

Evaluación de los sedimentos y de la calidad del agua en el tramo del río  
Chicamocha comprendido entre el municipio de Capitanejo y Molagavita, Santander.

Edinson Fernando Largo Barrera

Universidad de Pamplona  
Facultad de Ingenierías y Arquitectura  
Programa de Ingeniería Ambiental  
Pamplona  
2020

Evaluación de los sedimentos y de la calidad del agua en el tramo del río  
Chicamocha comprendido entre el municipio de Capitanejo y Molagavita, Santander.

Edinson Fernando Largo Barrera

1096957942

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

Directores

María Esther Rivera

PhD. Hidrología, Lic. Matemáticas y Física

Ángela Cajiao Pedraza

MsC. Biología molecular y Biotecnología

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Programa de Ingeniería Ambiental

Pamplona

2020

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado 1

---

Jurado 2

Pamplona, 6 diciembre 2020

## **Dedicatoria**

La satisfacción de culminar esta investigación se lo debo a Dios por ser el artífice de todas las metas que me propongo, a mi papá Oscar Largo Barajas y a mi mamá Ana Libia Barrera Jaimes que gracias a su esfuerzo y dedicación en cada una de sus labores hicieron realidad un sueño que comenzó desde el primer día de mi vida universitaria. A mi hermano también, por su ayuda y colaboración en momentos en los que parecía que no encontraba una salida.

Además, a todos mis familiares, amigos, compañeros y profesores que de una u otra manera contribuyeron con la realización de tan anhelado logro.

A todos ustedes, infinitas gracias y que Dios los bendiga.

## **Agradecimientos**

A Dios por regalarme la sabiduría necesaria para trabajar en mi proyecto de vida que se viene forjando con bases similares a las de la Ingeniería Ambiental, a la vida por regalarme esta bonita oportunidad de cumplir mis sueños, a mis padres y hermano quienes han sido un pilar fundamental en mi vida.

A mi Alma Mater, la universidad de Pamplona, quien me acogió desde el primer día entregándome grandes enseñanzas académicas y experiencias cotidianas que tuve a lo largo de este camino.

A todos mis profesores de Ingeniería Ambiental que desde el primer día de clases su único propósito fue formar profesionales íntegros y éticos, pero en especial a mi directora de trabajo de grado PhD. María Esther Rivera que desde un salón de clase pudo mostrarme muchos caminos que a veces no son fácil visualizar y por enseñarme tantas cosas que el día de mañana aplicare como profesional. A mi codirectora MsC. Ángela Cajiao Pedraza por su empeño para culminar este trabajo de investigación.

A todas las personas que creyeron en mí, mil y mil gracias.

## Tabla de Contenido

Resumen .....	15
Capítulo I .....	16
1. Introducción .....	16
2. Planteamiento del problema .....	18
3. Justificación .....	21
4. Objetivos.....	23
4.1 General.....	23
4.2 Específicos .....	23
Capitulo II.....	24
5. Marco Referencial .....	24
5.1 Marco contextual .....	24
5.1.1. Meteorología de Molagavita.....	25
5.1.2 Meteorología de Capitanejo.....	33
5.1.3 Cobertura vegetal.....	40
5.1.4 Uso del suelo.....	43
5.2 Antecedentes.....	44
5.3 Marco teórico.....	51
5.3.1 Contaminación de los ríos .....	51
5.3.2 ¿Qué son los micro plásticos?.....	52

5.3.3	Micro plásticos en el medio ambiente .....	54
5.3.4	Presencia de micro plásticos en los cuerpos de agua.....	54
5.3.5	Caracterización de los micro plásticos .....	54
5.3.6	Consumo de plástico en el mundo .....	55
5.3.7	Importancia ambiental del estudio de los micro plásticos .....	56
5.3.8	Aditivos de los plásticos .....	57
5.3.9	Sedimentos.....	57
5.3.10	Características de los sedimentos .....	58
5.3.11	Arrastre de sedimentos .....	60
5.3.12	Análisis de varianza de un factor (ANOVA).....	61
5.3.13	Sistema de información ambiental en Colombia .....	62
5.3.14	Cobertura y uso del suelo en Colombia.....	63
5.4	Marco Legal.....	66
Capitulo III	.....	68
6. Metodología	.....	68
6.1	Reconocimiento el tramo del rio Chicamocha que comprende al municipio de Capitanejo y el municipio de Molagavita.....	68
6.2	Caracterización de los principales focos de contaminación que presenta el tramo del rio Chicamocha.....	69
6.3	Determinación los puntos de muestreo de los sedimentos en el tramo del rio Chicamocha. ....	70

6.3.1 Puntos de muestreos de agua cruda y sedimentos .....	72
6.3.2 Puntos de muestreo de agua residual .....	73
6.4 Elaboración del análisis estadístico de los contaminantes presentes en los sedimentos. ....	75
7. Resultados y discusión.....	76
7.1 Reconocimiento el tramo del rio Chicamocha que comprende al municipio de Capitanejo y el municipio de Molagavita.....	76
7.2 Caracterización de los principales focos de contaminación que presenta el tramo del rio Chicamocha.....	78
7.3 Determinación los puntos de muestreo de los sedimentos en el tramo del rio Chicamocha. ....	79
7.3.1 Análisis físico químico de las muestras de agua .....	82
7.3.2 Análisis microbiológico de las muestras de agua y sedimento.....	87
7.3.3 Metales pesados encontrados en muestras de sedimento .....	89
7.3.4 Plásticos observados en las muestras de sedimento .....	91
7.4 Analisis estadistico de los contaminantes presentes en los sedimentos .....	92
7.4.1 Ph.....	96
7.4.2 Conductividad.....	97
7.4.3 Turbidez.....	98
7.4.4 Solidos Totales.....	98
7.4.5 Solidos Suspendidos Totales .....	99

7.4.6 Sólidos Volátiles .....	100
7.4.7 DQO.....	101
7.4.8 DBO5 .....	102
8. Conclusiones.....	104
9. Recomendaciones .....	106
10. Referencias Bibliográficas .....	107
11. Anexos .....	113

## Lista de tablas

Tabla 1 Áreas de las coberturas presentes. ....	40
Tabla 2 Áreas de los tipos de suelos encontrados.....	43
Tabla 3 Clasificación de partículas de plástico.....	52
Tabla 4 Características de los sedimentos. ....	58
Tabla 5 Descripción de las variables mediante relaciones matemáticas. ....	61
Tabla 6 Puntos de muestreo de sedimento y calidad de agua. ....	72
Tabla 7 Clasificación de los focos de contaminación.....	74
Tabla 8 Datos de los puntos de muestreo para agua cruda y sedimento.....	80
Tabla 9 Resultados microbiológicos de agua y sedimento.....	87
Tabla 10 resultados microbiológicos de sedimento y de agua cruda.....	88
Tabla 11 Análisis de varianza de PH.....	96
Tabla 12 Análisis de varianza de CONDUCTVIDAD.....	97
Tabla 13 Análisis de varianza de TURBIDEZ. ....	98
Tabla 14 Análisis de varianza de SOLIDOS TOTALES. ....	98
Tabla 15 Análisis de varianza de SOIDOS SUSPENDIDS TOTALES.....	99
Tabla 16 Análisis de varianza de SOLIDOS VOLATILES. ....	100
Tabla 17 Análisis de varianza de DQO. ....	101
Tabla 18 Análisis de varianza de DBO5.....	102

## Lista de figuras

Figura 1 Mapa de ubicación .....	25
Figura 2 Temperatura mínima del municipio de Molagavita. ....	26
Figura 3 Grafica de la temperatura máxima del municipio de Molagavita, Santander. .....	27
Figura 4 Grafica de la temperatura media del municipio de Molagavita, Santander. .....	28
Figura 5 Grafica de la precipitación del municipio de Molagavita, Santander. ....	29
Figura 6 Grafica de la velocidad del viento mínima del municipio de Molagavita, Santander. ....	30
Figura 7 Grafica de la velocidad del viento media del municipio de Molagavita, Santander. ....	31
Figura 8 Grafica de la velocidad de viento máxima del municipio de Molagavita, Santander. ....	32
Figura 9 Grafica de Precipitación, temperatura máxima, media y mínima de Molagavita, Santander. ....	33
Figura 10 Grafica de la temperatura mínima del municipio de Capitanejo, Santander. ....	34
Figura 11 Grafica de las temperaturas máximas del municipio de Capitanejo, Santander. ....	35
Figura 12 Precipitaciones del municipio de Capitanejo, Santander. ....	36
Figura 13 Grafica del caudal medio diario del Rio Chicamocha.....	37

Figura 14 Grafica del nivel máximo diario del Rio Chicamocha. ....	38
Figura 15 Grafica de los promedios mensuales de Caudal, precipitación, temperatura mínima y máxima del municipio de Capitanejo, Santander. ....	39
Figura 16 Mapa de cobertura vegetal. ....	40
Figura 17 Grafica de las áreas establecidas. ....	42
Figure 18 Mapa de tipo de suelos. ....	43
Figura 19 Consumo de plástico en Colombia. ....	56
Figura 20 Modelo general de la metodología Corine Land Cover (CLC). ....	64
Figura 21 Metodología para el análisis microbiológico de agua de Rio y sedimento. .....	70
Figura 22 Mapa de puntos de muestreo. ....	80
Figura 23 Mapa de puntos de muestreo de agua residual. ....	82
Figura 24 Resultados físico químicos de laboratorio. ....	83
Figura 25 Resultados Físico químicos de agua residual. ....	85
Figura 26 Resultados Físico químicos de agua residual. ....	86
Figura 27 Concentraciones de metales pesados en sedimentos. ....	90
Figura 28 Resultados de correlación entre variables. ....	94
Figure 29 Coeficientes de correlación de los metales pesados en sedimentos. ....	94
Figura 30 Grafico de dispersión de los metales pesados. ....	95

## **Lista de Fotografías**

Fotografía 1 Coberturas vegetales observadas en la zona de estudio. ....	42
Fotografía 2 Trampa Bunte.....	61
Fotografía 3 Diseño de los muestreadores de sedimento.....	71
Fotografía 4 Toma de muestras de agua cruda. ....	73
Fotografía 5 Toma de muestras de los focos de contaminación. ....	75
Fotografía 6 Zona de estudio. ....	77
Fotografía 7 Captura de sedimento.....	78
Fotografía 8 Caracterización de los focos de contaminación. ....	79
Fotografía 9 Muestreadores en el tramo del Rio Chicamocha. ....	81
Fotografía 10 Fragmentos de plástico encontrados en sedimentos. ....	92

## Lista de anexos

Anexo 1 Solicitud de ingreso al municipio de Capitanejo, Santander. ....	113
Anexo 2 Solicitud de ingreso al municipio de Molagavita.....	114
Anexo 3 Solicitud de ingreso a los laboratorios de la Universidad de Pamplona. .	115
Anexo 4 Secciones transversales del tramo de estudio. ....	116
Anexo 5 Procedimiento comparativo para el análisis de Ph.....	116
Anexo 6 Procedimiento comparativo para el análisis de Conductividad. ....	116
Anexo 7 Procedimiento comparativo para el análisis de turbidez.....	117
Anexo 8 Procedimiento comparativo para el análisis de Solidos Totales. ....	117
Anexo 9 Procedimiento comparativo para el análisis de Solidos Suspendidos	
Totales. ....	118
Anexo 10 Procedimiento de análisis comparativo para el análisis de Solidos	
Volátiles.....	118
Anexo 11 Procedimiento de análisis comparativo para el análisis de DQO. ....	119
Anexo 12 Procedimiento de análisis comparativo para el análisis de DBO5.....	119
Anexo 13 Regresión lineal de parámetros de calidad de agua. ....	120

## **Resumen**

El uso del plástico en los últimos años ha incrementado considerablemente, tanto así que podría ser el problema ambiental para el siglo XXI. Por sus características es casi indestructible, y su excesivo uso es uno de los motivos que se encuentre en cualquier medio, como, por ejemplo, mares, lagunas, ciénagas, ríos, arroyos, montañas, alcantarillas, entre otros. Actualmente, se conoce que partículas inferiores a los 5 mm pueden ocasionar problemas tanto a nivel eco sistémico como a nivel de salud debido a la toxicidad de sus componentes. Aun conociendo sus efectos no se ha podido reducir o eliminar considerablemente a pesar que en muchos países existen normas legales. En el caso de Colombia, se cuenta con la Resolución 668 del 28 de abril de 2016 y el Decreto 2198 de 2017, por lo tanto, en la presente investigación se evaluó los sedimentos y la calidad del agua en el tramo del río Chicamocha comprendido entre el municipio de Capitanejo y Molagavita, Santander. Para ellos, se llevó a cabo un reconocimiento del tramo en estudio, se recolectaron muestras de agua del río Chicamocha en el tramo de estudio, los vertimientos y sedimentos para el análisis físico químico microbiológicos, los cuales se realizaron en el Laboratorio de Control de calidad y de Diagnóstico de la Universidad de Pamplona.

**PALABRAS CLAVE:** contaminación, ecosistemas, micro plásticos, plástico, toxicidad.

# Capítulo I

## 1. Introducción

De acuerdo con Cubiertas vegetales (2018), una de las principales ventajas que traen las cubiertas verdes es el impacto en el medio ambiente, además de servir como elemento diferenciador en proyectos de Bio-construcción urbana. De los mismos modos estos permiten el aprovechamiento de superficies como terrazas o cubiertas que ayudan a mejorar los niveles de contaminación, malgasto de recursos energéticos y emisiones de dióxido de carbono. El sector de la construcción es uno de los más contaminantes, pues se estima que es responsable, a nivel mundial, de un tercio del gasto de agua y energía, y también de un tercio de las emisiones de gases contaminantes, que incluyen negativamente en la capa de ozono. Las cubiertas vegetales son una gran herramienta para que las construcciones dejen de ser parte del problema y formen parte de la solución ya que promueven la Biodiversidad y el respeto por la fauna autóctona ya que las plantas y flores instaladas en cubiertas verdes sirven como hábitat para distintas especies de insectos y aves y del mismo modo retienen el agua lluvia y la reutilizan, de forma natural gracias a las plantas y a sistemas concretos de drenaje.

Por otra parte, es necesario considerar los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Asamblea General de las Naciones Unidas 2015, ya que dentro de estos se encuentra el objetivo número 13 que textualmente enuncia “ se deben tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos”, el cual guarda directa relación con el tema la presente investigación, debido a que esta alternativa además de ayudar a mitigar efectos producidos por el desbalance

atmosférico, ofrece a las comunidades una fuente externa de abastecimiento del recurso hídrico y se encuentra entrelazado de igual manera con el objetivo número 7 que indica que “se debe garantizar energías asequibles, fiables, sostenibles y modernas para todos”.

Este trabajo se encuentra distribuido por capítulos, dentro del capítulo I se cobija todo lo relacionado con la información general del tema de estudio, el análisis de la problemática, la justificación de la misma y los objetivos establecidos para el desarrollo de esta investigación; El capítulo II abarca toda la información necesaria para conocer por completo esta energía alternativa, normatividad aplicable, estudios realizados concernientes a la temática y el contexto donde se planea desarrollar la investigación. Por último, el capítulo III abarca la metodología que se llevó a cabo durante el trabajo, los resultados obtenidos, las conclusiones, recomendaciones y bibliografía del proyecto.

## 2. Planteamiento del problema

Como bien es conocido, la acumulación de metales contaminantes en sedimentos puede ocasionar serios problemas ambientales, puede afectar la calidad del agua y la bioasimilación o bioacumulación de metales en organismos acuáticos, lo que puede tener implicaciones sobre la salud de los seres humanos y de los ecosistemas (Carman et al., 2007).

De acuerdo con Lemos J (2018), en gran parte de América Latina y el mundo, hay una posición clave para realizar investigaciones argumentando que los conflictos generados por el desmesurado crecimiento poblacional, la explotación de los recursos, las actividades agrícolas, la mala gestión de los residuos y la industrialización han generado problemas a nivel de manejo de cuencas hidrográficas. Así mismo, esto ha generado un crecimiento irregular e inestable de acciones para el manejo de las cuencas hidrográficas ocasionando afecciones a los cursos y cuerpos hídricos (Dorojeanni, 1994).

Horton, *et al.*, (2016), Erni-Cassola *et al.*, (2017) y Hoellein *et al.*, (2019), consideran que debido al aumento de las poblaciones y el deseo por satisfacer sus necesidades básicas y mejorar su calidad de vida, desde hace años se ha arrojado una gran cantidad de plástico al medio ambiente, contaminando sedimentos (continentales y marinos) y aguas superficiales a nivel global, ocasionando graves problemas de salud puesto que los ríos se comportan como un medio de acumulación y de transporte (Lechner et al. 2014). Aunque en los ríos también pueden acumular contaminantes en función de las dinámicas hidromorfológicas (Martínez, 2019), la

cantidad de micro plásticos presentes en el sedimento de los ríos es muy dinámica, pudiendo ser retenidos o movilizados dependiendo de factores hidrográficos e hidrológicos y en el periodo en que se toman las muestras (Anderson et al., 2017, Rodríguez et al., 2018).

Unos elementos importantes en el estudio de los contaminantes presentes en los sedimentos son los metales pesados debido a que la presencia de ellos en determinadas aguas, permite conocer las rutas de contaminantes y su interacción con otras sustancias presentes en las aguas (Contreras, Mendoza y Gómez, 2003). Esto conllevaría a un serio problema de salud para los moradores de las poblaciones que sirven de dichos ríos, lo cual implica elevar gastos en los tratamientos médicos, disminución en la capacidad productiva de los moradores y desde luego repercusiones económicas a nivel local y nacional (Mendoza, 2003).

