un rango de 7,9 - 8,44, el cual el punto de muestreo 2 presentó el pH más alto, esto posiblemente es debido a las descargas de aguas residuales domesticas que se realizan aguas arriba del afluente, en términos generales el pH del agua es de carácter alcalino. Por otra parte, las temperaturas registraron unos valores que van desde 25,5 a 27,05 °C, los cuales poseen un comportamiento estable acorde a los valores de temperatura ambiente de las zonas tropicales donde la temperatura se mantiene más o menos constante a lo largo del año (Roldán, 2003), los valores obtenidos en los diferentes puntos de muestreo están dentro de los rangos permitidos, según el Resolución 0631 de 2015 sobre los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales, el cual establece un valor permisible menor o igual a 40 °C.

Los sólidos suspendidos totales (SST) en el punto de muestreo 1, presentó la concentración más alta con un valor de 427 mg/L en comparación de los puntos de muestreo 1 y 2 los cuales fueron menores, sin embargo, este se mantuvo en un rango de 262,8 - 427 mg/L, la presencia de estos solidos es debido a que en la época de invierno la presencia de escorrentías superficiales y el arrastre de solidos al afluente es mayor, esto con lleva a que los niveles de turbidez del agua sean altos, sin embargo, a diferencia de los sólidos suspendidos totales el nivel más alto de turbidez se dio en el punto de muestreo 3 con un valor de 265 UNT, no tan significativa si lo comparamos con los de más puntos, esto se puede presentar por procesos erosivos, prácticas de cultivo y extracción de carbón que se presenta en la zona de estudio. La conductividad oscilo en un rango de 604 - 644 μ S/cm,

presentando la concentración más alta en el punto 2, en época de invierno se observa un efecto de dilución de los iones disueltos en el agua debido al incremento de la columna de agua, lo cual incide proporcionalmente en la disminución de la conductividad eléctrica y esto se vio reflejado en los datos obtenidos. En el caso de la DBO5 se observó que las concentraciones no variaron mucho, de tal manera que se mantuvieron en un rango de 24 - 25,2 mg/L, sin embargo los niveles de concentraciones de las tres puntos de muestreo no superaron el valor máximo permisible establecido por la OMS que es de 30 mg/L. en las concentraciones de DQO no hubo tanta variación entre los puntos, sin embargo el nivel más alto de DQO se presentó en el punto 1, debido a la descarga de materia orgánica poblacional proveniente del complejo minero. En relación a los coliformes totales se observó que en el punto de muestreo 2 del río Calenturitas las concentraciones fueron mayores a diferencia de los ríos Maracas y Tucuy. Esta concentración presentó un valor de 100000 NPM/100 mL, siendo una concentración muy alta. Según Investigaciones realizadas por Ospina et al, (2015), se estableció que hay un posible efecto entre la estacionalidad de las lluvias sobre la carga de sedimentos y contaminación de las aguas, en función de un mayor arrastre de agentes de polución, efecto que se va haciendo mayor en la medida que se aumenta el recorrido de las aguas. Anotando que para la época de lluvias la presencia de coniformes es mayor en la zona previa de la desembocadura del río. Resultados similares reportaron Chan y Peña (2015), durante la evaluación de la calidad del agua de una cuenca en Guatemala; afirmaron que las aguas en las zonas de desembocaduras recorrieron mayores distancias que en otras secciones de los cuerpos de agua, por lo que han presentado mayor exposición al ambiente, y por lo tanto, han recibido mayores descargas de coliformes totales.

6.2. CONCENTRACIÓN DE METALES PRESENTES EN LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Los resultados de las concentraciones de los metales en los sólidos de la cuenca alta, media y baja de los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas son presentados en mg/kg exceptuando el Fe y Al que se encuentran en g/kg. Estos valores son obtenidos en el periodo de invierno.

Tabla 3. Concentración de metales en sólidos suspendidos.

RÍOS		Pb (mg/kg)	As (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe (g/kg)	Al (g/kg)
Tucuy	T1	1,03	3,10	34,97	142,90	11,01	11,60	21,00	8,15
	T2	3,50	2,44	36,24	106,25	25,08	0,00	13,84	4,62
	T3	7,83	3,70	36,93	106,02	12,39	0,00	17	4,77
	Mín.	1,03	2,44	34,97	106,02	11,01	0,00	13,84	4,62
	Máx.	7,83	3,70	36,93	142,90	25,08	11,60	21,00	8,15
	Media	4,12	3,08	36,05	118,39	16,16	3,87	17,40	5,85
	SD	3,44	0,63	0,99	21,23	7,76	6,70	3,58	2,00
	SE	1,99	0,37	0,57	12,26	4,48	3,87	2,07	1,15
Maraca2rfs	M1	1,65	1,32	17,14	70,73	16,79	0,00	10,15	5,02
	M2	5,44	1,90	49,37	76,9	28,68	0,00	11,60	5,00
	M3	6,83	2,15	19,63	86,53	20,76	11,69	14,92	6,57
	Mín.	1,65	1,32	17,14	70,73	16,79	0,00	10,15	5,00
	Máx.	6,83	2,15	49,37	86,53	28,68	11,69	14,92	6,57
	Media	4,64	1,79	28,71	78,05	22,08	3,90	12,22	5,53
	SD	2,68	0,42	17,93	7,96	6,05	6,75	2,44	0,90
	SE	1,55	0,24	10,35	4,60	3,49	3,90	1,41	0,52
Calenturitas	C1	2,00	2,97	27,76	71,25	25,67	0,00	12,88	4,08
	C2	11,26	3,28	32,16	111,08	37,23	0,00	16,17	4,81
	C3	12,79	2,06	27,25	90,83	28,35	0,00	16,34	5,35
	Mín.	2,00	2,06	27,25	71,25	25,67	0,00	12,88	4,08
	Máx.	12,79	3,28	32,16	111,08	37,23	0,00	16,34	5,35
	Media	8,68	2,77	29,06	91,05	30,42	0,00	15,13	4,74
	SD	5,84	0,64	2,70	19,92	6,05	0,00	1,95	0,64
	SE	3,37	0,37	1,56	11,50	3,49	0,00	1,13	0,37

Fuente: Autores (2019).

Las concentraciones de los metales en los sólidos en suspensión en el periodo lluvioso siguen la siguiente secuencia jerárquica en orden decreciente en el río Tucuy: Zn > Cu > Fe > Cr > Ni > Al > As > Pb.

Las concentraciones de los metales en los sólidos en suspensión en el periodo lluvioso siguen la siguiente secuencia jerárquica en orden decreciente en el río Maracas: Zn > Cu > Ni > Fe > Al > Pb > As > Cr.

Las concentraciones de los metales en los sólidos en suspensión en el periodo lluvioso siguen la siguiente secuencia jerárquica en orden decreciente en el río Calenturitas: Zn > Cu > Ni > Fe > Al > As > Pb > Cr.

La tendencia general de estos metales corresponde a un crecimiento de las concentraciones, es decir, estas son más bajas en la cabecera y van aumentando a medida que se va acercando a la desembocadura de los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas.

Río Tucuy

Arsénico (As): Las concentraciones de As presentan un rango de 2,44 - 3,70 mg/kg, siendo en el punto de muestreo 3 del río Tucuy el de mayor concentración 3,70 mg/kg, el menor encontrado es del punto de muestreo 2 del río Tucuy 2,44 mg/kg y para el punto 1 el valor de la concentración fue de 3,10 mg/kg.