Dentro del tramo del río se observan poblaciones destinadas a la capricultura, ganadería en menor escala y la agricultura, es decir, se encuentra sometido a dichas actividades que causan efectos negativos, los cuales son, la alteración de una u otra manera de sus funciones ecológicas a causa de los vertimientos de residuos sólidos, entre ellos los micro plásticos, de igual modo, impactos antropogénicos que alteran la calidad del agua en actividades como la extracción y refinación de carbón y otros minerales.

Por lo tanto, surge la pregunta investigativa: ¿Al culminar esta investigación la población involucrada implementará planes adecuados para el manejo de residuos y

fortalecerá institucionalmente la disminución de contaminantes en el tramo del río Chicamocha?

### 3. Justificación

Los cuerpos de agua juegan un papel muy importante en la dinámica de cada ecosistema, además tienen un rol económico en cada población involucrada (Feyen, 2009), por tal motivo la buena gestión de cada cuerpo hídrico asegurará la conservación y el aprovechamiento de los mismos (López, 2013). En esta investigación, un factor clave es la población involucrada dado que los vertidos incontrolados desde las industrias, la descarga de aguas residuales, así como la utilización de productos químicos, tales como los pesticidas pueden ocasionar contaminación directa sobre las aguas Gamboa *et al.*, (2018), esto implica que exista una gran contaminación de sedimentos y aguas superficiales a nivel global (Gonzales, 2019). Los contaminantes pueden permanecer suspendidos en la columna de agua, incorporarse a la biota o depositarse en el fondo y luego incorporarse a los sedimentos González *et al.*, (2006). Además de ello, los metales pesados pueden dar origen a fenómenos de toxicidad, aún en concentraciones muy bajas, lo que afectaría al desarrollo y vida de los organismos y consecuentemente a la cadena alimentaria, puesto que los sedimentos, son un almacén altamente concentrado en metales (Ibarcena, 2011).

Este estudio de los sedimentos en el tramo del río Chicamocha, busca determinar la cantidad de contaminantes de los mismos y los focos de contaminación que llegan a este cuerpo hídrico, dado que al conocer estos aspectos, se conocerá la situación actual de la cuenca con respecto a los sedimentos, información de suma importancia ya que en la legislación no existe un valor máximo para las aguas de distintos usos ni se conocen las cargas de los mismos en Colombia (Donoso, 2018), además de ello, el estudio de la presencia de metales pesados en aguas de ríos y

sedimentos constituye un aporte a la disposición de información de carácter ambiental de dichos ríos y contribuirá al diagnóstico de cada una de sus cuencas y por consiguiente a facilitar la toma de decisiones sobre todo de carácter gubernamental (Contreras, Mendoza y Gómez, 2003).

El análisis de los sedimentos, micro plásticos y la calidad del agua es la base para una correcta gestión de calidad del recurso hídrico, esto incluye el seguimiento a las diferentes propiedades del agua (parámetros físico-químicos, biológicos), así como el control de las distintas descargas de tipo industrial, ganadero, agrícola y aguas residuales domesticas para la optimización de procesos ecológicos en el tramo establecido para la investigación y a lo largo del rio Chicamocha.

## **4. Objetivos**

### **4.1 General**

Evaluar los sedimentos y la calidad del agua en el tramo del río Chicamocha entre el municipio de Capitanejo y Molagavita, Santander.

### **4.2 Específicos**

Reconocer el tramo del río Chicamocha que comprende al municipio de Capitanejo y el municipio de Molagavita.

Caracterizar los principales focos de contaminación que presenta el tramo del río Chicamocha.

Determinar los puntos de muestreo de los sedimentos en el tramo del río Chicamocha.

Realizar un análisis estadístico de los contaminantes presentes en los sedimentos.

## **Capítulo II**

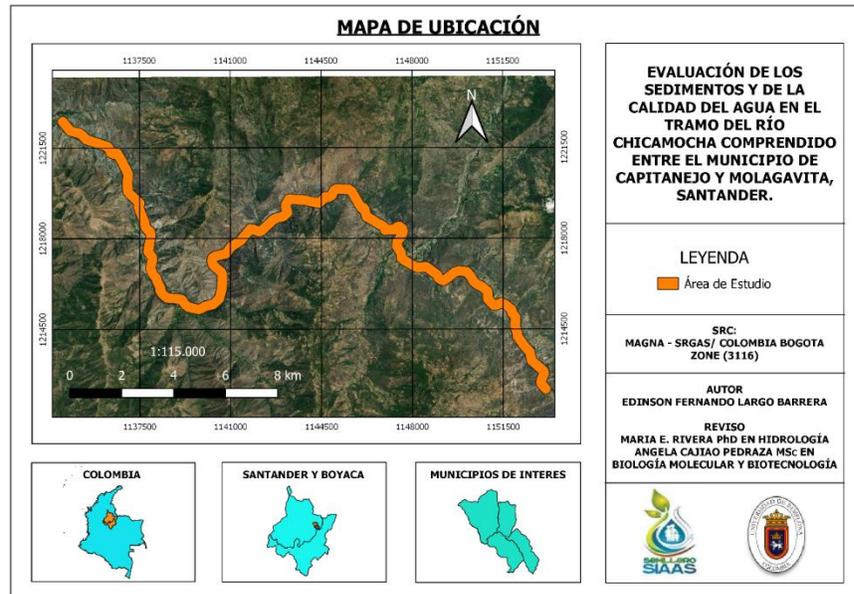
### **5. Marco Referencial**

#### **5.1 Marco contextual**

La zona de estudio de la presente investigación es el tramo del río Chicamocha, ubicado en el municipio de Capitanejo, y Molagavita, en el departamento de Santander, el cual consta de 33 Km.

De acuerdo con la Alcaldía de Capitanejo (2020), el municipio de Capitanejo limita al Norte con San José de Miranda (Santander), al este con Covarachia (Boyacá), al sur con Tipacoque (Boyacá) y al Oeste con Macaravita (Santander) y se encuentra a una altura aproximada de 1095 msnm. Mientras que, la Alcaldía de Molagavita argumenta que el Municipio de Molagavita limita al norte con Málaga (Santander), al sur y al este con San José de Miranda (Santander), al oeste con San Andrés (Santander), y se encuentra a una altura de 2196 msnm.

Figura 1 Mapa de ubicación



Fuente: Ubicación del tramo del río Chicamocha. Elaborado en QGIS

Desktop 3.14.16 por Largo E, 2020.

El tramo del río Chicamocha involucrado en la investigación tiene una longitud de 33 Kilómetros e involucra a los municipios de Capitanejo y Molagavita, Santander.

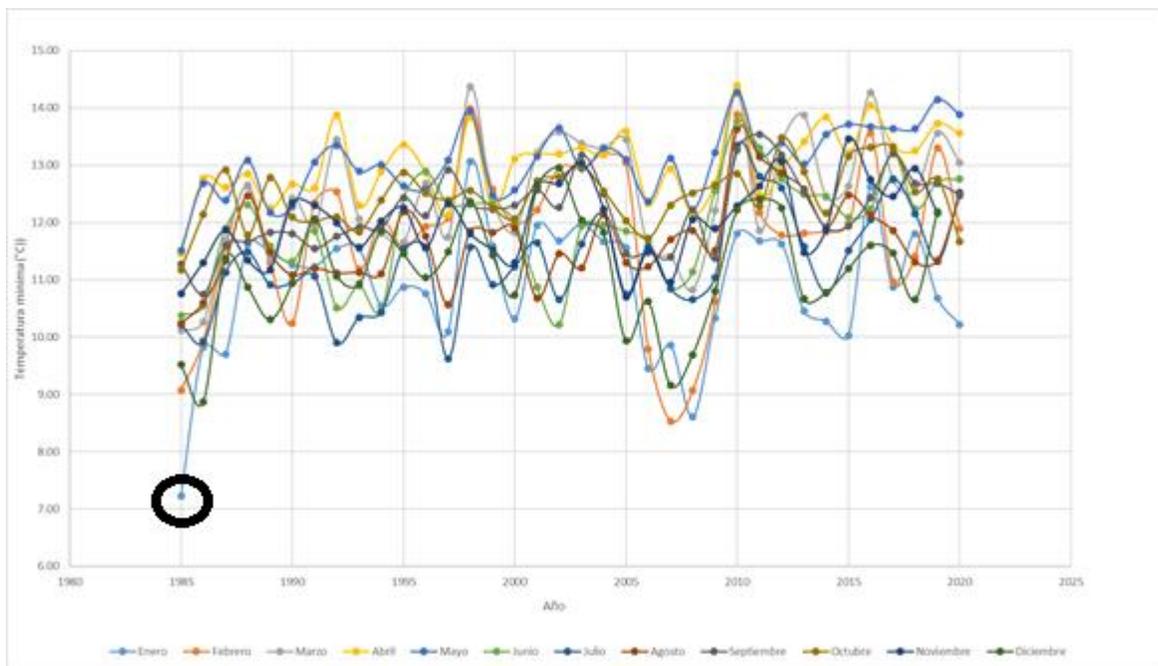
### 5.1.1. Meteorología de Molagavita

Para determinar y conocer la meteorología del municipio de Molagavita, Santander se obtuvieron datos de un servidor meteorológico online llamado Meteoblue, el cual fue creado en la universidad de Basilea, Suiza que ofrece datos en tiempo real basados en predicciones del tiempo real para cualquier lugar en la tierra. A continuación, se muestran variables que inciden en la investigación como, por ejemplo: Temperatura mínima, Temperatura media, Temperatura máxima,

Precipitación, Velocidad del viento mínima, Velocidad del viento media y Velocidad del viento máxima.

Las Temperaturas mínimas desde 1985 hasta el año 2020 se pueden observar en la gráfica 1, en ella, se puede observar que estos valores tienen una oscilación 7,5 y 14,5 Grados Celsius. Además de ello, a través del tiempo han existido tendencias de temperaturas mínimas entre los años de 2005 y 2010, y una tendencia a Temperaturas relativamente altas en el año 1997. Sin embargo, el año 1985 ha tenido el valor más bajo a través del tiempo evaluado el cual se acerca a los 7 grados Celsius.

*Figura 2 Temperatura mínima del municipio de Molagavita.*

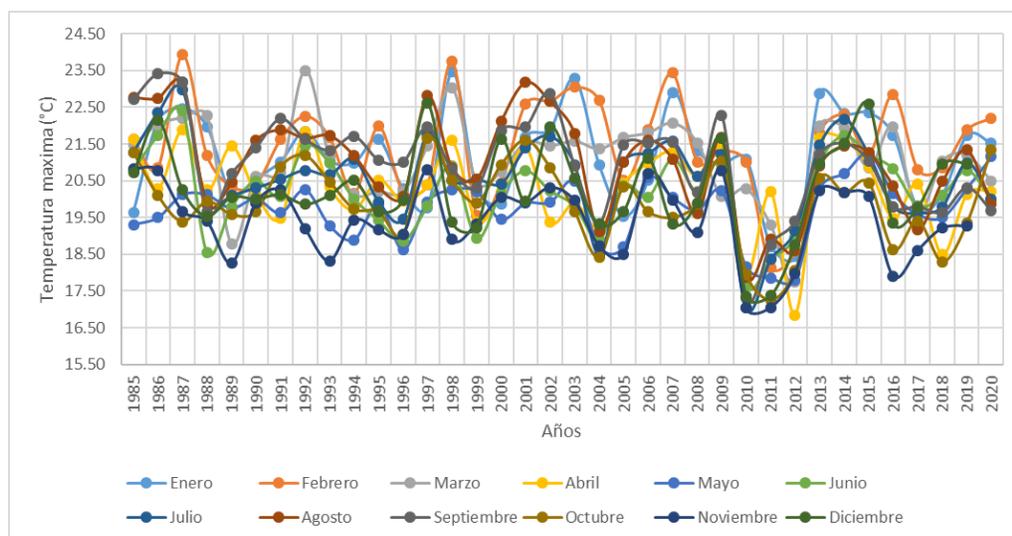


*Fuente: Largo, E (2020), elaborado a partir de los datos suministrados por Meteoblue.*

La grafica 2 representa los datos obtenidos desde el servidor Meteoblue, donde muestra claramente temperaturas mayores a las registradas normalmente, estos

valores tienen una oscilación suave donde su valor mínimo son 17 Grados Celsius y su valor máximo es 25 grados Celsius. Además, se observa que los años con temperaturas máximas mínimas están entre el 2010 y 2014, sin embargo, las temperaturas más altas se han registrado en el año de 1998 con un valor cercano a los 24.5 grados Celsius. La temperatura es uno de los parámetros más importantes de la calidad de agua. Afecta la química del agua y las funciones de los organismos acuáticos. La temperatura influye en: La cantidad de oxígeno que se puede disolver en el agua, la velocidad de fotosíntesis de las algas y otras plantas acuáticas y la velocidad metabólica de los organismos California State Water, (2109).

*Figura 3 Grafica de la temperatura máxima del municipio de Molagavita, Santander.*

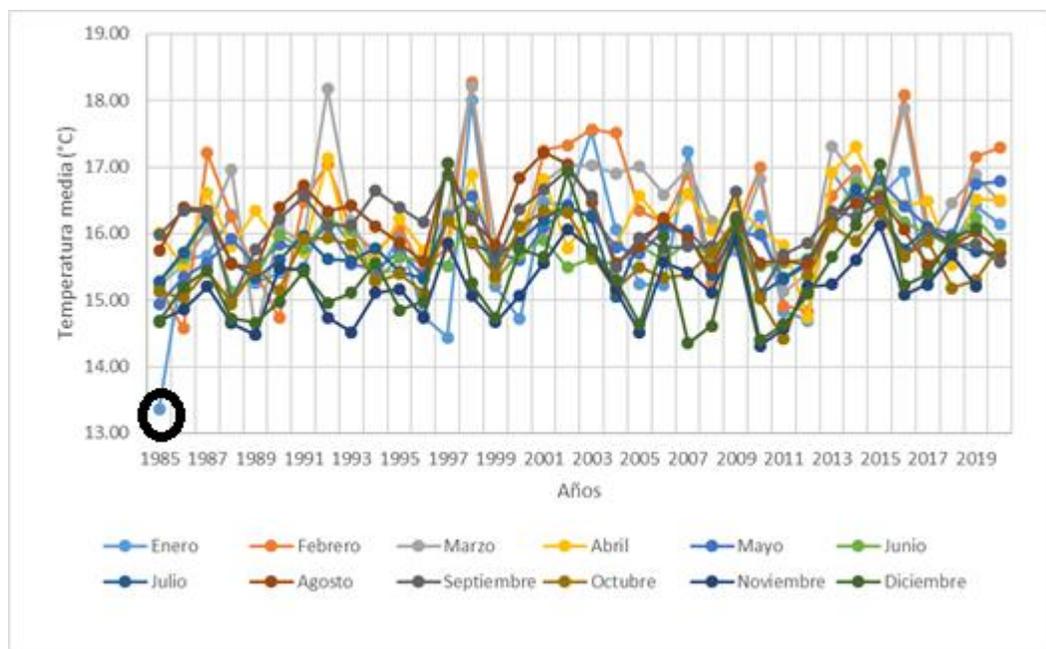


*Fuente: Largo, E (2020), elaborado a partir de los datos suministrados por Meteoblue.*

Para conocer las temperaturas medias registradas a través del tiempo del municipio de Molagavita, Santander debemos observar la gráfica 4, dado que, en ella se ve el comportamiento donde los valores límites han sido 13,5 y 18,5 grados Celsius

respectivamente con un comportamiento normal, es decir, que aún no se han reportado datos atípicos en el servidor Meteoblue. Sin embargo, se ha presentado una temperatura mínima en el año de 1985 como se ha mostrado en las gráficas anteriores.

Figura 4 Gráfica de la temperatura media del municipio de Molagavita, Santander.

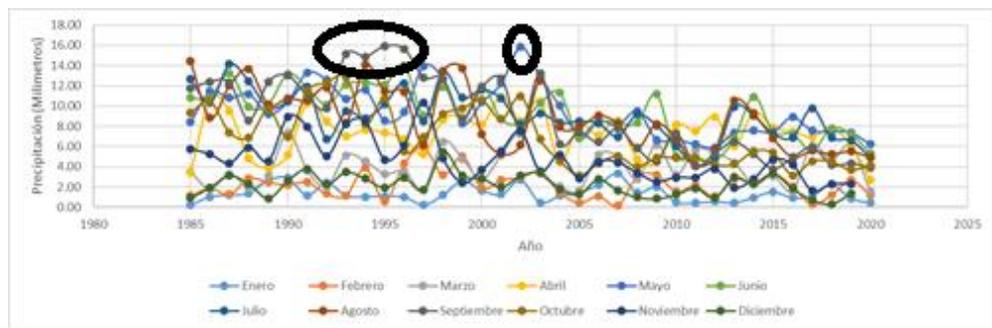


Fuente: Largo, E (2020), elaborado a partir de los datos suministrados por Meteoblue

Para conocer las precipitaciones promedio presentadas en el municipio de Molagavita, Santander, se observa la gráfica 5, la cual muestra la tendencia que ha venido teniendo a través del tiempo, como, por ejemplo, el comportamiento normal entre los años de 1985 y 2002, además de eso, la disminución de la cantidad de precipitación a partir del año 2003 hasta el año 2020. Por otra parte, se resaltan las máximas precipitaciones que se han presentado las cuales han sido en los años de 2003, 1996, 1995 y 1993. Esta variable meteorológica incide directamente en la

calidad del agua y los sedimentos; dado que, al tener cultivos en la zona cercana al tramo del Río se va a tener escorrentía de los pesticidas utilizados para la mejora de los productos de la región.

Figura 5 Grafica de la precipitación del municipio de Molagavita, Santander.

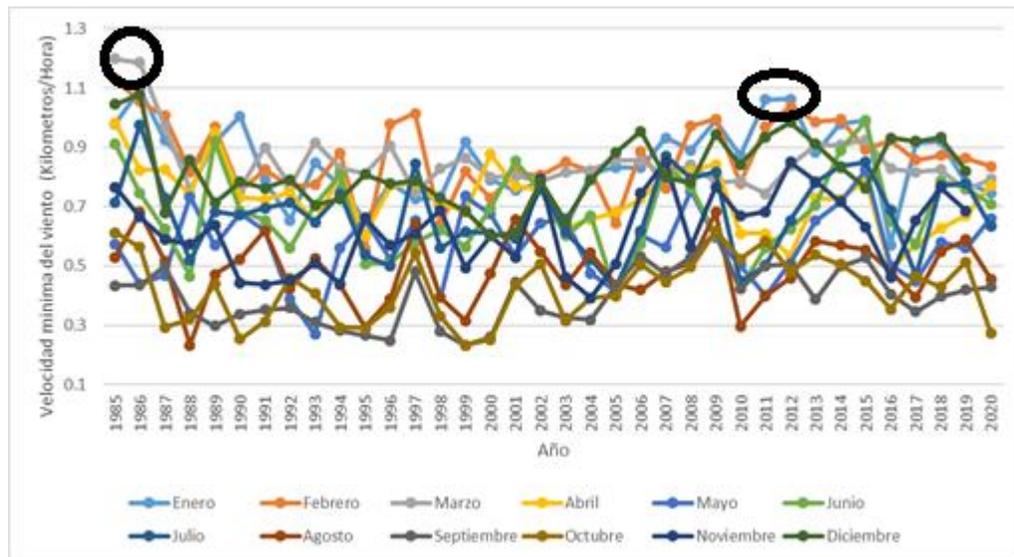


Fuente: Largo, E (2020), elaborado a partir de los datos suministrados por Meteoblue.

Para conocer el comportamiento de las velocidades de los vientos tanto máximas como medias y mínimas debemos basarnos en datos proporcionados por el servidor Meteoblue. A continuación, se muestra el comportamiento que ha venido teniendo a través del tiempo desde el año 1985 hasta 2020.

En la gráfica mostrada se observa el comportamiento que ha venido teniendo la velocidad del viento mínima. En ella se observa que los vientos máximos se han presentado entre 1985 y 1986 con valores cercanos a los 1.3 Kilómetros \* Hora <sup>-1</sup> y a partir de ahí ha tenido un comportamiento con valores menores que los años anteriormente mencionados. Sin embargo, a partir del año 2010 se observa una tendencia a ser mayores que los años anteriores, pero después del año 2015 estos valores han disminuido poco a poco.

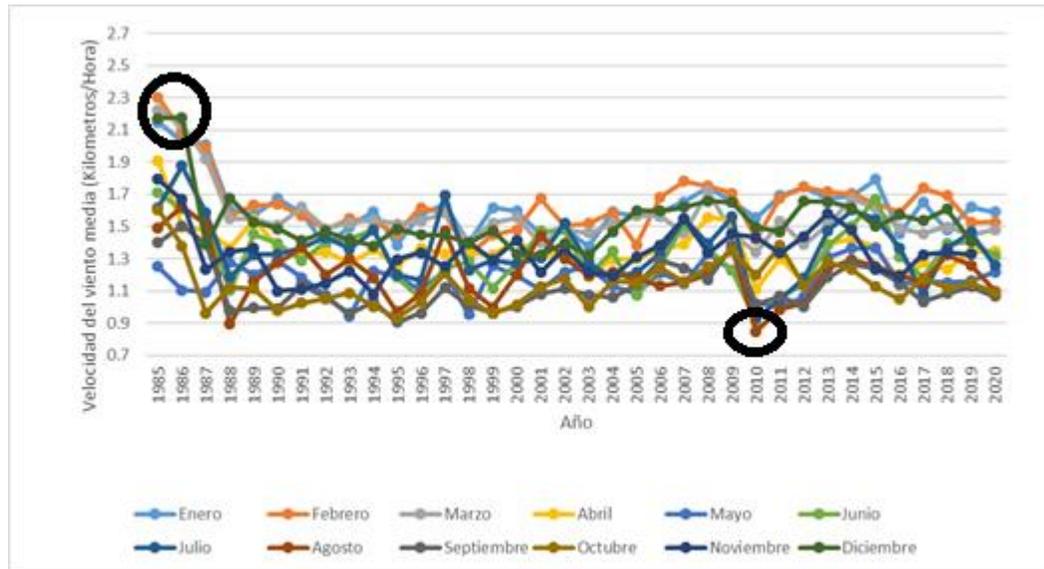
Figura 6 Gráfica de la velocidad del viento mínima del municipio de Molagavita, Santander.



Fuente: Largo, E (2020), elaborado a partir de los datos suministrados por Meteoblue.

La velocidad del viento media a través del tiempo presenta una disminución desde el inicio de los años evaluados; es decir, desde el año 1985 hasta el año 1988 como lo muestra la gráfica 7; sin embargo, a partir de ese último año mencionado se ha presentado un comportamiento no, pero con valores entre 1 y 1.7 Kilómetros \* Hora <sup>-1</sup>. Además de eso, en el año 2010 se tienen los registros más bajos de velocidades mínimas con un valor menor a 1 Kilometro \* Hora <sup>-1</sup>. Esto significa que esta variable a presentado valores máximos y mínimos según los datos multianuales que se tienen.

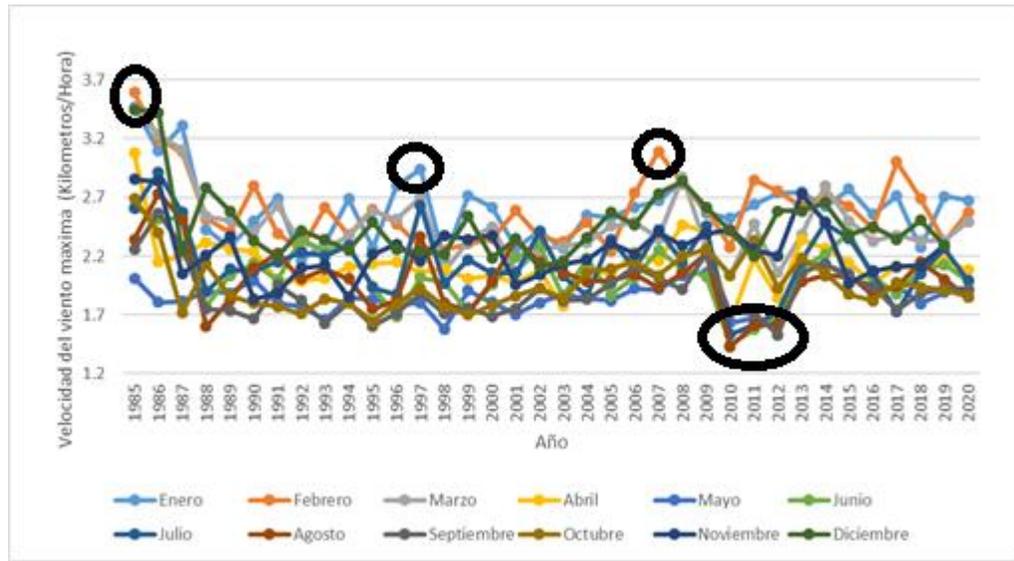
Figura 7 Gráfica de la velocidad del viento media del municipio de Molagavita, Santander.



Fuente: Largo, E (2020), elaborado a partir de los datos suministrados por Meteoblue.

Para conocer las velocidades máximas del municipio de Molagavita, Santander se presenta la gráfica 8, la cual muestra un comportamiento no uniforme; es decir, ha presentado valores máximos para el año 1985, 1986 y 1987, sin embargo; se han presentado valores mínimos para el año 2010 como se ha visto anteriormente en otras gráficas. Por otra parte, el comportamiento de esta variable ha tenido valores entre 1.3 y 3.6 kilómetros\*Hora ( $\wedge$ -1).

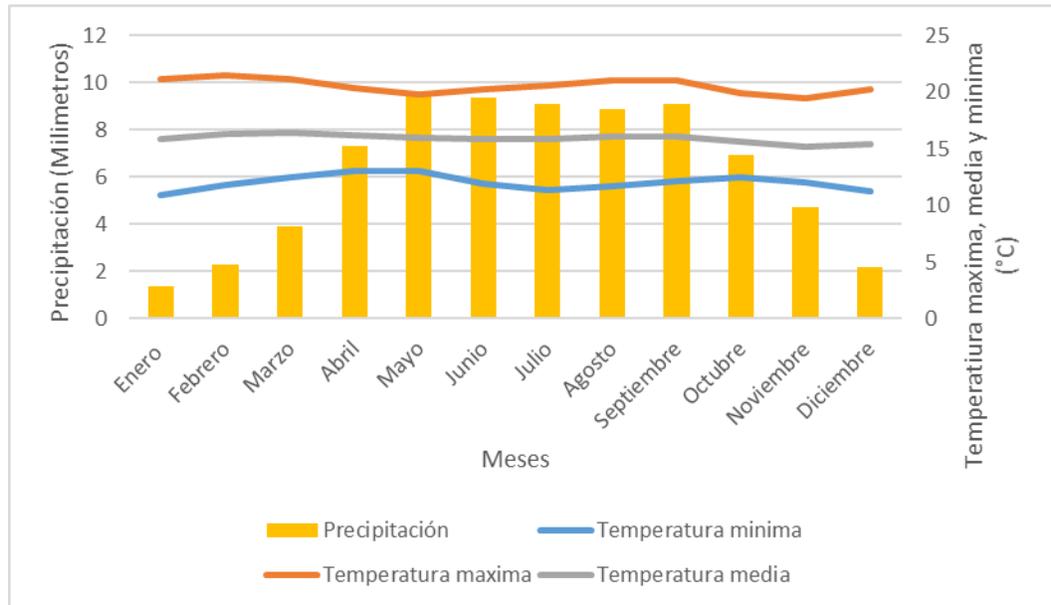
Figura 8 Gráfica de la velocidad de viento máxima del municipio de Molagavita, Santander.



Fuente: Largo, E (2020), elaborado a partir de los datos suministrados por Meteoblue

Conociendo el comportamiento de las variables meteorológicas como precipitación, temperatura máxima, temperatura media y temperatura mínima del municipio evaluado se presenta una comparación en la gráfica 9, la cual muestra el comportamiento de estas variables con promedios mensuales desde 1985 hasta 2020, en ella nos damos cuenta que cuando se han presentado temperaturas mínimas las precipitaciones son altas, es decir presentan un comportamiento inverso; esto quiere decir que a si una variable aumenta la otra disminuye. También se observa que los meses de enero, febrero y diciembre es donde menos precipitaciones presentan y de igual manera donde se presentan las temperaturas más altas registradas.

Figura 9 Gráfica de Precipitación, temperatura máxima, media y mínima de Molagavita, Santander.



Fuente: Largo, E (2020), elaborado a partir de los datos suministrados por Meteoblue.

### 5.1.2 Meteorología de Capitanejo

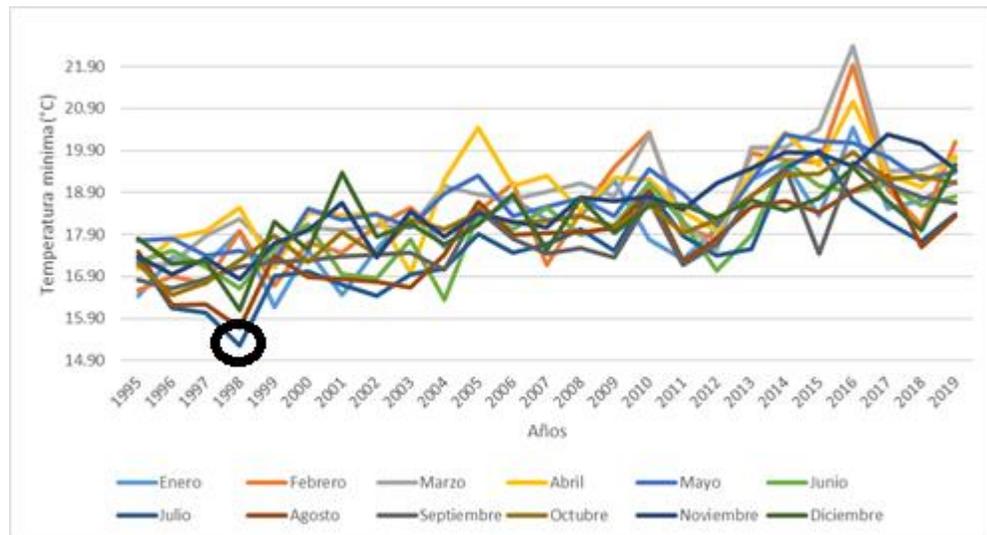
De igual manera, para conocer la meteorología del municipio de Capitanejo, Santander se utilizó el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el cual, brinda datos como, por ejemplo: Temperatura mínima, Temperatura máxima, Precipitación, Caudal, Nivel y evaporación teniendo en cuenta la disponibilidad tanto en años como en las estaciones meteorológicas de cada zona a evaluar.

Sin embargo, se obtuvieron datos faltantes por parte de la plataforma, para lo cual se utilizó un software estadístico llamado InfoStat, el cual arrojó estos datos que no se tenían de acuerdo a la metodología de Manhattan con variables estandarizadas hasta del 65%.

Para determinar la temperatura mínima se evaluaron años desde 1995 al 2019 teniendo en cuenta la disponibilidad de los datos en la estación meteorológica del IDEAM ubicada en el municipio de Capitanejo.

En la gráfica 10, se observa una tendencia que va en crecimiento de los valores de esta variable, es decir, a partir del año 1985 las Temperaturas mínimas en el municipio han venido en aumento con el transcurrir de los años. Sin embargo, ha existido un año en el cual las temperaturas han tenido valores cercanos a los 14.9 Grados Celsius, es decir, ese valor de temperatura ha sido el más bajo hasta el día de hoy.

*Figura 10 Grafica de la temperatura mínima del municipio de Capitanejo, Santander.*

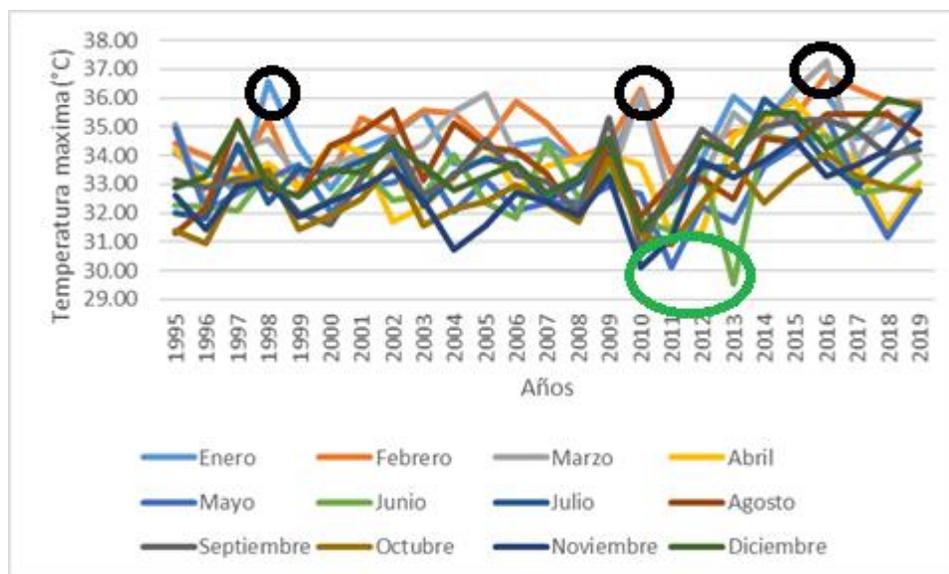


*Fuente: Largo, E (2020), elaborado a partir de los datos suministrados por IDEAM*

De igual manera, en la gráfica 11 se observa la temperatura máxima, la cual presenta una oscilación entre 37,5 y 29 grados Celsius. Esto nos da a conocer que no se han presentado registros de valores de temperaturas máximas atípicas, pero si unos valores mínimos para los años 2010, 2011 y 2013 con temperaturas por debajo de los 31 Grados Celsius. Además, se han presentado valores máximos para los años de 1998 y

2016 con valores cercanos a los 37.5 Grados Celsius, esto quiere decir que el tramo de Rio Chicamocha pudo presentar una variación en el oxígeno y cambios en los procesos fisicoquímicos del mismo, dado que la temperatura está directamente relacionada con estos factores que se presentan en cuerpos hídricos.

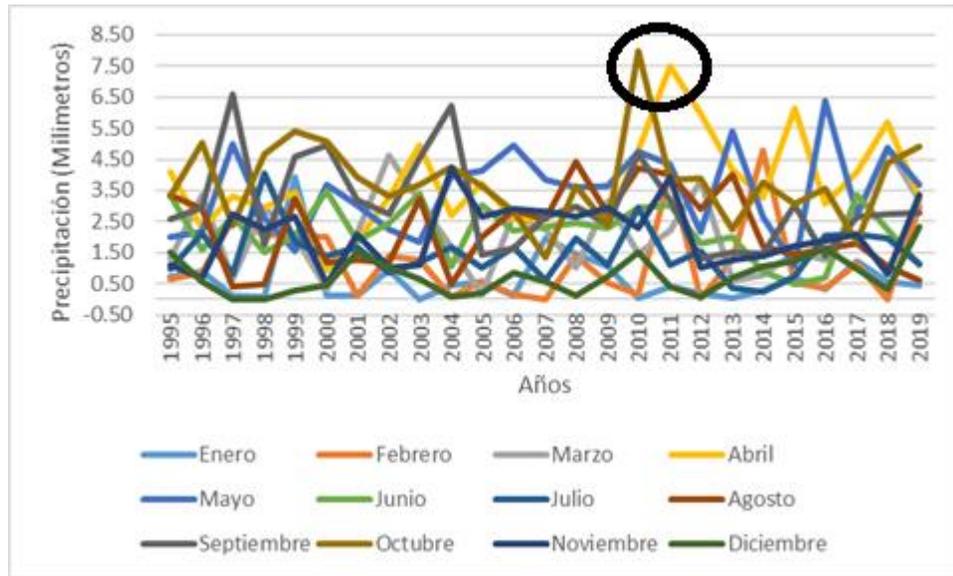
Figura 11 Grafica de las temperaturas máximas del municipio de Capitanejo, Santander.