Plomo (Pb): En las concentraciones del Pb se pueden observar que aumentan a medida que el río Tucuy llega a su desembocadura. En el punto de muestreo 3 hay un incremento significativo en el valor de la concentración 7,83 mg/kg se puede inferir que existe una fuente que genera el aumento de la concentración en este punto. Para los puntos 1 y 2 los valores de concentración de Pb fueron 1,03 y 3,50 mg/kg respectivamente.

Cromo (Cr): Se observa que solo se hallaron concentraciones de Cr en el río Tucuy del primer punto 11,60 mg/kg los demás puntos no se registran concentraciones en los sólidos suspendidos.

Níquel (Ni): Para en Ni el valor más alto en el río Tucuy fue en el punto 2 con 25,08 mg/kg, se ha identificado en diversas investigaciones que el Ni presenta un origen minero. Estas fuentes son la combustión de carbón, que en este caso pueden ser producto de las fumarolas que pueden llegar a presentarse en un distrito minero de explotación de carbón a cielo abierto (Larios, 2014), la lixiviación en el proceso de lavado del carbón, o la infiltración en los decantadores de lechadas (Lockwood, 2009) y la escorrentía de aguas de origen minero que según el Ministerio de Minas y Energía (2015). Los puntos 1 y 3 tienen un rango similar de 11,01 - 12,39 mg/kg, respectivamente.

Cobre (Cu): Se observa que las concentraciones de cobre presentan un comportamiento creciente, siendo el promedio de 36,05 mg/kg. El sulfato de cobre es uno de los principales compuestos utilizados como pesticidas, debido a que las sales de cobre poseen efectos fungicidas y algicidas (Repetto & Sanz, 2012) debido a esto se puede asociar el comportamiento de este metal, ya que la zona existe mucho la agricultura.

Zinc (Zn): Es el metal con mayores concentraciones en el río Tucuy. Sus valores están en forma decreciente siendo el punto 1 el de mayor concentración con 142,90 mg/kg y el punto 3 el de menor concentración con 106,02 mg/kg, el punto 2 presenta un valor de 106,25 mg/kg.

Aluminio (Al): El comportamiento de las concentraciones de Al varían disminuye del punto 1 al 2 pero después aumenta del 2 al 3, pero el mayor es el del punto 1 con 8,15 mg/kg, seguiría el punto 3 con un valor de concentración de 4,77 mg/kg y por último el punto 2 que es de 4,62 mg/kg.

Hierro (Fe): las concentraciones del Fe al a igual que las del Al tienen comportamientos iguales en sus concentraciones, disminuye del punto 1 al 2 y aumenta del 2 al 3, siendo el de mayor concentración el punto 1 con 21,00 mg/kg, el siguiente sería el punto 3 con 17 mg/kg y el ultimo el valor del punto 2 con 13,84 mg/kg.

Río Maracas

Arsénico (As): En Los valores obtenidos de las concentraciones de As en los diferentes puntos de muestreo del río Maracas, se puede observar que el punto 3 presento la concentración más alta con un valor de 2,15 mg/kg. En el punto 1 a diferencia del punto 3, se presentó la concentración más baja con un valor de 1,32 mg/kg, manteniéndose en un rango de 1,32 - 2,15 mg/kg.

Plomo (Pb): Las concentraciones del Pb en el río Maracas, aumentaron de manera significativa entre cada punto de muestreo, manteniéndose en un rango de 1,65 – 6,83 mg/kg. Presentando en el punto 1 la concentración más baja con un valor de 1.65 mg/kg y el punto 3 la más alta con un valor de 6,83 mg/kg. Cabe resaltar que, así como en el punto 3 el 2 también se presentaron concentraciones altas, esto puede atribuirse a que en esta zona se presentan descargas de aguas residuales domestica del municipio de Becerril.

Cromo (Cr): A diferencia del río Tucuy, el río Maracas solo presento concentraciones de Cr en el punto de muestreo 3 con un valor de 11,69 mg/kg. En los demás putos no se registraron concentraciones de este metal.

Níquel (Ni): El Ni presento en los diferentes puntos de muestreo variaciones en su concentración, que a diferencia del Ar, Pb y Cr, la concentración más alta se dio en el punto 2 con un valor de 28,68 mg/kg y las más baja en el punto 1, manteniéndose

en un rango de 16,79 – 28,98. En el punto 3 se presentaron concentraciones de Ni de 20,76 mg/kg, estas menores a las del punto 3 con una disminución considerable.

Cobre (Cu): Al igual que el Níquel, las concentraciones pico del cobre se dieron en el punto 2 y 3, siendo en este ultimo la más alta con valor de 49,37 mg/kg. Lo contrario se presentó en el punto 1 en el cual la concentración de este metal presento un valor de 17,14 mg/kg, siendo entonces la más baja.

Zinc (Zn): Las concentraciones del Zn fueron aumentado entre en los diferentes puntos de muestreo, de tal manera que se mantuvo en un rango de 70,73 – 86,53 mg/kg, valores observados en la tabla, Siendo el punto 3 el de mayor concentración y en el punto 1 el de menor. En el punto dos se presentó una concentración intermedia de 76,9 mg/kg.

Aluminio (Al): Las concentraciones de aluminio en el punto 1 y 2 del muestreo, presentaron un comportamiento similar debido a que la diferencia de la concentración no es muy significativa. De tal manera que en el punto 1 se obtuvo un valor de 5,02 g/kg y en el 2 un valor de 5,00 g/kg, con una diferencia de 0,2 g/kg siendo esta mínima en comparación con punto 3, en el cual se presentó la mayor concentración con valor de 6,57 g/kg, sin embargo, esta se mantuvo en un rango de 5,00 – 6,57 g/kg.

Hierro (Fe): Para el Fe la concentración más baja se presentó en el punto de muestreo 1 con valor de 10,15 g/kg. Esta fue aumentando entre cada punto, de tal manera que en el punto 3 la concentración fue de 14,92 g/kg siendo la más alta. Este metal se mantuvo en un rango de 10,15 – 14,92 g/kg a lo largo del río.

Río Calenturitas

Arsénico (As): Para el As las concentraciones variaron en cada punto de muestreo, de tal manera que el primer punto de muestreo tuvo una concentración de 2,97 mg/kg, este aumento en el punto 2 con un valor de 3,28 mg/kg, pero disminuyó en el punto 3 el cual presentó una concentración de 2,06 mg/kg, siendo esta última la concentración más baja.

Plomo (Pb): Las concentraciones de plomo presentaron un comportamiento creciente en los diferentes puntos de muestreo, siendo el primer punto la concentración más baja con un valor de 2,00 mg/kg y la más alta en el punto 3 con un valor de 12,79 mg/kg, manteniéndose en un rango de 2,00 - 12,79 mg/kg a lo largo del río Calenturitas.

Cromo (Cr): En lo que corresponde a las concentraciones de cromo, se pudo observar que estas fueron mínimas, lo cual se vio reflejado en los resultados de laboratorio, presentando valores de 0.0 mg/kg en todos los puntos de muestreo del río Calenturitas (Por debajo del límite de detección del equipo).

Níquel (Ni): El Ni tuvo un comportamiento con muchas variaciones en sus concentraciones a lo largo del río Calenturitas, de tal manera que el punto en el cual se presentó la mayor concentración de este metal fue el punto de muestreo 2 con un valor de 37,23 mg/kg. La concentración de este metal en cantidades altas según diversas investigaciones se debe a un origen minero. Estas fuentes son la combustión de carbón, que en este caso pueden ser producto de las fumarolas que pueden llegar a presentarse en un distrito minero de explotación de carbón a cielo abierto (Larios, 2014), la lixiviación en el proceso de lavado del carbón, o la infiltración en los decantadores de lechadas (Lockwood, 2009) y la escorrentía de aguas de origen minero que, según el Ministerio de Minas y Energía, 2015. Los

puntos de muestreo 1 y 3 presentaron concentraciones bajas con respecto al punto dos.