Fuente: Largo, E (2020), elaborado a partir de los datos suministrados por IDEAM.

Por otra parte, para conocer la precipitación en el municipio de Capitanejo, Santander se observa la grafica 12; la cual da a conocer los valores que ha tenido esta variable a través del tiempo, en ella se ve que, en los años 2009, 2010 y 2011 han sido mayores en relación a los demás años con valores cercanos a los 8.5 Milímetros. En cambio, se ha presentado una variabilidad con un valor entre los 0,3 y 4.5 milímetros.

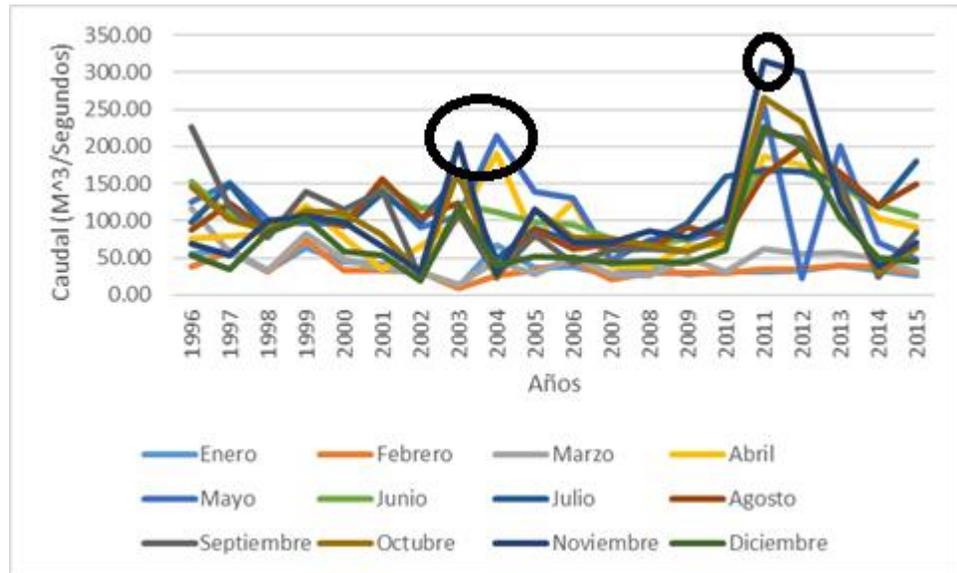
Figura 12 Precipitaciones del municipio de Capitanejo, Santander.



Fuente: Largo, E (2020), elaborado a partir de los datos suministrados por IDEAM.

De igual manera, en la gráfica 13 se observa que el caudal medio diario del río Chicamocha ha presentado valores máximos para los años de 2003 en noviembre, 2004 y 2011 superando valores a los  $200 \text{ metros}^3 \cdot \text{Segundos}^{-1}$  pero para el año 2003 y 2011 en el mes de febrero presento unos valores por debajo de los  $100 \text{ metros}^3 \cdot \text{Segundos}^{-1}$ ; es decir, en ese mismo año hubo una creciente pero también el nivel más bajo del río a través del tiempo evaluado. Esto se debe a las variaciones en precipitaciones y a los caudales que trae el Río Chicamocha aguas arriba de la zona de estudio.

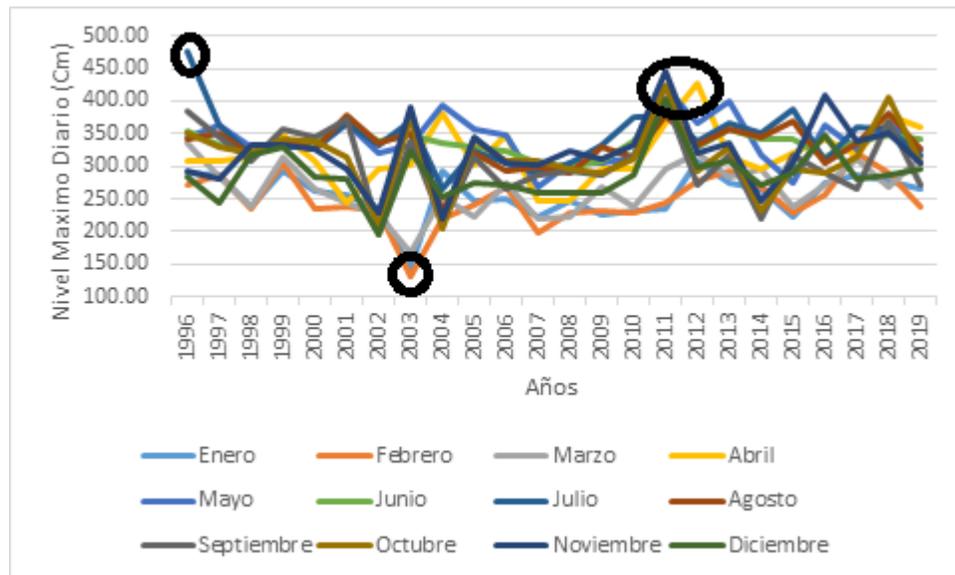
Figura 13 Grafica del caudal medio diario del Rio Chicamocha.



Fuente: Largo, E (2020), elaborado a partir de los datos suministrados por IDEAM.

Además, para conocer el nivel máximo diario que ha tenido el Rio Chicamocha en el municipio de Capitanejo tenemos la gráfica 14, donde se observa que, en los años de 1996, 2011 y 2012 se han tenido valores más grandes que los demás años, así como el caudal medio diario observado anteriormente, sin embargo, han existido valores mínimos para los años 2003 y 2007 donde las precipitaciones también han sido mínimas.

Figura 14 Grafica del nivel máximo diario del Rio Chicamocha.

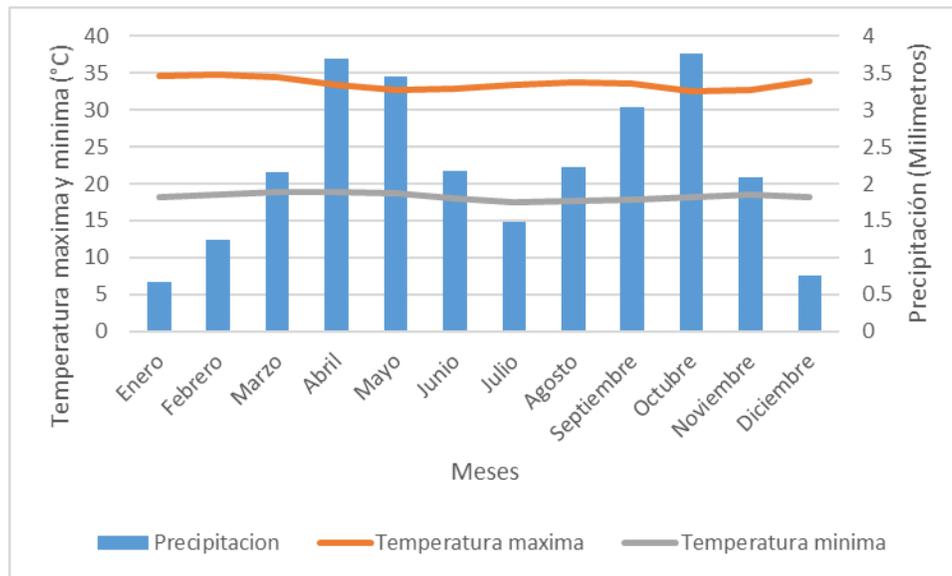


Fuente: Largo, E (2020), elaborado a partir de los datos suministrados por IDEAM.

Por último, conociendo el comportamiento de las variables de precipitación, temperatura máxima, y temperatura mínima se observa una comparación en la gráfica 15, teniendo en cuenta los promedios mensuales a través del tiempo. En ella se puede observar que el comportamiento es normal, dado que, cuando se presentan temperaturas altas cercanas a los 35 Grados Celsius, las precipitaciones han sido muy bajas con valores cercanos a un milímetro. Es decir que estas variables presentan un comportamiento inverso, así como sucedió con el municipio de Molagavita Santander.

Al conocer estos comportamientos de los municipios involucrados en la investigación nos damos cuenta que el tramo que comprende la investigación no ha presentado fenómenos climáticos que incidan en el comportamiento de los parámetros físicos y químicos de calidad de agua.

Figura 15 Grafica de los promedios mensuales de Caudal, precipitación, temperatura mínima y máxima del municipio de Capitanejo, Santander.



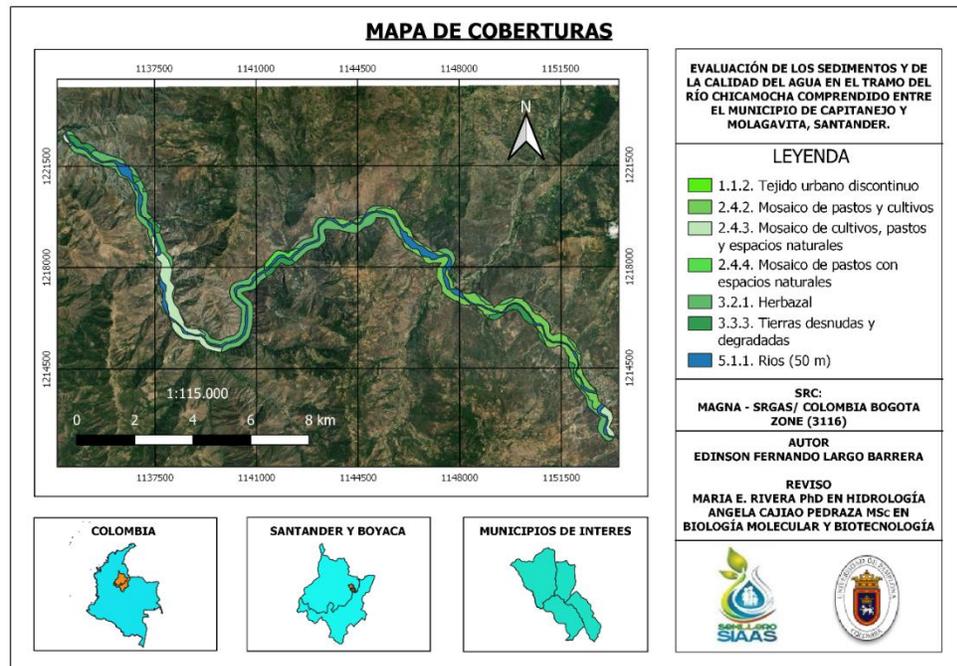
Fuente: Largo, E (2020), elaborado a partir de los datos suministrados por IDEAM.

La grafica mostrada tienen en cuenta los valores mensuales tomados desde 1995 hasta 2020, en ella se da a conocer la relación que existe entre la temperatura máxima, temperatura mínima, la precipitación y el caudal medio diario del Rio Chicamocha. En ella se ve que en los meses de octubre y abril las precipitaciones son las más altas, pero los caudales más grandes que se presentan son en mayo, junio y julio esto se debe a que se pueden presentar precipitaciones en las partes altas del tramo. Además, las temperaturas máximas se tienen en los meses de enero y diciembre donde se ve que el caudal del tramo del rio es mínimo en comparación a los demás meses.

### 5.1.3 Cobertura vegetal

En la figura 16 se observa el mapa de cobertura vegetal de la zona de estudio, el cual consta de 33 kilómetros donde se encontraron herbazal, mosaicos de pastos y cultivos, mosaicos de pastos con espacios naturales, tierras desnudas y degradadas, entre otras (ver tabla 1).

Figura 16 Mapa de cobertura vegetal.



Fuente: Mapa de cobertura vegetal. Elaborado en QGIS Desktop 3.14.16 por Largo E, 2020.

Tabla 1 Áreas de las coberturas presentes.

Leyenda	Área (Hectáreas)
Herbazal	20197,62987

Mosaico de pastos y cultivos	839,2289949
Tejido urbano discontinuo	66,10420548
Mosaico de pastos con espacios naturales	1729,909973
Tierras desnudas y degradadas	701,0974755
Ríos (50 m)	166763,5587
Área Total	190297,5292

*Fuente: Elaborado por Largo E, 2020.*

En la figura 17, se observa, la cobertura de la zona de estudio, en el cual se establece que las más predominante es la cantidad de ríos que se tienen con un área mayor a 16500 Hectáreas y como poco común se encontraron tejidos urbanos discontinuos con un área menor a 50 Hectáreas.

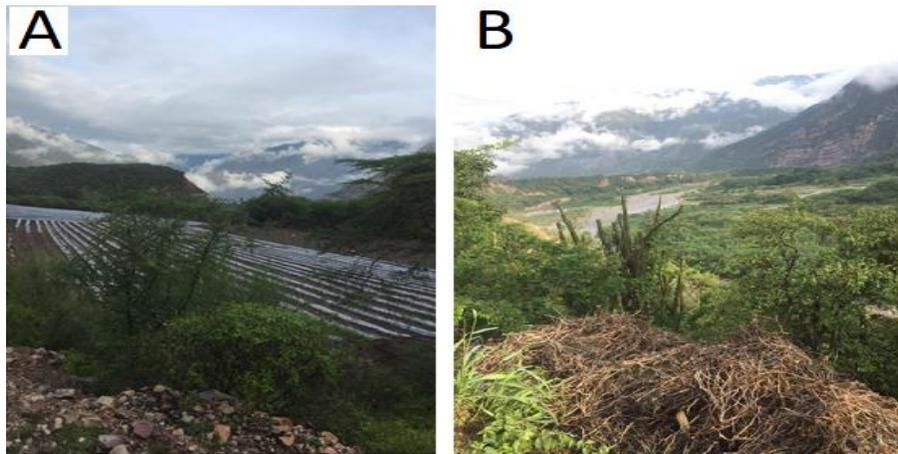
Figura 17 Grafica de las áreas establecidas.



Fuente: Elaborado por Largo E, 2020.

En la fotografía 1 se observan los cultivos y difernetes coberturas encontradas en la visita a campo.

Fotografía 1 Coberturas vegetales observadas en la zona de estudio.

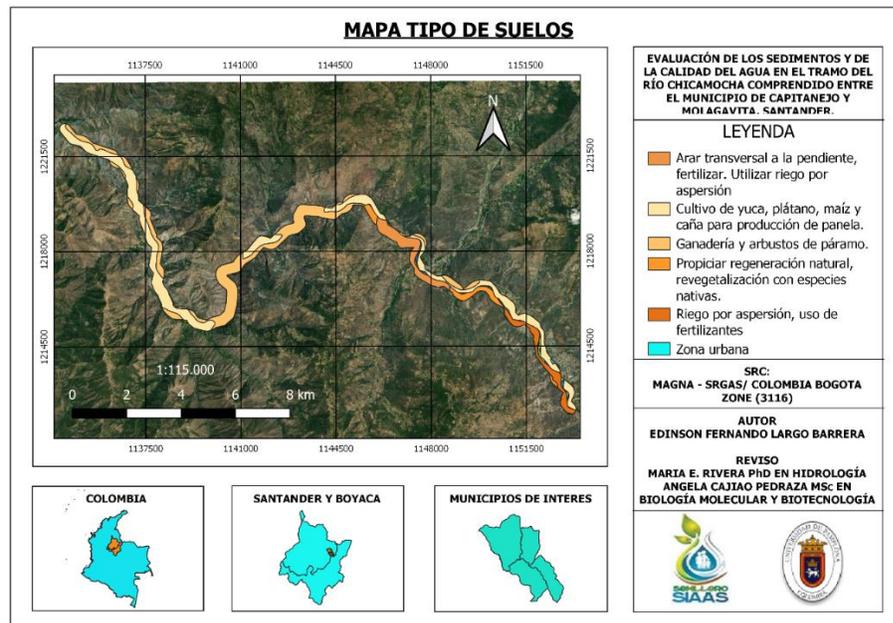


Fuente: Largo E, 2020.

### 5.1.4 Uso del suelo

En la figura 18 y tabla 2 se puede evidenciar que los usos de suelo se encuentran, utilización de riegos por aspersión en cultivos, cultivos de caña para la producción de panela, cultivos de yuca, cultivos de plátano, ganadería y un poco de zona urbana que es lo comprendido en el municipio de Capitanejo, Santander.

Figure 18 Mapa de tipo de suelos.



Fuente: Mapa de usos del suelo. Elaborado en QGIS Desktop 3.14.16 por Largo E, 2020.

Tabla 2 Áreas de los tipos de suelos encontrados.

PRACTICAS Y USO DEL SUELO	ÁREA (Hectáreas)

Riego por aspersión, uso de fertilizantes	604,6817703
Arar transversal a la pendiente, fertilizar, Utilizar riego por aspersión	576,8442739
Regeneración natural, programas de recuperación integral de suelos	613874,8978
Cultivo de yuca, plátano, maíz, tabaco.	2680,80961
Ganadería y bosques intervenidos, pastos con rastrojo,	468120,3814
Zona urbana	15,58248426
Área Total	1085873,197

*Fuente: Elaborado por Largo E, 2020.*

## **5.2 Antecedentes**

Para Rendón *et al.* (2010), la búsqueda de indicadores adecuados y el seguimiento de los mismos se determinó mediante el monitoreo de la calidad de aguas, sedimentos y suelos en puertos de Colombia, basados en la revisión de parámetros de la calidad de agua y sedimentos propuestos por el Instituto de investigaciones marinas y costeras, INVEMAR, con una amplia experiencia en el

tema, además, de la revisión de la normatividad nacional e internacional sobre los valores de referencia para contaminantes en las aguas, sedimentos y suelos. La propuesta está fundamentada en el diagnóstico de las acciones desarrolladas por los puertos relacionados con el seguimiento de la calidad del agua, sedimentos y suelos, identificando las fortalezas y diferencias de los programas de vigilancia vigentes, para definir indicadores y/o variables para el monitoreo, con sus metodologías y técnicas.

De igual manera, en el trabajo de Ibárcena (2011), se realizó un estudio de los niveles de contaminación por elementos eco tóxicos en sedimentos marinos por efectos antropogénicos, de los siguientes elementos: Cu, Zn, Cd, As, Hg, Pb y Fe, en la Bahía de Ite, Distrito de Ite, Provincia de Jorge Basadre Grohmann de Tacna, determinando la incidencia que tendrían los mismos sobre la fauna bentónica de la zona, como consecuencia del vertimiento por más de 35 años de los relaves mineros provenientes de las minas de Toquepala y Cuajone. Los resultados obtenidos de los metales eco tóxicos Cu, Zn, As, Cd, Hg, Pb, Fe, analizados que se encuentran en los sedimentos superficiales de la Bahía de Ite, en orden decreciente son:  $Fe > Cu > Zn > As > Pb > Cd > Hg$ .

Además, Solaun, *et al.* (2008), presenta la cartografía de sedimentos y el contenido en metales (As, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn) y compuestos orgánicos (policlorobifenilos (PCBs), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), DDT, hexaclorobenceno (HCB), hexaclorociclohexano (HCH), aldrín, dieldrín, trans-nonaclor) en los 12 estuarios del País Vasco, muestreados entre 1998 y 2001. Posteriormente se realiza una evaluación de la contaminación de dichos sedimentos,

utilizando los niveles de fondo, factores de contaminación e índices de carga contaminante, así como valores de toxicidad (rango de efectos bajo y medio). En el estudio se relacionan las posibles fuentes de contaminantes, tanto industriales como urbanas, en cada estuario con su concentración en el sedimento.

Así mismo, Laino *et al*, (2015), presenta una evaluación sobre la concentración de metales pesados en la cuenca alta del río Grijalva en micro cuencas cuyos ríos abastecen de agua a comunidades de la región fronteriza México-Guatemala por sus posibles riesgos para la salud humana. Además, en virtud de las acciones actuales de prospección y del interés por el desarrollo de la minería en el futuro próximo, este estudio puede brindar valores de referencia sobre los cuales se pueda evaluar el impacto ambiental de tales actividades en la región. Se evaluó el contenido de metales (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn) en agua superficial y en sedimentos durante la época de lluvias (agosto de 2011 y junio de 2012) y en época seca (enero de 2012 y diciembre de 2012) en las cuencas de los ríos Xelajú y Bacantón, así como en las subcuentas de los ríos Allende, Buenos Aires, Molino y Carrizal.

Así pues, en el ámbito del País Vasco se han realizado numerosos trabajos en los que se ha contemplado el estudio de la contaminación de sedimentos estuáricos y costeros, tanto por metales pesados como por compuestos orgánicos. En ellos se ha puesto de manifiesto que, en algunos sistemas, como los estuarios del Nerbioi, Oiartzun y Deba, las concentraciones de algunos metales son muy elevadas según

Borja *et al.*, (2002), superando en ocasiones los niveles establecidos como estándares de calidad en otros países.

Sin embargo, Sutcliffe *et al.* (2019), argumenta que las actividades antropogénicas, como la minería y la agricultura, han dado como resultado que muchos sistemas de agua dulce tengan concentraciones elevadas de cobre. A pesar de la prevalencia de esta contaminación y la función ecológica vital de los procariontes, solo tres estudios han investigado las respuestas de la comunidad procariota a la concentración de cobre en los sedimentos de agua dulce. Igualmente La problemática de la contaminación marina y su marcada influencia en la salud de los ecosistemas costeros, está estrechamente relacionada con el aumento creciente de las poblaciones que habitan las zonas costeras y, de igual manera, con el incremento de las actividades domésticas, agrícolas e industriales que, por el mal manejo e inadecuado control de los desechos sólidos y líquidos, afectan el medio marino con significativas implicaciones a nivel ecológico, socioeconómico y de salubridad (Marín *et al.*, 2005).

Por otra parte, Argumedo, Gómez y Marrugo (2017), realizaron una investigación en Colombia y habla acerca de la principal fuente hídrica, en el departamento de La Guajira, la cual es el río Ranchería, al que llegan tres fuentes principales de contaminación, de origen antrópico: aguas residuales domésticas de los municipios por donde transita, residuos de las actividades de minería de carbón a cielo abierto de El Cerrejón y escorrentía derivada de sectores agrícola y ganadero de la región por el uso del suelo. Por lo anterior, se investigó la variación de la

concentración en metales pesados en sedimentos, para evaluar su posible grado de contaminación y fuente.

Por último, la caracterización de sedimentos, se realiza con la finalidad de conocer las condiciones químicas actuales de los sólidos presentes en el lecho de los cuerpos de aguas loticas y lenticas, ya que actúan como depósitos naturales de una variedad de restos biológicos, químicos y contaminantes presentes en las masas de agua, además de conservar un registro histórico de lo acontecido en el lugar y ayuda a identificar los elementos que causan toxicidad en el ecosistema acuático (Cárdenas, 2011).

Otro elemento importante a tener en cuenta es el plástico, dado que según Manrique (2019) son difíciles de remover, funcionan como vectores de contaminantes e interfieren con el metabolismo de especies a lo largo de la cadena trófica. Luego de ser liberados al ambiente acuático, oceánico o fluvial, los micros plásticos tienden a acumularse en los sedimentos. Hasta donde se sabe, se han realizado pocos estudios sobre micro plásticos en sedimentos en la costa peruana y ninguno en sistemas de agua dulce como ríos, a pesar de ser estos una vía importante de aporte al sistema oceánico. Por esta razón, este trabajo de tesis se enfoca en diseñar una estrategia de monitoreo de micro plásticos en sedimentos fluviales, tomando como unidad ambiental de estudio la cuenca baja hasta la desembocadura del río Jequetepeque (región La Libertad, Perú).

Igualmente, Olabarrieta (2017) expone una posición clara sobre la abundancia de micro plásticos, argumentando que el micro plástico y sus efectos llaman cada vez más la atención y preocupan en todo el mundo. Sin embargo, apenas se está empezando a analizar la magnitud del problema y no hay muchos estudios al respecto. Por consiguiente, el plástico es uno de los materiales más utilizados hoy en día en muchos productos distintos debido a su característica moldeable y ligera. Son estas mismas características las que lo hacen casi indestructible, por lo que el desechar plásticos es problemático y puede afectar seriamente ecosistemas enteros (UNEP, 2005).

También cabe resaltar que en los últimos años la problemática de la contaminación por micro plástico se ha hecho más notoria. Actualmente se conoce que estas partículas inferiores a los 5 milímetros pueden llegar a ocasionar problemas tanto a nivel eco sistémico como a nivel de salud debido a la toxicidad de sus componentes. A pesar de esto la información sobre este tema se ha enfocado más en los océanos dejando a un lado los ríos los cuales son los que poseen una mayor contaminación por estas partículas y los conducen a los océanos, y la información está limitada a ciertos países del hemisferio norte (Donoso, 2018).

Aunque la contaminación de los mares por plásticos es un problema que preocupa desde hace años, aún no existe una estimación de la cantidad de este material que acaba en los océanos cada año. El hecho de que la mayoría de los residuos se hundan y acumulen en los sedimentos o se incorporen a la cadena alimenticia, dificulta llegar a una estimación aproximada de la cantidad de residuos

plásticos que se encuentran en nuestros mares y océanos (Jambeck *et al.*, 2015). Sin embargo, la producción global de plásticos entre 1950 y 2009, mostró un incremento considerable. En 1950, se producían 1.5 millones de toneladas de plástico y esto incrementó a 230 millones de toneladas en 2009, Gioia *et al.*, (2008). Para 2010 la producción anual incrementó aún más, a 265 millones de toneladas PEMRG (2011). Si esta tendencia continúa, otros 33 miles de millones de toneladas se habrán acumulado en el planeta para el año 2050.

Según Shim *et al.*, (2016), la producción mundial de plástico ha aumentado en las últimas décadas, debido a su bajo costo en producción, versatilidad y durabilidad en el tiempo (Li *et al.*, 2018). El plástico se está utilizando ampliamente en diferentes actividades como en construcción, agricultura, equipos de salud y uso doméstico, incluso está reemplazando el uso de otros tipos de materiales como vidrio y metal (Dehghami *et al.*, 2017). En la actualidad el plástico constituye el 10 % de los desechos municipales a nivel mundial (Barnes *et al.*, 2009) pero solo una pequeña fracción de estos son reciclados (Dehghami *et al.*, 2017).

No obstante, en los últimos años ha crecido la preocupación de la contaminación por micro plásticos en el medio marino según Cózar *et al.*, (2014), ya que se ha podido comprobar que la contaminación por parte de estas micro partículas de plástico es muy elevada Rochman *et al.*, (2013). Aunque Los efectos de exposición al micro plástico han sido ampliamente reportados en organismos acuáticos, evidenciando cambios morfológicos, comportamiento y reproductivos. No obstante, existe escasa o nula evidencia en sistemas terrestres y edáficos, Cifuentes (2018).

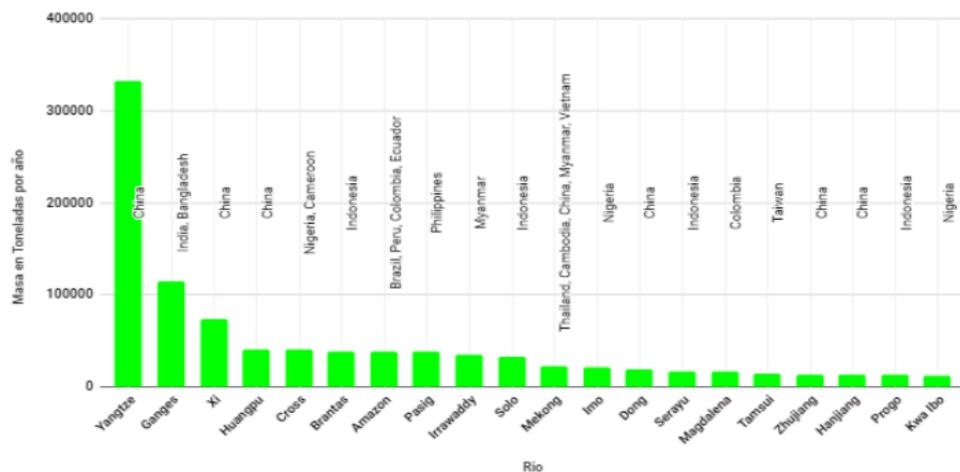
### 5.3 Marco teórico

#### 5.3.1 Contaminación de los ríos

En América Latina, los conflictos generados por el desmesurado crecimiento poblacional, la explotación de los recursos, las actividades agrícolas, la mala gestión de los residuos y la industrialización han generado problemas a nivel de manejo de cuencas hidrográficas. Esto ha generado un crecimiento irregular e inestable de acciones para el manejo de las cuencas ocasionando afecciones a los cursos y cuerpos hídricos (Dourojeanni, 1994). Este ha producido que en los ecosistemas acuáticos entren contaminantes, lo cual genera problemas de eutrofización de ríos, haciendo que estos vayan perdiendo su capacidad para albergar vida (Navalpotro et al., 2009).

En la figura 19, Lebreton *et al*, (2017) muestra, que los ríos que más han sido contaminados por elementos plásticos en un año. En el caso de Colombia se encuentra el Rio Amazonas y el Rio Magdalena con un valor menor a las 10.000 toneladas anuales, esto implica que los demás ríos que son formadores de él, también presenten plásticos a lo largo de ellos.

Figura 19 Ríos más contaminados en el mundo.



Fuente: Lebreton *et al*, (2017)

### 5.3.2 ¿Qué son los micro plásticos?

Son partículas de polímero orgánico sintéticos con una dimensión entre 100 nm<sup>-5</sup> mm, producto de la degradación de partículas más grandes o que han sido desechadas (Frere et al., 2017). Estos micro plásticos al ser liberados al ambiente pueden provocar una serie de consecuencias medioambientales como son pérdidas a nivel eco sistémico (Duis et al., 2016).

El micro plástico, como su nombre sugiere, consiste en partículas minúsculas de plástico (Arthur et al., 2009), un término que se le atribuye a Thompson y su equipo (2004). En la actualidad se debate el límite dimensional del micro plástico. Algunos autores consideran que son los <5 mm, mientras que otros lo restringen <2 mm, <1mm o incluso <0.5 mm (Cole, Lindeque, Halsband, & Galloway, 2011).

Clasificación por tamaño de muestras de plásticos según Blair et al., (2017).

*Tabla 3 Clasificación de partículas de plástico.*

Prefijo	Clasificación	Rango de tamaño
Nano	Nano, micro	No
	milímetro (NMM)	disponible
	Nano plástico	< 0.2 mm
		< 100 mm
Micro	Micro basura	Apx. 0.06-0.5 mm

	Micro plástico	< 0.5 mm
		0.333-5mm
	Micro fragmentos	< 2 mm
		< 1 mm
		0.2-1mm
	Micro plásticos largos	> 0.3 mm
		1-5 mm
Meso	Meso basura	> 0.5 mm
		5-25 mm
	Meso fragmentos	2-20 mm
		> 5 mm
Macro	Macro plásticos/Macro basura	>25 mm
		20 mm
		> 5 mm
Mega	Mega basura	100 mm

*Fuente: Blair et al., (2017).*

### **5.3.3 Micro plásticos en el medio ambiente**

Los Micro plásticos pueden contaminar la atmósfera, suelos y ambientes acuáticos, siendo los sistemas marinos los que mayor atención reciben. Se han encontrado Micro plásticos en aguas superficiales, fondo oceánico y costas de océanos de todo el mundo, incluyendo en la Antártida, (Thompson, Waller, 2017) sugiriendo que los micro plásticos no solo se acumulan en los giros oceánicos, como sí lo hacen los plásticos de mayor tamaño, sino que se acumulan en los sedimentos. (Medrano, Sánchez 2014).

### **5.3.4 Presencia de micro plásticos en los cuerpos de agua**

Estas partículas han sido documentadas en varias partes del mundo ya que están presentes en cuerpos de agua dulce y sedimentos, terminando en los ecosistemas marinos. Los micro plásticos han sido encontrados en varios niveles de la cadena trófica y su presencia está poniendo no solo en riesgo la salud de los animales sino también de las personas. A esto se le debe sumar la existencia de una brecha de información entre el océano y los ríos, siendo estos últimos en donde existe una mayor información (Anderson et al., 2017).

### **5.3.5 Caracterización de los micro plásticos**

La caracterización de estas partículas se da mediante el uso de un estereomicroscopio, todas las fracciones que se sospeche que son micro plásticos serán analizadas, contadas y estarán clasificadas en las siguientes categorías como son: fragmentos, escapas, películas o pellets para Después ser documentadas. Las

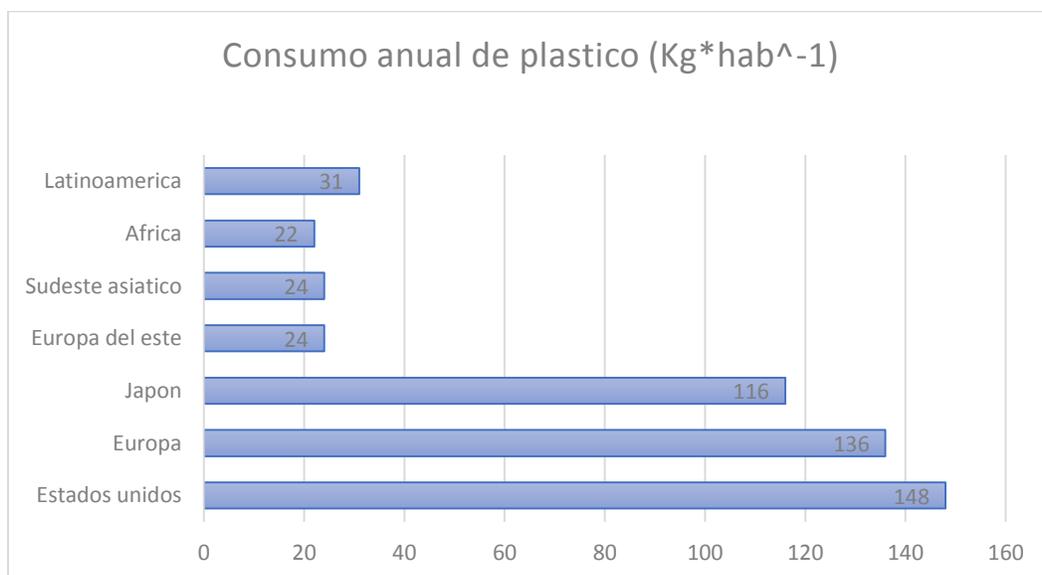
partículas con estructuras suaves o que al momento de ser manipuladas se desintegran serán excluidas del análisis (Talvitie et al., 2017).

### 5.3.6 Consumo de plástico en el mundo

Se estima que desde 1950 hasta el 2015 se han producido 8300 MT de plástico virgen en todo el mundo y se han generado 6300 MT de residuos plásticos, 9 % de las cuales fue reciclado, 12 % fue incinerado y el 79 % restante fue dispuesto en vertederos y al ambiente natural (Geyer, 2017).

En la figura 20 se muestra el consumo anual de plástico  $\text{kg}^*(\text{habitante})^{-1}$  según Salazar, (2016).

Figura 20 Consumo anual de plástico



Fuente: Salazar, (2016)

Por otra parte, el Fondo Mundial para la naturaleza en el año 2019 realiza un balance del consumo de plástico en Colombia, ver figura 21, argumentado que la

alarma en el país ya se lanzó para evitar que el plástico borre la belleza de las costas y opaque la majestuosidad de su biodiversidad. Son muchas las ciudades que se han atrevido a decirle no al plástico de un solo uso.