Cobre (Cu): Se observa que las concentraciones de cobre a lo largo del río Calenturitas variaron en cada punto de muestreo siendo en el punto 2 el de mayor concentración y la de menor en el punto 3, manteniéndose en un rango de 27,2 - 32,16 mg/kg. La presencia de este metal en el río Calenturitas está ligada a los pesticidas utilizados en las diferentes actividades de la zona, como por ejemplo el sulfato de cobre que es uno de los principales compuestos utilizados como pesticidas, debido a que las sales de cobre poseen efectos fungicidas y alguicidas (Repetto & Sanz, 2012) debido a esto se puede asociar el comportamiento de este metal, ya que la zona existe mucho la agricultura.

Zinc (Zn): Las concentraciones de Zn en el río Calenturitas presentaron comportamientos similares a las concentraciones Zn en los ríos Maracas y Tucuy, siendo este el metal con mayor concentración en todo el río. En este caso la mayor concentración se evidencio en el punto de muestreo 2 con un valor de 111,08 mg/kg y la menor en el punto 1 con una concentración de 72,25 mg/kg.

Aluminio (Al): Se pudo evidenciar que las concentraciones de Al a lo largo del río Calenturitas, presentaron un aumento entre cada punto. De tal manera que en el primer punto de muestreo la concentración fue baja con un valor de 4,08 g/kg y la más alta se pudo evidenciar en el tercer punto con valor de 5,35 g/kg.

Hierro (Fe): Las concentraciones del Fe al igual que las del Al tienen comportamientos iguales en sus concentraciones, el cual van aumentando entre cada punto de muestreo con valores de 12,88 g/kg, 16,17 g/kg y 16,34 g/kg, respectivamente, siendo este último punto el de mayor concentración en el río Calenturitas.

6.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para comprender profundamente las características de los sólidos suspendidos de los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas es necesario evaluar las relaciones entre las concentraciones de los metales (Al, As, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn), los valores de parámetros fisicoquímicos y microbiológico como lo es los coliformes totales para el total de las muestras recolectadas en el periodo climáticos de invierno. Para ello, se realizó una matriz de correlación de Pearson y un análisis de componentes principales (ACP), esta técnica permite simplificar una matriz multivariada de datos a través de un nuevo grupo altamente correlacionado.

6.3.1. Correlación de Pearson

Las correlaciones de las concentraciones de metales con los valores fisicoquímicos y microbiológicos se muestran en la tabla 4. Los valores resaltados indican la existencia de correlaciones significativas entre las variables analizadas. Se utilizaron valores de probabilidad menores a 0,05 con niveles de confianza del 95%, resaltados en color amarillo, y 0,01 con niveles de confianza de 99%, resaltados en color verde.

Se observó que se presenta una fuerte correlación positiva ($R > 0,90$; $p < 0,01$) entre el Fe con Zn (0,891). De igual manera el Al con Cr (0,905). Adicionalmente se evidencia correlación lineal moderada ($R > 0,80$; $p < 0,05$) entre Fe con As (0,682); Al analizar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos se evidencia la existencia de una gran correlación positiva ($R > 0,90$; $p < 0,01$) entre coliformes totales con DBO (0,977), y con el DQO (0,969), adicionalmente una correlación moderada entre los coliformes con la conductividad eléctrica (0,776). De igual manera el DQO presenta una correlación positiva ($R > 0,90$; $p < 0,01$) con la conductividad (0,834) y DBO (0,998). Los sólidos suspendidos totales obtuvieron una correlación moderada negativa ($R > 0,80$; $p < 0,05$) con el pH (0,784) y positiva

con la turbiedad (0,787). Zn presenta una correlación positiva con el pH (0,802) y una negativa con SST (0,791). El As presenta una correlación moderada con el pH (0,736) y una negativa con SST (0,709). Estas correlaciones según (Wakida, et al, 2007) generalmente indican un origen común, es decir que existe una gran probabilidad de que la fuente de generación y transporte sean las mismas para estos elementos. Adicionalmente diversos autores (Blake et al., 2003; Montoya, 2013) atribuyen este fenómeno a las características litológicas de la cabecera de la cuenca como principal proveedor de estos metales. Finalmente se observa una correlación moderada negativa de los metales Cu (0.690) y Fe (0,668) con los SST.

El pH adopta un comportamiento típico por lo siguiente: la materia orgánica al descomponerse contribuye a la acidificación del agua, pero en este caso se observa que a mayor pH la tendencia estaría inclinada a que los metales no se liberarían con facilidad de los sedimentos. Es crucial el papel del pH en el agua ya que niveles bajos o ácidos (producto de vertimientos) contribuyen a la liberación y biodisponibilidad de los metales contenidos en los sedimentos

Tabla 4. Correlación entre los parámetros analizados en el periodo de invierno.

Las correlaciones marcadas son significativas a nivel de probabilidad de 0,05 (*) y 0,01(**).

	pH	T	TRB	SST	COND	DBO	DQO	CLT	Pb	As	Cu	Zn	Ni	Cr	Fe	Al
pH	1															
T	-0,597	1														
TRB	-0,567	0,460	1													
SST	-0,784*	0,461	,788*	1												
COND	0,000	0,338	0,151	-0,170	1											
DBO	-0,069	0,088	0,452	0,018	,810**	1										
DQO	-0,047	0,067	0,375	-0,047	,846**	,995**	1									
CLT	-0,026	0,041	0,375	-0,022	,776*	,977**	,974**	1								
Pb	-0,253	0,563	0,350	-0,077	0,609	0,536	0,543	0,470	1							
As	,736*	-0,240	-0,377	-,709*	0,491	0,270	0,319	0,300	0,149	1						
Cu	0,330	-0,086	-0,632	-,690*	-0,017	-0,180	-0,139	-0,141	0,038	0,325	1					
Zn	,802**	-0,595	-0,540	-,791*	-0,156	-0,167	-0,135	-0,124	0,019	0,606	0,287	1				
Ni	-0,217	0,406	0,368	0,070	0,470	0,654	0,621	,695*	0,547	-0,102	0,158	-0,289	1			
Cr	0,293	-0,385	0,214	0,075	-0,609	-0,341	-0,390	-0,369	-0,251	0,057	-0,232	0,456	-0,467	1		
Fe	0,663	-0,512	-0,276	-,668*	0,050	0,068	0,098	0,042	0,216	,682*	0,160	,891**	-0,316	0,525	1	
Al	0,285	-0,553	-0,026	-0,128	-0,659	-0,391	-0,412	-0,403	-0,196	0,024	-0,086	0,625	-0,508	,905**	0,649	1

T: Temperatura, TBR: Turbiedad, SST: Solidos suspendidos totales, COND: Conductividad electrica, CLT: Coliformes totales, Pb: Concentraciones de Plomo, As: Concentraciones de Arsenico. Cu: Concentraciones de Cobre, Zn: Concentraciones de Zinc, Ni: Concentraciones de Niquel, Cr:

Fuente: Los Autores (2019).

6.3.2. Análisis de componentes principales (ACP)

Mediante el análisis de componentes principales (ACP) se identificaron los patrones de comportamiento de los parámetros para el estudio de las concentraciones de metales en los sólidos suspendidos de los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas. Los resultados del ACP de los contenidos de metales y demás parámetros estudiados en la investigación se encuentran en las tablas 5 y 6, representados en las figuras 2 y 3.

Se extrajeron cuatro componentes principales que explican el 89,193% de la variación de los datos en los puntos de muestreo. El componente o factor I, refleja el 38,088 % de la varianza total, el componente II con 28,514 % de la varianza total, el III que representa el 14,932% de la varianza total y el componente IV con el 7,659% de la varianza total

Tabla 5. Varianza total explicada de los parámetros analizados en sólidos suspendidos y agua para el periodo de invierno.

Componentes	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción			Sumas de cargas al cuadrado de la rotación		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	6,094	38,088	38,088	6,094	38,088	38,088	4,692	29,327	29,327
2	4,562	28,514	66,602	4,562	28,514	66,602	4,511	28,194	57,522
3	2,389	14,932	81,534	2,389	14,932	81,534	3,221	20,133	77,655
4	1,225	7,659	89,193	1,225	7,659	89,193	1,846	11,539	89,193
5	0,850	5,310	94,503						
6	0,472	2,947	97,451						
7	0,321	2,009	99,459						
8	0,086	0,541	100,000						
9	1,918E-15	1,199E-14	100,000						
10	4,818E-16	3,011E-15	100,000						
11	1,773E-16	1,108E-15	100,000						
12	1,332E-16	8,327E-16	100,000						
13	-1,742E-19	-1,089E-18	100,000						
14	-1,762E-16	-1,101E-15	100,000						
15	-2,789E-16	-1,743E-15	100,000						
16	-7,719E-16	-4,824E-15	100,000						

Fuente: Autores (2019).

Tabla 6. Matriz de componentes rotados de los parámetros analizados en sólidos suspendidos y agua para el periodo de invierno.

	Componente			
	1	2	3	4
T	0,015	-0,386	-0,386	0,755
pH	0,058	0,782	0,296	-0,360
CE	0,818	0,187	-0,335	0,251
TRB	0,404	-0,803	0,241	0,286
SST	-0,037	-0,988	-0,049	0,026
DBO	0,982	-0,061	-0,073	0,086
DQO	0,984	-0,043	-0,057	0,109
CT	0,971	-0,013	-0,117	0,027
As	0,387	0,758	0,192	-0,044
Pb	0,479	0,059	0,069	0,846
Cu	-0,242	0,719	-0,314	0,229
Ni	0,565	-0,094	-0,363	0,414
Cr	-0,276	-0,095	0,904	-0,138
Zn	-0,062	0,756	0,594	-0,075
Fe	0,159	0,630	0,738	0,030
Al	-0,344	0,076	0,896	-0,123

Fuente: Autores (2019).

El análisis permitió obtener cuatro factores que explican en total el 89,193% de la varianza, de los cuales, los factores 1, 2 y 3 recogen la información más importante (81,534% de la varianza total) y son presentados en las Figuras 2 y 3.

El plano factorial I y II (Figura 2) representa la información más importante, explicando el 66,6% de la varianza total. Se observa que existe una asociación entre sólidos suspendidos totales y la turbiedad, así como el pH y algunos elementos metálicos (As, Fe, Cu, Zn), que se encuentran asociados en la parte de arriba de la Figura 2. Adicionalmente por la parte inorgánica el Cr y Al presentan comportamientos similares. A su vez, el Pb y Ni están asociados a la DBO, DQO, coliformes totales y conductividad eléctrica que representan la materia orgánica de los sólidos.

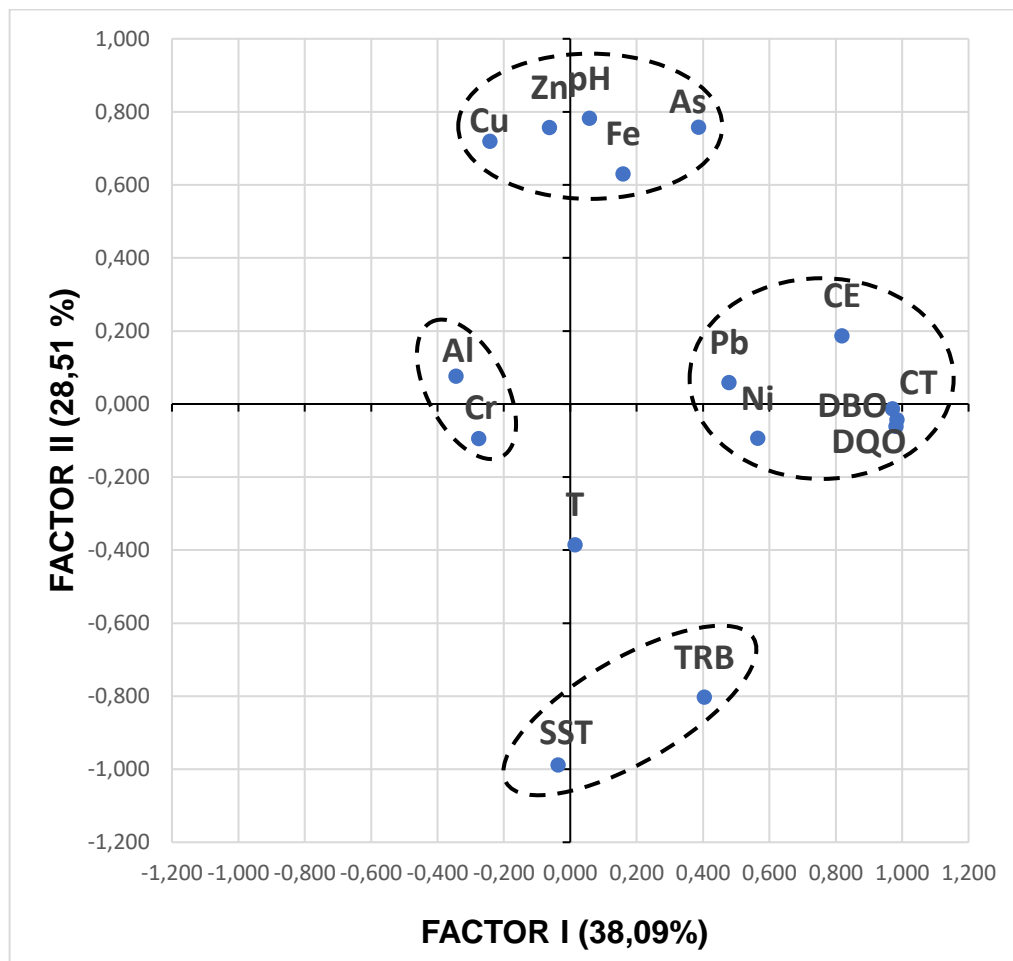


Figura 2. Análisis de componentes principales basado en las correlaciones entre los factores I y II.

Fuente: Autores (2019).

El plano factorial I y III (Figura 3) representa el 53,02% de la varianza total. Se encontraron una serie de asociaciones en las cuales el Cu está directamente ligado a los SST. A su vez metales como el As y Pb se asocian con la turbiedad. Por parte de la materia orgánica la DBO, DQO, coliformes totales y conductividad eléctrica están relacionados con el Ni. En el caso del Al y Cr estos presentaron

comportamientos similares asociándose entre sí; al igual que el Fe y el Zn infiriendo que ambas asociaciones presentan orígenes en común.