*Figura 191 Consumo de plástico en Colombia.*

**1.250.000** toneladas de plástico se produce al año en Colombia.

**0,90** kilos diarios de residuos sólidos genera un colombiano al día.

**97.905** toneladas de residuos sólidos son recuperadas en Colombia, según la Andi.



44% de los hogares colombianos clasifican los residuos, pero 7 de cada 10 personas no saben cómo hacerlo correctamente.



55% del plástico producido en el país representa materiales plásticos de envases y empaques.

*Fuente: Fondo Mundial para la naturaleza (2019)*

### **5.3.7 Importancia ambiental del estudio de los micro plásticos**

Como hemos visto, la presencia de estos compuestos sigue en auge, de este modo (Caño, 2020) Argumenta que desde el punto ambiental los micro plásticos afectan a la vida marina, y por ende a todo el ecosistema planetario, convirtiéndose en un problema de salud pública. Algunos plásticos de mayor tamaño provocan la muerte por asfixia o atragantamiento en animales marinos que los ingieren sin darse cuenta. Pero el auténtico problema es el micro plástico, que alteran la calidad de las aguas, estas aguas son absorbidas por plantas y animal y, finalmente, llegan a la cadena alimentaria humana a través de los alimentos que consumimos.

### **5.3.8 Aditivos de los plásticos**

Los plásticos son considerados bioquímicamente inertes, debido a que sus estructuras moleculares, no reaccionan, ni penetran las células de un organismo. Sin embargo, la mayoría de los plásticos no son puros, se les añaden aditivos para adaptarse a la función para la que son requeridos (Hammer et al., 2012). Los aditivos son principalmente de tamaño molecular pequeño, usualmente no están químicamente ligados a un polímero y, por ende, pueden liberarse de los plásticos. Son principalmente lipófilos, por este motivo, pueden penetrar membranas celulares, interactuar bioquímicamente, y causar efectos tóxicos. Además, no solo contienen aditivos, si no también químicos (contaminantes) que adsorben del agua (Andrady 2003, Hammer et al., 2012).

### **5.3.9 Sedimentos**

El transporte de sedimentos de un río se clasifica según el modo de transporte y/o origen del material. Según el origen del material, ya sea del cauce o de la cuenca, los materiales de la cuenca son muy finos (limos y arcillas de  $D < 0.0625\text{mm}$ ) son transportados en suspensión y son considerados como cargas de lavado (si es de la cuenca) o foránea (al cauce). Según el modo de transporte, las partículas pueden ser transportadas por la corriente, o pueden moverse cercanas al fondo ya sea rodando, deslizándose o saltando (depende del tamaño de la partícula). En general si una partícula está en reposo pueden iniciar su movimiento rodando o saltando al superar el umbral de movimiento, pero si la corriente aumenta su velocidad y volumen, la partícula puede ser ahora transportada por suspensión, a mayor intensidad en la corriente, la probabilidad que las partículas vayan suspendidas es mayor. Dado lo

anterior, puede afirmarse que el transporte en suspensión representa casi el 90% de la carga solida de un río, mientras que la carga de fondo define y es causante de múltiples variaciones en el lecho, por ejemplo, puede definir el ancho, la pendiente, la granulometría, el caudal, etc.

### 5.3.10 Características de los sedimentos

En la tabla 4 se presentan las características de los sedimentos según el Departamento de Hidráulica de la Universidad del Cauca.

*Tabla 4 Características de los sedimentos.*

CARATERISTICA	DESCRIPCION
TAMAÑO	Corresponde a la característica física más importante, sin embargo cuando la forma, densidad y distribución granulométrica son parecidas, se puede afirmar que la variación del tamaño define el sedimento.
DISTRIBUCION GRANULOMETRICA	Las características del material de un tramo del río se determinan de acuerdo al promedio de muestras características tomadas en secciones transversales y longitudinales. Su objetivo es encontrar la rugosidad del cauce y la distribución granulometría del material transportado. Se emplean método estadístico que relacionan peso de la partícula retenida en cada tamiz y

---

---

el tamaño de la malla del tamiz. En un río usualmente los sedimentos describen una distribución log-normal.

---

FORMA DE LA PARTICULA	Determinante para conocer el modo del movimiento de la partícula. Ej. Los granos aplanados no se mueven por rotación, pero se desplazan fácilmente con la corriente. La definen la redondez (relación radio medio y radio de circunferencia inscrita en el área proyectada de la partícula), esfericidad (relación área superficial de una esfera y volumen equivalente a la partícula y su área superficial), factor de forma.
-----------------------	---

---

ANGULO DE REPOSO	Depende de la forma de partícula, es el ángulo de máxima pendiente encima de la cual el material no cohesivo permanece en reposo. Corresponde al valor del ángulo que forma el material sin movimiento. Ejemplo: Para tres partículas cilíndricas el ángulo de reposo es de $30^\circ$ , para cuatro esferas $19.46^\circ$ y para cinco esferas cercano a $35.26^\circ$ .
------------------	---

---

DENSIDAD	Relación masa y volumen de la partícula.
----------	--

---

PESO ESPECIFICO	Relación entre peso de la partícula y su volumen y es igual al producto de la densidad y la aceleración de la gravedad.
-----------------	---

---

GRAVEDAD ESPECIFICA	Relación entre la densidad de la particular y la densidad del agua.
---------------------	---

---

---

POROSIDAD	Relación entre volumen de vacíos y volumen del sedimento.
VELOCIDAD DE CAIDA DE UNA PARTICULA	Máxima velocidad que la partícula alcanza cuando cae libremente en el agua.

*Fuente: Departamento de hidráulica de la Universidad del Cauca.*

### **5.3.11 Arrastre de sedimentos**

Según Beltrán *et al*, (2012), el material de sedimento que entra en transporte o arrastre de fondo está constituido por partículas de tamaño considerable, que se deslizan o ruedan siempre en contacto con el fondo a una velocidad menor a la corriente y van generando a su paso diversas formas. Es importante señalar que como el tipo de transporte que se producirá va a depender de las velocidades que presentan las corrientes, entonces un aumento o disminución de dicha velocidad se expresará en un cambio de la modalidad de transporte, debido a que el transporte de suspensión se produce bajo altas velocidades semejantes a las que presenta la corriente.

De igual manera, En la fotografía 2 se observa el diseño de las trampas Bunte realizado por Muñoz F, (2003) como muestreadores adecuados para la obtención de sedimentos y material de arrastre, estoy con el fin de cuantificar, caracterizar y conocer las propiedades de los sedimentos, esto con el fin de reconocer el caudal solido transportado en un cuerpo de agua.

Fotografía 2 Trampa Bunte.



Fuente: Muños F, (2013)

### 5.3.12 Análisis de varianza de un factor (ANOVA)

Vasallo M (2015), argumenta que el análisis de la varianza (ANOVA) es una potente herramienta estadística, de gran utilidad tanto en la industria, para el control de procesos, como en el laboratorio de análisis, para el control de métodos analíticos. Los ejemplos de aplicación son múltiples, pudiéndose agrupar, según el objetivo que persiguen, en dos principalmente: la comparación de múltiples columnas de datos y la estimación de los componentes de variación de un proceso.

En la tabla 5, la cual contiene las ecuaciones utilizadas para determinar, varianza, suma de cuadrados, grados de libertad y número de Fisher.

Tabla 5 Descripción de las variables mediante relaciones matemáticas.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Varianza	F cal
Entre grupos	$SS_{lab} = \sum_{k=1}^k n_k (\bar{X}_k - \bar{X})^2$	$K - 1$	$MS_{lab} = \frac{SS_{lab}}{K - 1}$	$F = \frac{MS_{lab}}{MS_R}$

Dentro de grupos	$SS_R = \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^{n_k} 1 (\bar{X}_{kj} - \bar{X}_k)^2$	$N - K$	$MS_R = \frac{SS_R}{N - K}$
T o t a l	$SS_T = \sum_{k=1}^k \sum_{j=1}^{n_k} 1 (\bar{X}_{kj} - \bar{X})^2$	$N - 1$	$MS_T = \frac{SS_T}{N - 1}$

*Fuente: Estadística aplicada para ingeniería civil (2017)*

### 5.3.13 Sistema de información ambiental en Colombia

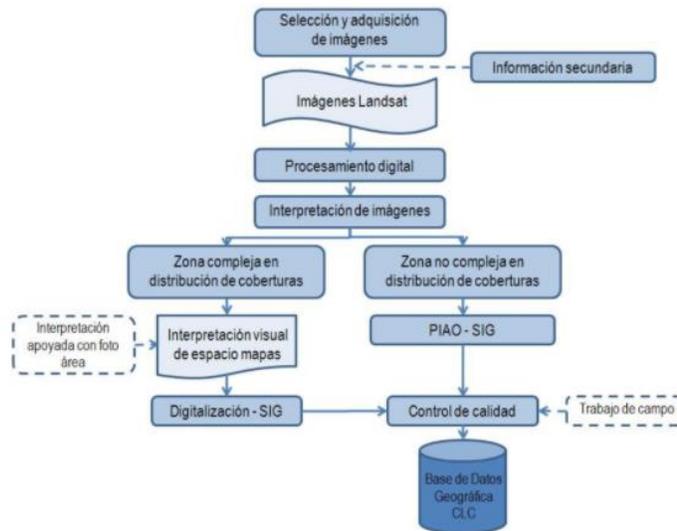
Según el Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) “Es el conjunto integrado de actores, políticas, procesos, y tecnologías involucrados en la gestión de información ambiental del país, para facilitar la generación de conocimiento, la toma de decisiones, la educación y la participación social para el desarrollo sostenible”. El SIAC se sustenta en un proceso de concertación interinstitucional, intersectorial e interdisciplinario, liderado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y los Institutos de Investigación Ambiental: el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR), el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI) y el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP), así como las Unidades Administrativas Especiales, el Sistema de Parques Nacionales y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA. (SIAC,2020).

#### **5.3.14 Cobertura y uso del suelo en Colombia**

Dentro del programa CORINE (Coordination of information on the environment) promovido por la Comisión de la Comunidad Europea fue desarrollado el proyecto de cobertura de la tierra “CORINE Land Cover” 1990 (CLC90), el cual definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra.

La base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas. El esquema metodológico Corine Land Cover contempla las siguientes etapas: adquisición y preparación de la información; análisis e interpretación de las coberturas; verificación de campo, control de calidad y generación de la capa temática escala 1:100.000 (Figura 22).

Figura 20 Modelo general de la metodología Corine Land Cover (CLC).



*Fuente: Melo y Camacho, 2005, en Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca, Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia, escala 1:100.000, IDEAM, IGAC, CORMAGDALENA (2007)*

De acuerdo con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012), los suelos de Colombia son diversos y frágiles, cuenta con 11 de los 12 órdenes de suelos existentes en el mundo a excepción de los gelisoles. Se destacan los suelos incipientes, poco evolucionados con un 58.11 % correspondientes a los órdenes entisoles e inceptisoles (IGAC, 2012). Igualmente, tienen una representación considerable del 28.79% los suelos muy evolucionados, pocos fértiles como los ultisoles y los oxisoles. Los mejores suelos agrícolas (andisoles y molisoles) apenas cubren 8.5 millones de hectáreas, equivalente al 7.5% del territorio nacional. De otro lado, no existen suelos de la clase agrológica 1 en Colombia y los de clase 2, 3 y 4 cubren un área de 17.073.144 hectáreas equivalentes al 15 % del territorio continental (IGAC, 2012). Los

procesos de degradación más relevantes en Colombia son la erosión, el sellamiento de suelos, la contaminación, la pérdida de la materia orgánica, la salinización, la compactación y la desertificación; procesos que afectan en gran medida a las regiones Caribe, Andina y Orinoquia y que comienzan a notarse en la Amazonia y en el litoral Pacífico. Entre las causas de la degradación y la gestión insostenible de los suelos en el país se tienen: la creciente demanda de bienes y servicios de los suelos, el desconocimiento de las funciones e importancia del suelo y de alternativas para su recuperación, restauración y rehabilitación, procesos de planeación y de ordenamiento del territorio que no tienen en cuenta las características de los suelos, debilidad en los procesos de seguimiento a la calidad de los suelos, desarticulación institucional y carencia de normas e instrumentos para la gestión sostenible del suelo. En las llanuras del Caribe, en las cordilleras, en las altiplanicies y en los valles interandinos los suelos han estado sometidos secularmente a intensas actividades agropecuarias, presentan degradación y contaminación y actualmente aquellos de menor pendiente, están siendo cubiertos y sellados por la expansión de pueblos y ciudades sin criterios de sostenibilidad. En el litoral del Pacífico y en el Amazonas, las selvas húmedas tropicales se encuentran afectadas por procesos de deforestación que avanzan con rapidez, generando focos de degradación del suelo. De otro lado, en la Orinoquia Colombiana, donde predominan las praderas, los suelos fueron inicialmente utilizados para actividades ganaderas extensivas y en la actualidad el uso del suelo se orienta al desarrollo de actividades agrícolas. El conflicto en el uso del suelo se presenta cuando la utilización actual no corresponde con la oferta ambiental. El IGAC (2012) reporta que actualmente un 15% de los suelos del país están sobre utilizados y un 13% subutilizados. Adicionalmente, 22 millones de hectáreas tienen vocación agrícola, 4

millones vocación agroforestal y 15 millones vocación ganadera. Sin embargo, solo 5 millones de hectáreas se utilizan para agricultura y más de 34 millones de hectáreas se utilizan para ganadería.

#### **5.4 Marco Legal**

Decreto número 1075 del 26 de mayo de 2015, por medio del cual se expide el decreto único reglamentario de sector de medio ambiente y desarrollo sostenible en el artículo 1.1.1.1.1 El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es el rector de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado orientar y regular ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la Nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible, perjuicio de funciones asignadas a otros sectores.

Decreto 1640 del 2 de agosto de 2012, por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas u y acuíferos, y se dictan otras disposiciones, en el artículo 8 de las autoridades ambientales competentes elaboraran las evaluaciones regionales del agua, que comprenden el análisis integrado de la oferta, demanda, calidad y análisis de los riesgos asociados al recurso hídrico en su jurisdicción para la zonificación hidrográfica de la autoridad ambiental, teniendo como base las subzonas hidrográficas.

Ley 99 de 1993 (diciembre 22) por la cual se crea el ministerio de ambiente, se reordena el Sector Público de la gestión y conservación del medio ambiente y los

recursos naturales p renovables, se organiza el sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.

Resolución 2115 de 22 junio de 2017. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

Decreto 3930 de 2010 (octubre 25. El presente decreto establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.

Programa de Vigilancia por Laboratorio de la Calidad de Agua para Consumo Humano. ISBN: 978-958-13-0147-8. El Manual presenta los procedimientos de toma, preservación, transporte y recepción de las muestras en el laboratorio, para el cumplimiento de la normatividad vigente sobre la calidad del agua para consumo humano. Además, se constituye en el elemento básico necesario para la consolidación del Subsistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua (SIVICAP) y el Sistema Único de Información (SUI).

NTC 813, esta norma tiene por objeto establecer los requisitos físicos, químicos y microbiológicos que debe cumplir el agua potable.

Norma Iso 17025. Proporciona los requisitos necesarios que deben cumplir los laboratorios de ensayo y calibración, facilitando la armonización de criterios de calidad. El objetivo principal de ésta es garantizar la competencia técnica y la fiabilidad de los resultados analíticos.

## **Capítulo III**

### **6. Metodología**

#### **6.1 Reconocimiento el tramo del río Chicamocha que comprende al municipio de Capitanejo y el municipio de Molagavita.**

El reconocimiento de la zona de estudio se realizó mediante salidas de campo, las cuales fueron los días 24, 25 de octubre con la compañía del Ingeniero civil, Yahir Andrés Sandoval. Además, con la compañía de una persona guía, y por último en compañía del señor Oscar Largo Barajas.

Para este reconocimiento se realizaron tomas fotográficas y ubicación de puntos con GPS, con el fin de conocer aspectos geoespaciales, geológicos, hidrológicos y sociales.

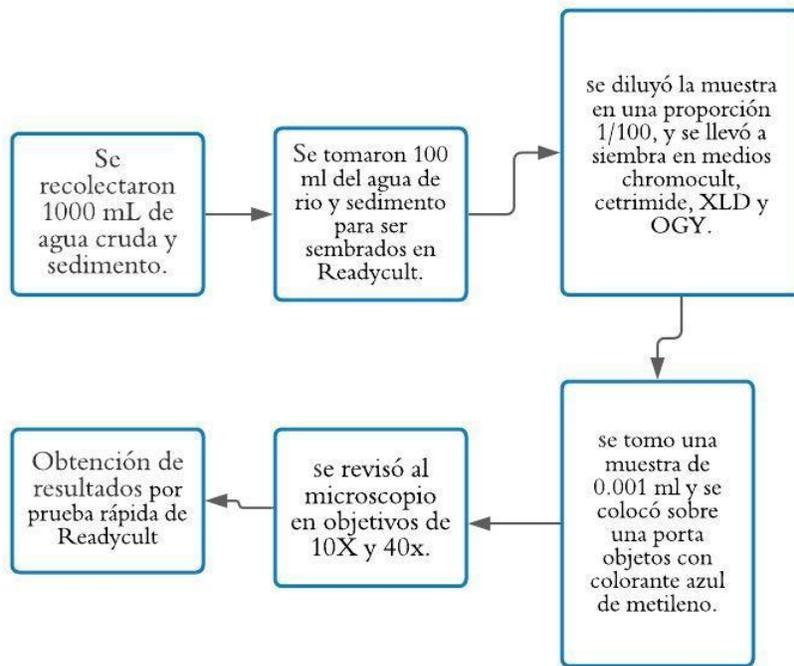
En estos desplazamientos se evidenciaron las condiciones en las que se vive día a día en la zona, un claro ejemplo es las poleas que utilizan para cruzar el río mediante guayas de 2 pulgadas y la prevención que toman frente a los visitantes teniendo en cuenta la violencia por grupos al margen de la ley a través de los años. Además de esto, iniciando el recorrido, 4,8 kilómetros más adelante del punto inicial (nota: se debe hacer pago de 30 mil pesos (MLCT) por persona) para continuar con el recorrido con normalidad dado que son propietarios de terrenos que se involucran en la zona de estudio.