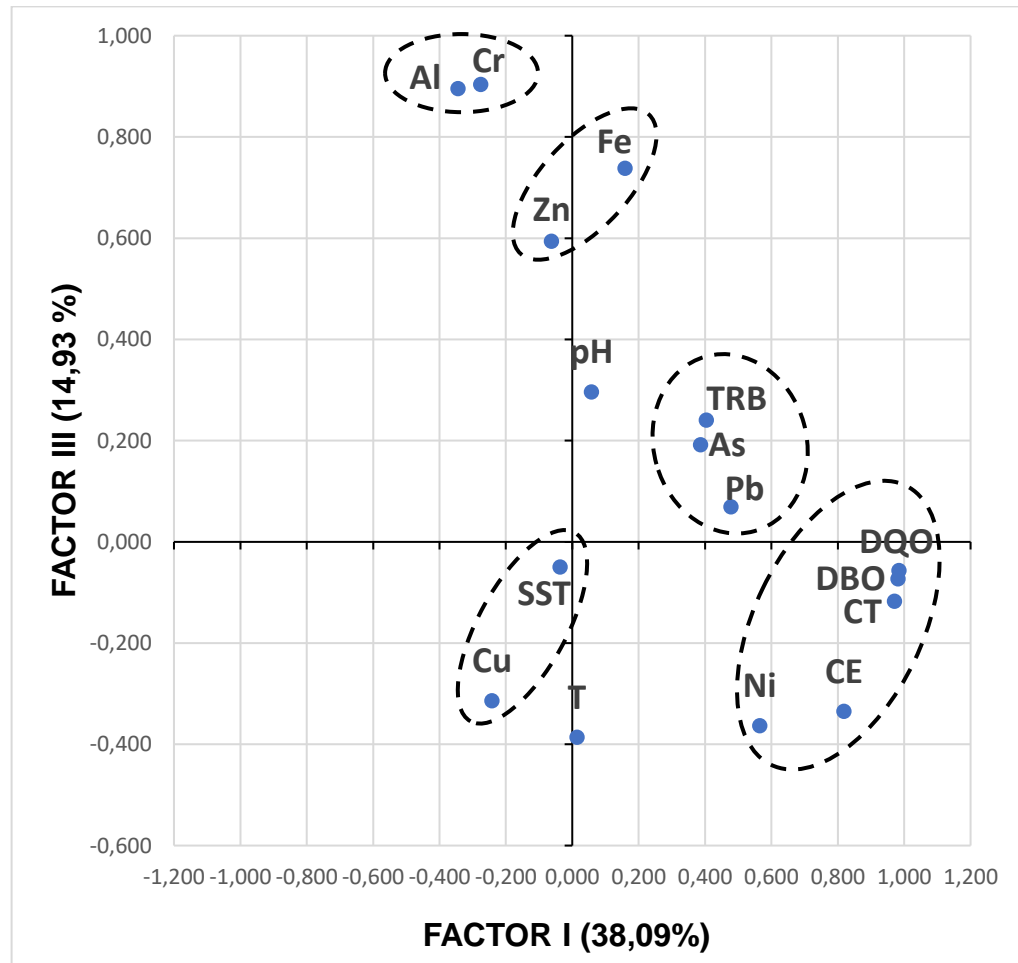


Figura 3. Análisis de componentes principales basado en las correlaciones entre los factores I y III.

Fuente: Autores (2019).

6.4 ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Para evaluar el riesgo ambiental de los metales en sólidos suspendidos, determinamos los índices de factor de enriquecimiento (EF), el índice de carga contaminante (PLI) el índice riesgo ecológico potencial, los índices de toxicidad ERMQ y PELQ.

6.4.1 Factor de enriquecimiento (FE)

La tabla 7 recoge el factor de enriquecimiento para los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas en el periodo de invierno.

Para el río de Tucuy los metales como Pb punto 1 y 2, As punto 1, Ni punto 1 y Cr en todos los puntos de muestreo presentan un factor de enriquecimiento menor a 1, lo cual indica que no se presenta un enriquecimiento notable de estos metales. En el caso del Pb punto 3, puntos 2 y 3 (As y Ni), puntos 1,2 y 3(Cu y Zn) presentan un factor de enriquecimiento con valores entre 1 y 3, lo cual indica un menor enriquecimiento.

En el río de Maracas los metales Pb punto 1, As y Cr en todos los puntos de muestreo presentan un factor de enriquecimiento menor a 1, lo cual indica que no se presenta un enriquecimiento notable de estos metales. En el caso del Pb punto 2 y 3, Cu puntos 1 y 3, puntos 1, 2 y 3(Ni y Zn) presentan un factor de enriquecimiento con valores entre 1 y 3, lo cual indica un menor enriquecimiento. Solo la medición de Cu en el punto 2 presentan un factor de enriquecimiento entre 3 y 5, lo cual significa que existe un nivel moderado de enriquecimiento, que se puede atribuir a diversas fuentes antropogénicas (Sakan, 2009).

El río Calenturitas presento en los metales Pb y As puntos 1 y 3 respectivamente y Cr en todos los puntos un factor de enriquecimiento menor a 1 lo que indica que no se presenta un enriquecimiento notable en estos puntos. En el caso de los puntos 2 y 3 en Pb, 1 y 2 As, 1, 2 y 3 Cu y Zn el factor de enriquecimiento se encuentra en un rango de 1-3 lo que indica un menor enriquecimiento. Solo las mediciones de Ni presentan un factor de enriquecimiento entre 3 y 5, lo cual significa que existe un nivel moderado de enriquecimiento.

Tabla 7. Factor de enriquecimiento.

Ríos	Punto de Muestreo	Pb	As	Cu	Zn	Ni	Cr
Tucuy	T.1	0,157	0,793	1,572	1,620	0,654	0,768
	T.2	0,944	1,099	2,874	2,126	2,630	0
	T.3	2,042	1,617	2,834	2,053	1,258	0
Maracas	M.1	0,408	0,550	1,251	1,303	1,621	0
	M.2	1,355	0,793	3,618	1,422	2,779	0
	M.3	1,293	0,681	1,095	1,217	1,531	0,961
Calenturitas	C.1	0,611	1,520	2,494	1,615	3,051	0
	C.2	2,914	1,421	2,450	2,135	3,751	0
	C.3	2,977	0,802	1,867	1,570	2,569	0

Fuente: Autores (2019).

6.4.2 Índice de carga contaminante.

El índice de carga contaminante (PLI) se calculó con referencia al factor de contaminación (CF) del As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn. Este índice proporciona un medio sencillo y comparativo para evaluar el nivel de contaminación por metales pesados. Cuando el PLI > 1, significa que existe una contaminación por metales pesados, de lo contrario, si PLI < 1, no hay contaminación por metales.

Tabla 8. Índices de cargas contaminantes.

Puntos	(PLI)
T.1	0,784
T.2	0,919
T.3	2,759
M.1	0,068
M.2	1,129
M.3	0,939
C.1	0,866
C.2	1,513
C.3	1,244

Fuente: Autores (2019).

Se puede observar que en T1, T2, M1, M3 y C1 el $PLI < 1$ lo cual indica que no existe contaminación por metales pesados. Lo que no es el caso en T3, M2, C2 y C3 donde el $PLI > 1$ indicando que existe contaminación por metales pesados, siendo T3 el mayor de todos con 2,759. Montoya (2013), afirma que este tipo de comportamiento se debe a que en temporada de lluvia la turbidez incrementa en el agua, producto de las crecientes, por lo que las partículas más finas asociadas a los metales pesados quedan suspendidas en la columna de agua, dando como resultado que se encuentre una menor concentración en los sedimentos de fondo, pero más biodisponible en la columna de agua.

6.4.3 Índice de riesgo ecológico potencial.

Se determinó el coeficiente del riesgo ecológico potencial de cada metal para cada punto de muestreo de cada río E_i , y con base en este se determinó el índice de riesgo ecológico potencial para cada punto RI . Este último indica cuantitativamente el potencial de los peligros ecológicos generados por metales pesados en los sedimentos según las características de estos y su comportamiento ambiental. Valores de $RI < 50$; $50-100$; $100-200$ y >400 , se relaciona respectivamente con los

sólidos suspendidos no contaminados, moderadamente contaminados, fuertemente contaminados y muy fuertemente contaminados.

De igual manera, el coeficiente de riesgo ecológico potencial identifica cuales metales son los que aportan en mayor medida con los niveles de contaminación en los sedimentos. Valores de $E_i < 30$; 30-60; 60-120; >120-240 y >240, se relacionan respectivamente con sólidos suspendidos no contaminados, moderadamente contaminados, fuertemente contaminados, muy fuertemente contaminados y extremadamente contaminados por el correspondiente metal.

Tabla 9. Índice de Riesgo Ecológico Potencial.

Puntos de muestreo	Pb	As	Cu	Zn	Ni	Cr	RI
T.1	0,8	8,4	8,4	1,7	3,5	1,6	24,5
T.2	2,8	6,6	8,7	1,3	7,9	0,0	27,4
T.3	6,4	10,1	8,8	1,3	3,9	0,0	30,5
M.1	1,3	3,6	4,1	0,9	5,3	0,0	15,2
M.2	4,4	5,2	11,8	0,9	9,1	0,0	31,4
M.3	5,5	5,8	4,7	1,0	6,6	1,6	25,3
C.1	1,6	8,1	6,6	0,9	8,1	0,0	25,3
C.2	9,1	8,9	7,7	1,3	11,8	0,0	38,9
C.3	10,4	5,6	6,5	1,1	9,0	0,0	32,6

Fuente: Autores (2019).

Los valores de los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas se encuentran por debajo de 30, lo cual indica un rango de no contaminados, esto es debido a que los sólidos suspendidos presentes en los ríos en época de invierno se encuentran en movimiento y por ende van liberando metal.

6.4.4 Índices de toxicidad ERMQ y PELQ.

Se determinaron para cada punto de muestreo de los ríos. Los índices ERMQ Y PELQ denotan respectivamente, los efectos de rango medio y el nivel de efecto probable sobre la biota. Valores de ERMQ < 0,1; 0,11–0,5; 0,51–1,5 y > 1,5 se

relacionan respectivamente con un < 10%, 25–30%, 50% y > 75% de probabilidad en generar efectos adversos para la biota. De manera similar, valores de PELQ, < 0,1; 0,11–1,5; 1,51–2,3 y > 2,3 coinciden respectivamente con un 10%, 25%, 50% y 76% de probabilidad en generar toxicidad para la biota, lo cual es consecuente con cuatro niveles de prioridad propuestos: baja, media-baja, media-alta y alta (Long, et al., 1995).

Tabla 10. Índices de toxicidad ERMQ y PELQ.

ERMQ		PELQ	
T.1	0,129	T.1	0,211
T.2	0,155	T.2	0,234
T.3	0,121	T.3	0,197
M.1	0,095	M.1	0,143
M.2	0,163	M.2	0,251
M.3	0,130	M.3	0,195
C.1	0,138	C.1	0,202
C.2	0,202	C.2	0,293
C.3	0,160	C.3	0,236

Fuente: Autores (2019).

Se observa que todos los puntos de muestreo exceptuando el M1 presentan valores de ERMQ dentro del rango 0,11–0,5, el cual representa un 25-30% de probabilidad en generar efectos adversos para la biota, que corresponde con una toxicidad media-baja. El punto M1 presentó el valor ERMQ más bajo (< 0.1), lo cual significa que la probabilidad de generar efectos adversos sobre la biota es menor al 10%. Los valores del índice PELQ en todos los puntos de muestreo de los ríos se encuentran entre el rango de 0,11 – 1,5, lo cual indica una probabilidad de toxicidad en la biota de 25% aproximadamente. Ambos índices concordaron en que la probabilidad de que se presenten posibles impactos sobre la biota fluctúa en un 25% con un nivel de prioridad medio-bajo.

CONCLUSIONES

La evaluación del riesgo ambiental asociado a metales en sólidos en suspensión de los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas en el departamento del Cesar, se lograron deducir las siguientes conclusiones:

En lo concerniente a los parámetros físico-químicos del río Tucuy se evidencia que el pH es alcalino y la temperatura fue menor a 40°C, ambos óptimos para el desarrollo normal de la vida acuática. En la zona media del río Tucuy (punto 2) la cantidad de sólidos suspendidos totales y turbidez fue mayor. La materia orgánica lo largo del río Tucuy aumento de manera considerable de tal forma que la mayor concentración se presentó en el punto de muestreo 3.

Dentro de los parámetros físico-químicos del río Maracas, el pH y la temperatura al igual que el río Tucuy fueron óptimos. Los sólidos suspendidos totales y la turbidez presentan una variación en sus puntos de muestreo, la cual la zona media fue la que tuvo menor cantidad de estos parámetros. La presencia de materia orgánica en el río Maracas tuvo un aumento entre cada punto del muestreo siendo el punto 3 el de mayor concentración.

El pH y la temperatura en el río Calenturitas no vario significativamente, manteniéndose en un rango similar a los de los ríos Tucuy y Maracas. Por otra parte, los sólidos suspendidos totales y la turbidez presentan valores bajos en el punto de muestreo 2. La materia orgánica tiene comportamientos diferentes, debido a que las concentraciones de algunos parámetros relacionados a esta varían.

Las concentraciones de los metales en los sólidos en suspensión del río Tucuy presenta la siguiente secuencia jerárquica en orden decreciente: Zn > Cu > Fe > Cr > Ni > Al > As > Pb. y sus valores medios son Zn (118,39 mg/kg), Cu (36,05 mg/kg), Fe (17,40 g/kg), Cr (3,87 mg/kg), Ni (16,16 mg/kg), Al (5,85 g/kg), As (3,08 mg/kg),

Pb (4,12 mg/kg). Las concentraciones más altas corresponden a las de Zn, esta se presenta en el primer punto de muestreo, siendo el Zn el metal no normalizador con mayor concentración registrada. Las concentraciones de Pb presentan un incremento gradual, registrando la menor concentración en el punto de muestreo N°1 (1,03mg/kg) y la mayor en el N°3 (7,83mg/kg).

Las concentraciones de los metales en los sólidos en suspensión del río Maracas presenta la siguiente secuencia jerárquica en orden decreciente: Zn > Cu > Ni > Fe > Al > Pb > As > Cr. y sus valores medios son Zn (78,05 mg/kg), Cu (28,71 mg/kg), Fe (12,22 g/kg), Cr (3,90 mg/kg), Ni (22,08 mg/kg), Al (5,53 g/kg), As (1,79 mg/kg), Pb (4,64 mg/kg). Existe un incremento significativo del 288% de la concentración de Cu en los sólidos en suspensión del punto de muestreo N°2 del río Maracas. En los sólidos en suspensión del punto de muestreo N° 3 se evidencia la presencia de Cr (11,69 mg/kg), el cual en los puntos de muestreo N° 1 y 2 se encontraba en concentraciones menores a (10 mg/kg).