## **6.2 Caracterización de los principales focos de contaminación que presenta el tramo del río Chicamocha.**

Para realizar la caracterización de los principales focos de contaminación en el tramo de estudio, se tuvieron en cuenta los vertimientos de agua residual de los diferentes emisores que hacen parte del alcantarillado sanitario del municipio de Capitanejo (Santander) y que entregan los efluentes de agua residual al río Chicamocha en el tramo de estudio, aplicando el método de aforo por volumen puntuales, es decir se tomaron volúmenes correspondientes a un litro. La caracterización de los focos de contaminación vertidos al tramo del río Chicamocha en estudio se realizó mediante muestreos puntuales a los diferentes vertimientos que se encontraban en la zona de estudio. Para ello, se tomaron muestras, las cuales se les analizaron los parámetros como: pH, Turbiedad, Zinc, Nitritos, DBO5, DQO, FOSFATOS, Sólidos totales, Sólidos suspendidos totales, Sólidos suspendidos volátiles, Sulfatos en el laboratorio de Control de Calidad y de diagnóstico de la Universidad de Pamplona. Así mismo, la determinación de metales pesados como Cadmio, Cromo, Plomo, Cobre, Zinc y Hierro, presentes en sedimentos en el tramo de estudio, por medio de espectrofotometría, el cual involucra la digestión ácida para análisis elemental por medio de ácidos como Ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ). Según Perker E.1996, este procedimiento es válido en sólidos y sedimentos.

Para llevar a cabo el análisis microbiológico de Agua cruda y sedimento del tramo del Río Chicamocha se tuvo en cuenta el siguiente procedimiento realizado en la Universidad de Pamplona, ver figura 23.

Figura 21 Metodología para el análisis microbiológico de agua de Rio y sedimento.



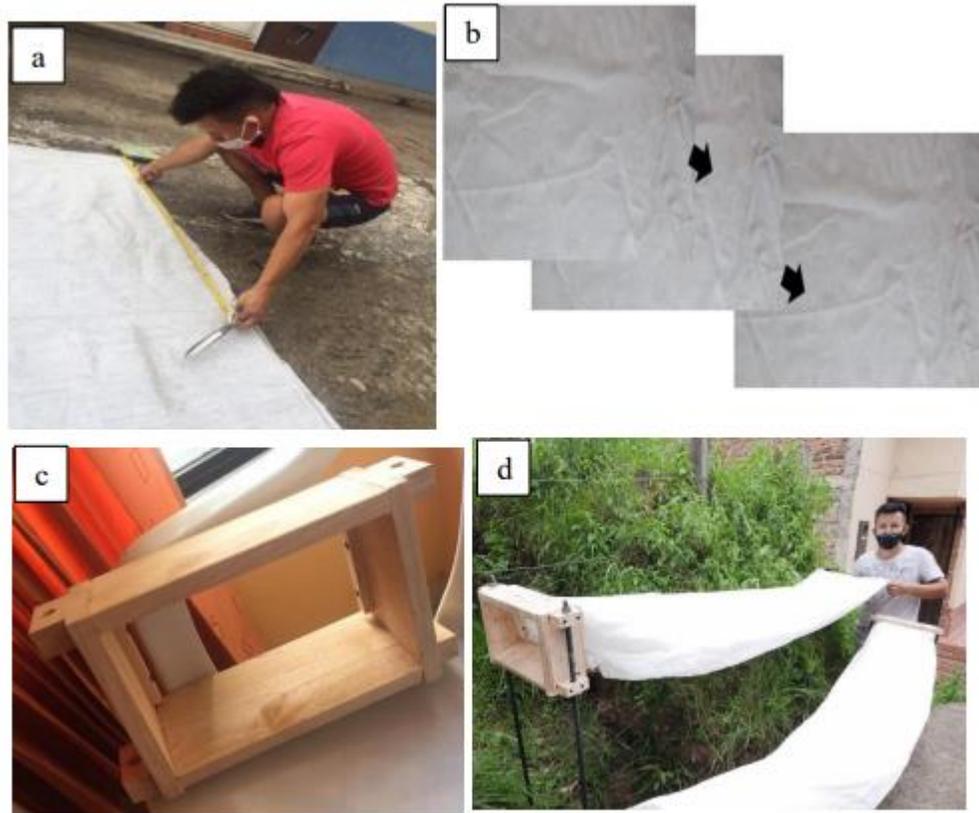
Fuente: Largo, E -Cajiao A, (2020).

### 6.3 Determinación los puntos de muestreo de los sedimentos en el tramo del río Chicamocha.

Para llevar a cabo el muestreo de sedimento y microplástico se fabricaron trampas que faciliten el muestreo de material acorde con el arrastre en el fondo del tramo con el fin de determinar la presencia de estos plásticos menores a 0,5 milímetros en sedimentos. Las trampas diseñadas se hicieron bajo los lineamientos de Bunte *et al.*, (2007), la cual se observa en la Fotografía 2. Se utilizó polisombra al 80% con medidas aproximadas de 1,90 metros de largo y 1,00 metros de ancho (Fotografía 2-a), y se unieron en 3 capas (Fotografía 2-b), lo cual se hizo para formar una densidad mayor entre capas que a su vez se vuelve más efectivo para la captura

del material de arrastre en el fondo del tramo. De igual manera, en la fotografía 2-c se observa el marco con medidas 30 x 20 x 9 cm. Así mismo, unos cubos a los lados con orificios de  $\frac{1}{2}$  pulgada (1,25 centímetros) de diámetro para incrustar estacas las cuales son de hierro para anclar la trampa y unas barras de madera ajustadas con tornillos de  $\frac{1}{8}$  pulgada (0,3151 centímetros) para el agarre de la malla. Por último, se observa el ensamble del muestreador (Fotografía 2-d)

*Fotografía 3 Diseño de los muestreadores de sedimento.*



*Fuente: Largo, E (2020).*

La determinación de los puntos de muestreo se tuvieron en cuenta las características estratégicas para la toma de muestras, condiciones del terreno y

seguridad del sector, posibilidades de acceso a los puntos, diferencias altitudinales, cambios evidentes en la corriente que marcan los diferentes tramos identificados, principales alteraciones del cuerpo de agua como vertimientos, canalización o usos; en base a lo mencionado anteriormente se escogieron 3 puntos con la siguiente georreferenciación:

Agua cruda y sedimentos: Punto 1, Punto 2 y Punto 3.

Agua residual: Vertimiento 1, Vertimiento 2, vertimiento3 y vertimiento 4.

### 6.3.1 Puntos de muestreos de agua cruda y sedimentos

Para conocer los puntos de muestreo de agua cruda y agua residual se tuvieron en cuenta las características geográficas como la división de dos departamentos como lo son Santander y Boyacá, además, aspectos sanitarios y sociales. A continuación, se muestra la tabla – con la importancia y la georreferenciación de los puntos de muestreo.

*Tabla 6 Puntos de muestreo de sedimento y calidad de agua.*

Punto	Nombre	Importancia	Coordenadas		Altitud (msnm)
			Latitud	Longitud	
Punto 1	Parte alta del tramo del Rio Chicamocha	Este punto divide los departamentos de Santander y Boyacá y se encuentra un emisor del alcantarillado público.	6°30'46.32" N	72°41'35.85" O	1136
Punto 2	Parte media del tramo del Rio Chicamocha	Este punto recibe los vertimientos de agua residual y algunos solidos vertidos por personas del municipio.	6°32'43.75" N	72°49'32.25" O	953
Punto 3	Parte baja del tramo	Este punto es el final del tramo que se tuvo	6°35'7.33"N	72°50'18.74" O	781

---

---

del Rio Chicamocha en cuenta para la investigación

---

---

*Fuente: Largo E, (2020)*

Para conocer la calidad de agua del tramo del Rio Chicamocha, se realizaron tomas de muestras de agua puntuales, teniendo en cuenta volúmenes correspondientes a 1 Litro como lo muestra la fotografía 4.

*Fotografía 4 Toma de muestras de agua cruda.*



*Fuente: Largo E, 2020.*

### **6.3.2 Puntos de muestreo de agua residual**

Para realizar la caracterización de los vertimientos de agua residual se tuvieron en cuenta los diferentes emisores que hacen parte del alcantarillado sanitario del municipio de Capitanejo, Santander que entregan los efluentes de agua residual al rio Chicamocha en el tramo que le corresponde a la investigación.

Los muestreos que se realizaron en los vertimientos fueron puntuales mediante el método de aforo por volumen, es decir se tomaron volúmenes correspondientes a un litro para su respectivo análisis en laboratorio.

En la tabla 7, podemos observar la clasificación de los focos de contaminación que se tuvieron en cuenta, a la hora de realizar la caracterización; a continuación, se presenta el nombre, la importancia y la georreferenciación de cada punto.

*Tabla 7 Clasificación de los focos de contaminación.*

Vertimiento	Nombre	Importancia	Coordenadas		Altitud (msnm)
			Latitud	Longitud	
Vertimiento 1	Emisor 1	La importancia de los vertimientos se debe a que ellos son los emisores finales antes de que todos estos componentes contaminantes ingresen al cuerpo de agua, además, para realizar la caracterización de los mismos.	6°31'41.00 "N	72°41'53.46" O	1083
Vertimiento 2	Emisor 2		6°31'43.04 "N	72°41'58.72" O	1080
Vertimiento 3	Emisor 3		6°31'59.34 "N	72°42'4.99" O	1077
Vertimiento 4	Emisor 4		6°30'50.02 "N	72°41'36.03" O	1092

*Fuente: Largo E, 2020.*

De igual manera, en la fotografía 5 se muestran las tomas de muestra que se realizaron en los vertimientos que se encuentran en el tramo de estudio, los cuales fueron puntuales teniendo en cuenta un volumen correspondiente a 1 Litro.

Fotografía 5 Toma de muestras de los focos de contaminación.



Fuente: Largo E, 2020.

#### **6.4 Elaboración del análisis estadístico de los contaminantes presentes en los sedimentos.**

Se llevó a cabo un análisis de correlación de Pearson en el software statgraphics, versión evaluativa a un nivel de significancia del 5 %, es decir, 0,005 para determinar la relación entre variables.

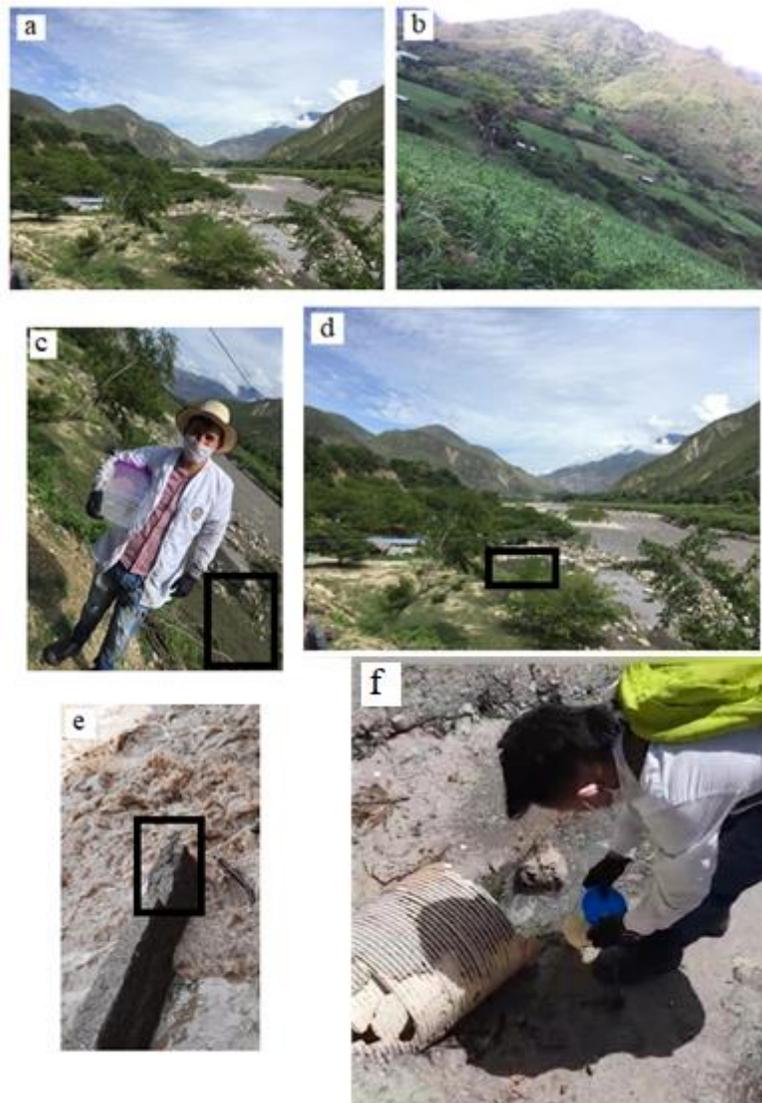
Además, se llevó a cabo un análisis de varianza en el software SPSS, con el fin de determinar si existen o no diferencias significativas.

## **7. Resultados y discusión**

### **7.1 Reconocimiento el tramo del rio Chicamocha que comprende al municipio de Capitanejo y el municipio de Molagavita.**

En la fotografía 6 (a, b, c, d, e y f) se observa el tramo del Rio Chicamocha, el cual presenta una amplia biodiversidad en cuanto a servicios ecosistemicos y variedad de lagartos comunes también conocidos como Basiliscos que se encuentran dentro del tramo como se observa en la fotografía e. Además, se observaron actividades sociales y económicas basadas en cultivos de maíz, yuca, papaya y otros productos típicos de la región (Ver fotografía b). También se evidenciaron los 4 focos de contaminación que se encuentran sobre el tramo, los cuales se encuentran en un estado muy deteriorado, ya que las tuberías se encuentran en condiciones que no son aptas para el transporte de estos caudales (Ver fotografía f). Otra parte importante, fue el arrastre y acumulación de sedimentos que presenta el rio en las llanuras de inundación, debido a caudales altos que se presentan en los meses de Julio y noviembre.

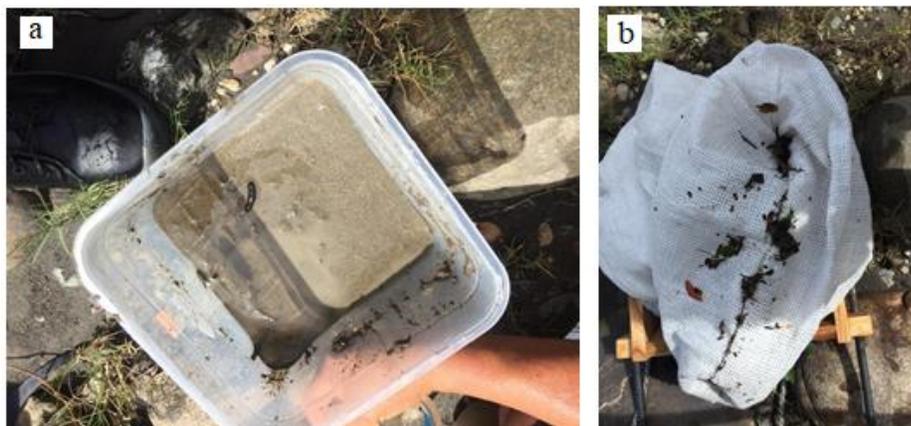
*Fotografía 6 Zona de estudio.*



*Fuente: Largo E, 2020.*

En la fotografía 7 (a y b), se puede observar el arrastre de distintos materiales que se ve en la zona de estudio. Mediante los muestreadores, se pudo realizar la captura de vegetación seca, sedimento, contaminantes derivados de los plásticos y macro invertebrados.

*Fotografía 7 Captura de sedimento.*

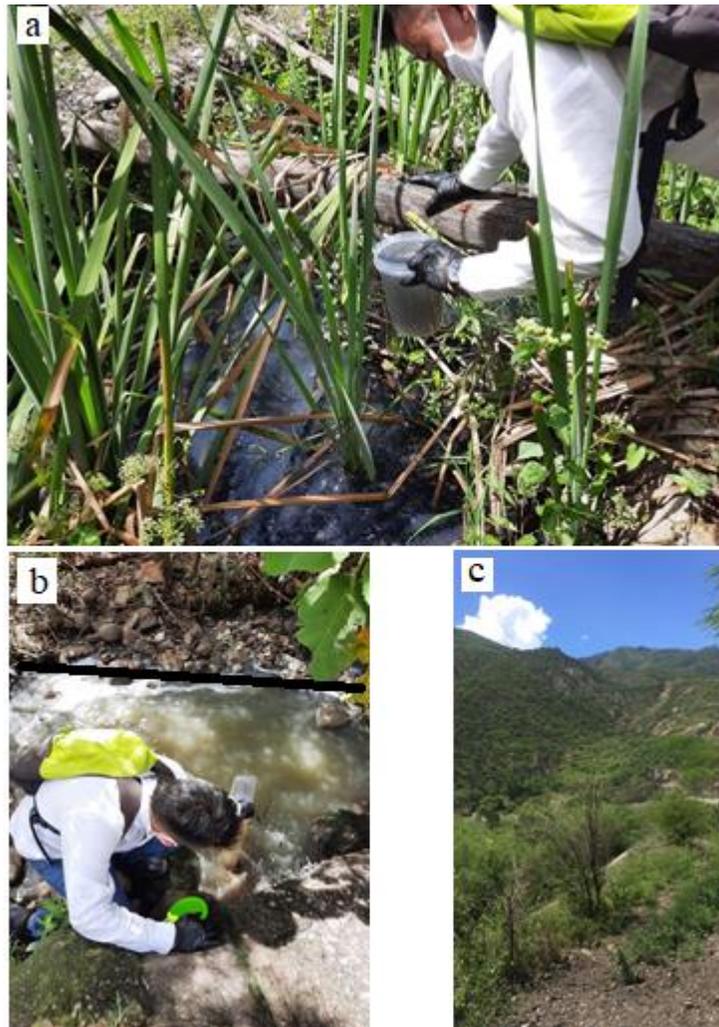


*Fuente: Largo E, 2020.*

## **7.2 Caracterización de los principales focos de contaminación que presenta el tramo del río Chicamocha.**

En la fotografía 8 (a, b y c) se observan los diferentes focos de contaminación, donde se resalta que los efluentes vienen altamente contaminados dado que los fuertes olores y los colores de las muestras dan una visión de la calidad de las mismas; así mismo, se evidenció que a los emisores del alcantarillado no se les da el manejo adecuado porque estos presentan vegetación alta que los mantienen cubiertos presentando la acumulación de estos efluentes como se observa en la fotografía a y b.