Las concentraciones de los metales en los sólidos en suspensión del río Calenturitas presenta la siguiente secuencia jerárquica en orden decreciente: Zn > Cu > Ni > Fe > Al > As > Pb > Cr. y sus valores medios son Zn (91,05 mg/kg), Cu (29,06 mg/kg), Fe (15,13 g/kg), Cr (0 mg/kg), Ni (30,42 mg/kg), Al (4,74 g/kg), As (2,77 mg/kg), Pb (8,68 mg/kg). Los metales como As, Cu, Zn y Ni en el punto de muestreo N° 2 presentan sus concentraciones más altas y luego en el punto de muestreo N° 3 disminuye.

El factor de enriquecimiento del cobre (Cu) el punto de muestreo 2 del río Tucuy presenta el mayor valor de enriquecimiento. En general los metales del río Tucuy poseen un enriquecimiento menor. En el caso del Pb y el As los metales presentan un enriquecimiento a medida que se desciende en la cuenca, sugiriendo que este enriquecimiento obedece a un origen antrópico. Para el Cu, Zn y Ni el factor de enriquecimiento aumenta y luego disminuye.

En todos los casos de metales excepto para el Cr los valores más altos de enriquecimiento del río Maracas presentes en cada metal están en el punto de muestreo 2. La mayoría de los puntos de muestreo del río Maracas se encuentran en un rango de menor enriquecimiento, el punto 2 de Cu (3,618) presenta valores entre 3 y 5, lo cual significa que existe un nivel moderado de enriquecimiento.

El níquel es el metal que presenta valores entre 3 y 5 siendo el de mayor enriquecimiento en todos sus puntos de muestreo del río Calenturitas con un nivel moderado de enriquecimiento.

Los puntos de muestreo T3, M2, C2 y C3, presentaron valores de PLI mayores a 1, con valores de 2,759 - 1,129 – 1,513 – 1,244 respectivamente, indicando que en estos puntos existen contaminación por metales pesados, sugiriendo posibles impactos sobre el medio acuático.

Para el índice de riesgo ecológico potencial de los ríos Tucuy, Macaras y Calenturitas sus valores se encontraron por debajo de 30 lo que nos indica que los sólidos suspendidos no denotan contaminación.

En los índices de toxicidad ERMQ y PELQ presentan en sus puntos de muestreo de los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas una probabilidad entre el 25 y 30% de generar efectos adversos y toxicidad a la biota presente en los ecosistemas acuáticos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a la corporación autónoma del Cesar “CORPOCESAR” que realice monitoreos o análisis de las concentraciones de los diferentes metales, tanto en los puntos evaluados como en otros tramos a lo largo de los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas, con la finalidad de ejercer un control efectivo y mantener unos estándares de calidad.

Desarrollar un estudio comparativo del riesgo ambiental asociados a metales en sólidos suspendidos tanto en épocas de verano como de invierno en los ríos Tucuy, Maracas y Calenturitas.

Las autoridades competentes deben considerar estos contaminantes metálicos en los sólidos suspendidos, por lo cual se hace necesario la creación de normativa que establezca los niveles máximos permisibles de metales pesados en sólidos suspendidos de cuerpos de agua dulce (ríos, lagos, ciénagas, etc.).

Promover nuevas estrategias para la preservación del recurso hídrico, en conjunto con la gobernación, alcaldías y demás entes de control.

BIBLIOGRAFÍA

Angelica Molina, J. T., 2005. Evaluacion Preliminar de la Remocion de los Solidos Suspendidos en el sistema de Tratamiento de Aguas Residuales en el Municipio de Arauca.

Banco de la Republica, 2010. Banco de la Republica actividad cultural.

Barba, L., 2002. Conceptos Basicos de la contaminacion del Agua y parametros de Medicion. *Universidad del Valle* .

Blake, W. y otros, 2003. Heavy metal concentrations during storm events in a rehabilitated industrialized catchment.. *Hydrol, Process*, pp. 1923-1939.

Bonnail E, S. A. N. J. D. T., 2015. Caracterizacion del riesgo ecologico asociado a metales en sedimentos de la cuenca del río Odiel a traves de índices teoricos. *Sociedad española de mineralogia*, Issue 20, pp. 27-28.

Calidad y Evaluacion Ambiental , s.f. Metales Pesados. *Calidad y Evaluacion Ambiental* .

Cazau, P., 2006. Introduccion a ala Investigacion en ciencias Sociales. Marzo.

Colmenares H, T. V., 2012. *Evaluacion de contaminacion en agua, suelo y sedimentos, asociada a plomo y cadmio en la subcuenca embalse de la muña, río Bogota*, Bogota: s.n.

Consortio Calenturitas, 2016. *Formulación del POMCA del río Calenturitas - Cesar*, Bucaramanga: s.n.

Esquema de ordenamiento Territorial, 2010. *Atributos servicio Publico*, Becerril: s.n.

Estefania Bonnail, A. S. N. T. D., 2015. Caracterización del Riesgo Ecológico Asociado a Metales en Sedimentos de la Cuenca del Río Odiel a Través de Índices Teóricos.. *La sociedad española de mineralogía* , Issue 20, pp. 27-28.

Heidy Colmenares, V. T., 2012. Evaluacion de contaminacion en agua, suelo y sedimentos , asociados a plomo y cadmio en la subcuenca embalse del muña rio Bogota.

Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas , 2009. PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS NATURALES. *Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas* .

Larios, M., 2014. *Niveles de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en los suelos de ribera de la cuenca del río Turia, Barcelona*, s.l.: s.n.

Lesly Ortiz, J. D. D. P. E. M. A. G., 2015. Determinacion de Metales Pesados e Indices de Calidad en Aguas y Sedimentos del Rio Magdalena – Tramo Tolima, Colombia.. *Tumbaga*, 2(10), pp. 43-60.

Lockwood, W.-H. R. G., 2009. *Impacto del carbon sobre la salud humana, resumen en ejecucion, Physicians for social*, s.l.: s.n.

Long, E., MacDonalds, D., Smith, S. & Calder, F., 1995. Incide of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine. *Environmental*

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..

Ortiz L, D. J. P. D. M. E. G. A., 2015. Determinacion de metales pesados e indices de calidad en aguas y sedimentos del río Magdalena-tramo Tolima, Colombia. *Tumbaga*, 2(10), pp. 43-60.

PNUMA, 2001. *Situación de los recursos naturales en América Latina*, Washington: Programa de las Naciones para el Medio Ambiente.

POMCA Calenturitas, 2016. Formulación del POMCA del Río Calenturitas.

Repetto, M. & Sanz, ,, 2012. *Toxicología de los metales*, Sevilla (España): Colegio oficial de Químicos.

Ricardo Sanchez, S. L. A. S. D. M., 2009. Determinacion de la Concentracion de Solidos Suspendidos Totales y Metales Pesados en la Cuenca del Río Morote, Nicoya, Guanacaste.. *Uniciencia* , pp. 59-64.

Sakan, D. M. P., 2009. *Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza river sediments*, s.l.: Journal of Environmental Management.


Sanchez R, L. S. S. A. D. M. C., 2009. Determinacion de solidos suspendidos totales y metales pesados en la cuenca del río Morote, Nicoya, Guanacaste. *Uniciencia*, pp. 59-64.

Whitman, 2012. Determinación de sólidos totales, en suspensión y disueltos en agua.

Yulieth Reyes, I. V. M. D. G., 2016. Contaminacion por Metales Pesados: Implicaciones en Salud, Ambiente. *Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16 (2), pp. 66-77.

ANEXOS

ANEXO 1. RESULTADOS DE ANÁLISIS

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

REPORTE DE ENSAYO
 No 1337-1

	CÓD. No.	1337-1
	Código:	1117-1337-1

I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

CLIENTE: Quintan Quintan y Elvira Mejía	NIT/C:	N.I.
CONTACTO/CARGO: Quintan Quintan y Elvira 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			
1117-1337-1	AGUA	AGUA SUPERFICIAL	RIO MARAÇAS BECERRIL	FECHA DE MUESTREO	2017-11-25	HORA	08:00 am
				FECHA DE INGRESO MUESTRA	2017-11-25	HORA	04:25 pm
				FECHA INICIO DE ENSAYOS	2017-11-25		
				FECHA FINALIZ. DE ENSAYO	2017-12-06		
				FECHA DE REPORTE	2017-12-06		

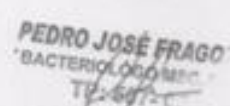
N.A. No aplica N.I. Información no suministrada

III. RESULTADOS

FÍSICO-QUÍMICOS MICROBIOLÓGICOS

ENSAYO	MÉTODOS DE REFERENCIA	UNIDAD	VALOR DE REFERENCIA	RESULTADOS		
				1117-1337-1	1117-1337-1	1117-1337-1
DBO ₅	SM 5210 B y SM 4650 D Gravimétrico a 5 días y Método de Membrana	mg/L	-	5,5	4,7	9,4
DOO	SM 5220 Método Colorimétrico	Mg O ₂ /L	-	10,0	12,1	18,2
Acididad Total	SM 1300 B Titrimétrico	mg CaCO ₃ /L	-	170	117	115
Dureza Total	SM 1390 C Volumétrico con EDTA	mg CaCO ₃ /L	-	81	85	90
Cloruros totales	SM 4500-Cl	mg/l	-	15x10 ³	34x10 ³	41x10 ³

Nota: Los resultados solo 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. LABORATORIO BIODALAMAB se compromete a mantener la confidencialidad de los resultados de los ensayos.


PEDRO JOSÉ FRAGO 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, bioindalab@gmail.com



**FORMATO ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y
MICROBIOLÓGICO**

VIGENCIA	
14 - 01 - 17	
VERSION: 1	PAG:2

REPORTE DE ENSAYO
No 1336-2

ODS No.	1336-2
Códigos:	1117-1336-2

I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

CLIENTE:	Eduardo Gutiérrez y Martha Zequeira			NIT/C.C.	N.I.
CONTACTO/CARGO:	Eduardo Gutiérrez y Martha Zequeira		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
1117-1336-2	SUELO	SEDIMENTO	RIO TUCUY BECERRIL	2017-11-24	08:00 am	2017-11-24	04:25 pm
				2017-11-24		2017-11-24	
				2017-11-24		2017-12-05	
				2017-12-05		2017-12-05	

N.A. No aplica

N.I. Información no suministrada

III. RESULTADOS

FÍSICO-QUÍMICOS

MICROBIOLÓGICOS

				RESULTADOS		
ENSAYO	METODO DE REFERENCIA	UNIDAD	VALOR DE REFERENCIA	1117-1336-2 P1	1117-1336-2 P2	1117-1336-2 P3
Coliformes totales	NPM/g	UFC/100ml	-	39x10 ⁴	45x10 ⁴	59x10 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 FRAGOSO
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



**FORMATO ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y
MICROBIOLÓGICO**

VIGENCIA

14 - 01 - 17

VERSION: 1 PAG: 1

REPORTE DE ENSAYO
No 1338-1

ODS No.	1338-1
Códigos:	1117 -1338-1

I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

CLIENTE:	Leonardo Pinto y Jennyfer Molina			NIT/C.C.	N.I.
CONTACTO/CARGO:	Leonardo Pinto y Jennyfer Molina	DIRECCIÓN:	Becerril		
DEPARTAMENTO:	Cesar	MUNICIPIO:	El paso	TELÉFONO:	3004509302

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:		
1117 -1338-1	AGUA	AGUA SUPERFICIAL	RIO CALENTURITAS EL PASO	2017-11-26	08:00 am	2017-11-26	04:25 pm		
				FECHA INICIO DE ENSAYOS				2017-11-26	
				FECHA FINALIZ. DE ENSAYO				2017-12-07	
				FECHA DE REPORTE				2017-12-10	

N.A. No aplica

N.I. Información no suministrada

III. RESULTADOS

FÍSICO-QUÍMICOS

MICROBIOLÓGICOS

ENSAYO	METODO DE REFERENCIA	UNIDAD	VALOR DE REFERENCIA	RESULTADOS		
				1117 -1338-1 P1	1117 -1338-1 P2	1117 -1338-1 P3
DBO ₅	SM 5210 B y SM 4500-C G/Incubación a 5 días y Electrodo de Membrana	mg/L	-	25,2	24,0	24,1
DQO	SM 5220 D/Reflujo Cerrado Colorimétrico	Mg O ₂ /L	-	51,4	49,2	50,0
Alcalinidad Total	SM 2320 B /Volumétrico	mg CaCO ₃ /L	-	160	160	158
Dureza Total	SM 2340 C/ Volumétrico con EDTA	mg CaCO ₃ /L	-	105	107	107
Coliformes totales	NPM/100 mL	NPM/100 mL	-	9x10 ⁴	10x10 ⁴	7x10 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 FRAGOSO
BACTERIÓLOGO MSC, PNC
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

**INFORME DE RESULTADOS****LABORATORIO DE TOXICOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL**

CÓDIGO:
FLT-X-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	

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL SUSPENDIDO								
		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-180718-23	Material en suspensión - Río Tucuy	10302,31	<25	3100,69	34,97	142,90	11,01	21000,00	8150,00	11,60
TX-180718-24	Material en suspensión - Río Tucuy	3503,05	<25	2435,73	36,24	106,25	25,08	13843,17	4619,18	<10
TX-180718-25	Material en suspensión - Río Tucuy	7833,39	<25	3701,77	36,93	106,02	12,39	17350,00	4772,05	<10
TX-180718-26	Material en suspensión - Río Maracas	1645,05	<25	1323,84	17,14	70,73	16,79	10148,55	5017,05	<10
TX-180718-27	Material en suspensión - Río Maracas	5442,75	<25	1900,45	49,37	76,90	28,68	11601,95	4998,37	<10
TX-180718-28	Material en suspensión - Río Maracas	6826,95	<25	2147,40	19,63	86,53	20,76	14915,41	6568,35	11,69
TX-180718-29	Material en suspensión - Río Calenturitas	2000,31	<25	2972,91	27,76	71,25	25,67	12878,75	4076,08	<10
TX-180718-30	Material en suspensión - Río Calenturitas	11258,89	<25	3277,11	32,16	111,08	37,23	16174,70	4807,90	<10
TX-180718-31	Material en suspensión - Río Calenturitas	12789,83	<25	2055,85	27,25	90,83	28,35	16335,63	5345,39	<10

Nota importante: Los resultados presentados en este informe son válidos únicamente para las muestras analizadas, son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. El laboratorio asegura la confiabilidad de los resultados presentados en este informe. El Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental no se hace responsable del método de obtención de la muestra ni sus condiciones antes de recibirlas, cuando estos procedimientos no estuvieron a cargo del personal del laboratorio, por tanto, en estos casos no se harán interpretaciones con respecto a la representatividad o validez de las muestras.

Jose Luis Marrugo Negrete
JOSE LUIS MARRUGO NEGRETE
Director Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental

ANEXO 2. REGISTRO FOTOGRÁFICO