Fotografía 8 Caracterización de los focos de contaminación.

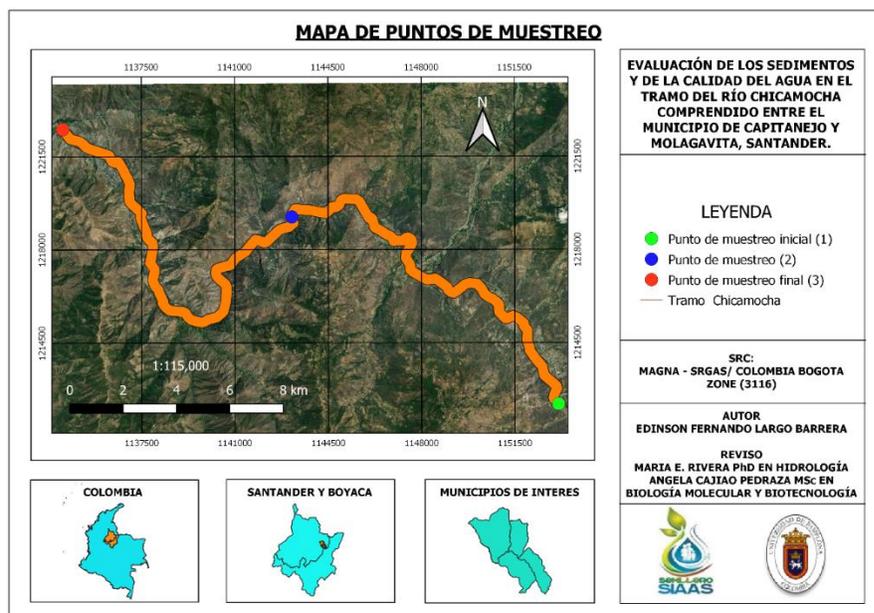


Fuente: Largo E, 2020.

### **7.3 Determinación los puntos de muestreo de los sedimentos en el tramo del río Chicamocha.**

En la figura 24, se muestran los puntos de muestreo tenidos en cuenta para sedimentos y agua cruda a lo largo del tramo del río Chicamocha con sus respectivas coordenadas.

Figura 22 Mapa de puntos de muestreo.



Fuente: Ubicación de los puntos de muestreo de agua cruda y sedimento en tramo del río Chicamocha. Fuente: Elaborado en QGIS Desktop 3.14.16 por Largo E, 2020.

Los datos obtenidos que se recopilaron de los tres puntos de muestreo se muestran en la tabla 8. En ellos se tuvo en cuenta para sedimento y agua cruda, la hora, la fecha, la cantidad de muestra tomada y las coordenadas tomadas con GPS en términos de Watch Point.

Tabla 8 Datos de los puntos de muestreo para agua cruda y sedimento.

<b>PUNTOS DE MUESTREO DE SEDIMENTO Y AGUA CRUDA</b>			
<b>ITEM</b>	<b>PUNTO #1</b>	<b>PUNTO #2</b>	<b>PUNTO #3</b>
	<b>SEDIMENTOS</b>		
<b>COORDENADAS</b>	6°30'46.32"N	6°32'43.75"N	6°35'7.33"N
	72°41'35.85"	72°49'32.25"	72°50'18.74"
	O	O	O
<b>FECHA DEL MUESTREO</b>	23-oct-20	23-oct-20	24-oct-20

HORA DE INICIO DEL MUESTREO	5:40 a. m.	3:44 p. m.	10:05 a. m.
HORA DE FINALIZACION DEL MUESTREO	6:55 a. m.	4:02 p. m.	12:03 p. m.
MASA (Kg) DE SEDIMENTO	2.8	2.94	3.55
<b>AGUA CRUDA</b>			
COORDENADAS	6°30'45.94"N	6°32'43.76"N	6°35'7.04"N
	72°41'35.22" O	72°49'32.25" O	72°50'18.78" O
VOLUMEN DE LA MUESTRA	1.2 LITROS	1.2 LITROS	1.2 LITROS
TIPO DE LA MUESTRA	PUNTUAL	PUNTUAL	PUNTUAL
FECHA DEL MUESTREO	23-oct-20	23-oct-20	24-oct-20
HORA DE INICIO DEL MUESTREO	7:00 a. m.	4:10 p. m.	1:02 p. m.
HORA DE FINALIZACIÓN DEL MUESTREO	7:04 a. m.	4:12 p. m.	1:05 p. m.
RESPONSABLE	FERNANDO LARGO	FERNANDO LARGO	FERNANDO LARGO

*Fuente: Elaborado por Largo E, 2020.*

En la fotografía 9 (A y B) se observan los muestreadores diseñados también conocidos como trampas Bunte, en el río Chicamocha a una altura de un metro, anclado al fondo del cuerpo de agua, con una longitud de 5 metros desde las llanuras de inundación. En ellos se recolectaron diferentes cantidades de sedimento y plásticos mediante el arrastre de sedimentos que presenta que presenta el río.

*Fotografía 9 Muestreadores en el tramo del Río Chicamocha.*



*Fuente: Elaborado por Largo E, (2020).*

De igual manera, En la figura 26 se muestran los puntos de muestreo que se tuvieron en cuenta para la caracterización de agua residual y sus vertimientos correspondientes.

*Figura 23 Mapa de puntos de muestreo de agua residual.*



*Fuente: Ubicación de los puntos de vertimiento en el tramo del río Chicamocha. Elaborado en QGIS Desktop 3.14.16 por Largo E, 2020.*

### 7.3.1 Análisis físico químico de las muestras de agua

A los tres (3) tramos anteriormente mencionados se le tomaron muestras de agua, para evaluar parámetros físico químicos, los cuales se muestran con su respectiva concentración (Ver figura 27),

Figura 24 Resultados físico químicos de laboratorio.

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**  
**COORDINACION ADMINISTRATIVA DE LABORATORIOS**  
**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD Y DIAGNOSTICO**

**Solicitante:** Fernando Largo Barrera **Teléfono:** 3105765909 **Municipio:** Bucaramanga  
**Objeto del servicio:** Análisis fisicoquímico de tres muestras de agua Cruda del río Chicamocha **Muestra tomada por:** El Solicitante **Fecha Recepción muestras:** 13-10-2020  
**Fecha Entrega Resultados:** 05-11-2020 **Código de Muestra:** AO13740 – AO13741 - AO13742 – AO13743

**RESULTADOS FISICOQUIMICOS**

PARAMETRO	UNIDADES	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
pH	Unidades de pH	7.92	8.23	8.18
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	213	195.5	174
TURBIDEZ	NTU	1277	759	692
COLOR	U PtCo	7800	6690	7450
DUREZA	mg/l CaCO <sub>3</sub>	50	50	50
SÓLIDOS TOTALES	mg/l	1395	1275	1282
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	188	116	128
SÓLIDOS VOLÁTILES	mg/l	2186	1378	1290
DQO	mg/l	111	93	57
DBO <sub>5</sub>	mg/l	70	60	35

**Analista Químico:** 

*Fuente: Universidad de Pamplona, 2020*

Al observar los resultados se afirma que el agua que pasa por el tramo del río Chicamocha es alcalina, ya que sus valores son mayores a 7 unidades de PH, además las concentraciones de turbidez son realmente altas junto con las concentraciones de los sólidos. A demás tenemos unas muestras de agua que son excelentes conductoras

de electricidad en vista de los valores de conductividad obtenidos. Sin embargo, teniendo en cuenta la resolución 2215 de 2017 observamos, que bajo ningunas condiciones es óptima para consumo humano, ni para actividades de riego sin realizar un tratamiento adecuado para su utilización.

Según Rodríguez et al, (2016), el reporte de los valores que permite conocer el nivel de riesgo de calidad del agua para consumo humano a partir de los parámetros que componen este índice es una herramienta que logra evaluar el estado en el que se encuentra el recurso hídrico, con el fin de establecer estrategias o soluciones de mejoramiento dependiendo de su nivel de riesgo, las caracterizaciones como las establecidas en la resolución 2115 de 2007 ayudan en gran medida a disminuir los problemas de abastecimiento de agua tales como la escasez y contaminación, dirigidas principalmente en zonas rurales, donde el 89% de los municipios y más de la mitad de la población colombiana enfrenta los problemas anteriormente mencionados.

Por otra parte, Gómez et al, (2020) infiere que el muestreo de las aguas residuales y las corrientes receptoras de vertimientos líquidos, constituye uno de los aspectos fundamentales en todo programa que tenga como objetivo disminuir el grado de contaminación del recurso hídrico. Los resultados de un programa de muestreo son la base del diseño de los sistemas de tratamiento, la verificación del cumplimiento de la normatividad existente, el avance del programa de tasas retributivas y/o la implementación de un sistema de gestión ambiental. De igual manera el laboratorio de calidad y diagnóstico de la Universidad de Pamplona da a conocer los resultados de la caracterización de agua residual teniendo en cuenta los parámetros fisicoquímicos y las concentraciones de los mismo como se muestra en las figuras 28 y 29.

Figura 25 Resultados Físico químicos de agua residual.

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**  
**COORDINACION ADMINISTRATIVA DE LABORATORIOS**  
**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD Y DIAGNOSTICO**

**Solicitante:** Fernando Largo Barrera **Teléfono:** 3105765909 **Municipio:** Bucaramanga

**Objeto del servicio:** Análisis fisicoquímico de dos muestras de agua de vertimiento del río Chicamocha **Muestra tomada por:** El Solicitante **Fecha Recepción muestras:** 11-11-2020

**Fecha Entrega Resultados:** 12-11-2020 **Código de Muestra:** AO13750 – AO13751

**RESULTADOS FISICOQUIMICOS**

PARAMETRO	UNIDADES	MUESTRA N° 1	MUESTRA N°2
pH	Unidades de pH	7.44	7.47
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	252	743
TURBIDEZ	NTU	222	557
NITRITOS	mg/l	0.034	0.035
SULFATOS	mg/l SO <sub>4</sub>	66	67
FOSFATOS	mg/l	0.9	0.7
SÓLIDOS TOTALES	mg/l	814	364
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	354	206
SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	mg/l	140	82
DQO	mg/l	242	153
DBO <sub>5</sub>	mg/l	162	100
ZINC	mg/l	< 0.01	< 0.01

Analista Químico: *Fabiana Ruiz Lizcano*

Fuente: Universidad de Pamplona, 2020.

Figura 26 Resultados Físico químicos de agua residual.

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**  
**COORDINACION ADMINISTRATIVA DE LABORATORIOS**  
**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD Y DIAGNOSTICO**

**Solicitante:** Fernando Largo Barrera **Teléfono:** 3105765909 **Municipio:** Bucaramanga

**Objeto del servicio:** Análisis fisicoquímico de dos muestras de agua de vertimiento del río Chicamocha **Muestra tomada por:** El Solicitante **Fecha Recepción muestras:** 11-11-2020

**Fecha Entrega Resultados:** 12-11-2020 **Código de Muestra:** AO13752 – AO13753

**RESULTADOS FISICOQUIMICOS**

PARAMETRO	UNIDADES	MUESTRA N° 3	MUESTRA N°4
pH	Unidades de pH	6.85	6.44
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	274	551
TURBIDEZ	NTU	529	2280
NITRITOS	mg/l	0.160	0.224
SULFATOS	mg/l SO <sub>4</sub>	37	38
FOSFATOS	mg/l	1.2	1.7
SÓLIDOS TOTALES	mg/l	192	926
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/l	126	1472
SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	mg/l	136	1220
DQO	mg/l	464	832
DBO <sub>5</sub>	mg/l	306	530
ZINC	mg/l	0.0474	< 0.01

**Analista Químico:** 

*Fuente: Universidad de Pamplona, 2020*

Según Quintana R *et al*, (2007), La mayoría de los esfuerzos para reducir la contaminación del agua han sido dirigidos a fuentes puntuales. La construcción de plantas de tratamiento de lodos, para manejar los desechos municipales y reducir las descargas residuales de las industrias ha sido una de las principales estrategias.

Desafortunadamente en muchos casos las fuentes no puntuales de las ciudades en

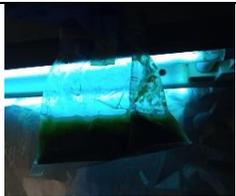
expansión rebasan las capacidades de estas plantas de tratamiento. Así la calidad del agua no ha mejorado o ha mejorado solo ligeramente en algunas áreas que experimentan un rápido crecimiento.

### **7.3.2 Análisis microbiológico de las muestras de agua y sedimento**

De las muestras de Rio y sedimento analizadas se encontró por prueba rápida de ReadyCult que en 100 ml de muestra de se tiene presencia de Coliformes totales y Coliformes fecales, ya que crecieron todas las muestras en medio ReadyCult, y presentó fluorescencia.

De las diluciones sembradas en medios selectivos se encontraron los siguientes resultados. Ver tabla 10 Resultados microbiológicos de agua y sedimento.

Tabla 9 resultados microbiológicos de sedimento y de agua cruda.

Muestras	Muestra rio	Fotos	Muestra sedimento	Fotos
Readycult	Presencia de Coliformes totales y Fecales		Presencia de Coliformes totales y Fecales	
Medio Chromocult	Coliformes totales $86 \times 10^2$ UFC/ml Coliformes fecales $23 \times 10^2$ UFC/ml		Coliformes totales $264 \times 10^2$ UFC/ml Coliformes fecales $112 \times 10^2$ UFC/ml	
Cetrimide	Presencia de <i>Pseudomonas sp</i>		Presencia de <i>Pseudomonas sp</i>	
XLD	Presencia de bacteria gram negativas no fermentadoras de lactosa.		Presencia de bacterias gram negativas fermentadoras y no fermentadoras de lactosa y productoras de H <sub>2</sub> S	
OGY	Ausencia de hongos Presencia de Levaduras		Ausencia de hongos Presencia de Levaduras	

Fuente: Largo E -Cajiao A, (2020).

Según Álvarez B *et al*, (2012), la mayoría de las normas, expresan los valores límites de contaminación en función de los Coliformes termotolerantes, sin tener en cuenta que algunos de sus miembros no están relacionados con la contaminación fecal. Los resultados de la correlación obtenidos en el río Luyanó llevan a la conclusión de que el concepto, así como las normas de calidad de aguas, deben de ser reevaluadas y señalan la necesidad de realizar una actualización de los microorganismos indicadores tradicionales (Coliformes totales y Coliformes termotolerantes) que pueden emplearse en la evaluación de la calidad de las aguas de ecosistemas acuáticos.

Otra parte importante es que el agua puede contener bacterias, virus y protozoarios patógenos, así como parásitos. Las enfermedades infecciosas que se originan en el agua son un problema en las naciones en desarrollo. Los lodos sin tratamiento o mal tratados, los desechos de los animales, los empaques de carnes y algunas especies silvestres son las principales fuentes. Quintana R *et al*, (2007).

### **7.3.3 Metales pesados encontrados en muestras de sedimento**

De igual manera, en la figura se dan a conocer los resultados bajo la utilización del espectrofotometro, teniendo en cuenta los siguientes metales: Cromo, Manganeso, Cobre, Zinc, Cadmio y Hierro. De igual manera la concentración de los mismos se observa en la siguiente Figura:

Figura 27 Concentraciones de metales pesados en sedimentos.

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
COORDINACION ADMINISTRATIVA DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD Y DIAGNOSTICO

Solicitante: Fernando Largo Barrera Teléfono: 3105765909 Municipio: Bucaramanga  
Objeto del servicio: Análisis fisicoquímico de tres muestras de sedimento del río Chicamocha Muestra tomada por: El Solicitante Fecha Recepción muestras: 27-10-2020  
Fecha Entrega Resultados: 12-11-2020 Código de Muestra: AO13743 – AO13744 - AO13745

RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	UNIDADES	SEDIMENTO N° 1	SEDIMENTO N° 2	SEDIMENTO N° 3
CROMO	mg/kg	2.60	4.86	4.35
MANGANESO	mg/kg	132.4	181.2	177.6
COBRE	mg/kg	7.12	7.57	6.38
ZINC	mg/kg	82.33	43.25	46.1
CADMIO	mg/kg	0.0526	< 0.02	< 0.02
HIERRO	mg/kg	6162.5	4464.5	3935

Analista Químico: *Solanda Ruiz Lizcano*

Fuente: Universidad de Pamplona, 2020

Teniendo en cuenta los resultados podemos observar que el metal pesado más alto encontrado en las muestras de sedimento a lo largo del tramo es el hierro, esto se puede presentar debido a factores hidrológicos como pueden ser la escorrentía de lluvias presentadas en la época del muestreo. Por otra parte, se puede afirmar que aguas arriba puede existir presencia de materia orgánica en descomposición y que esta misma termina en los sedimentos del Río Chicamocha.

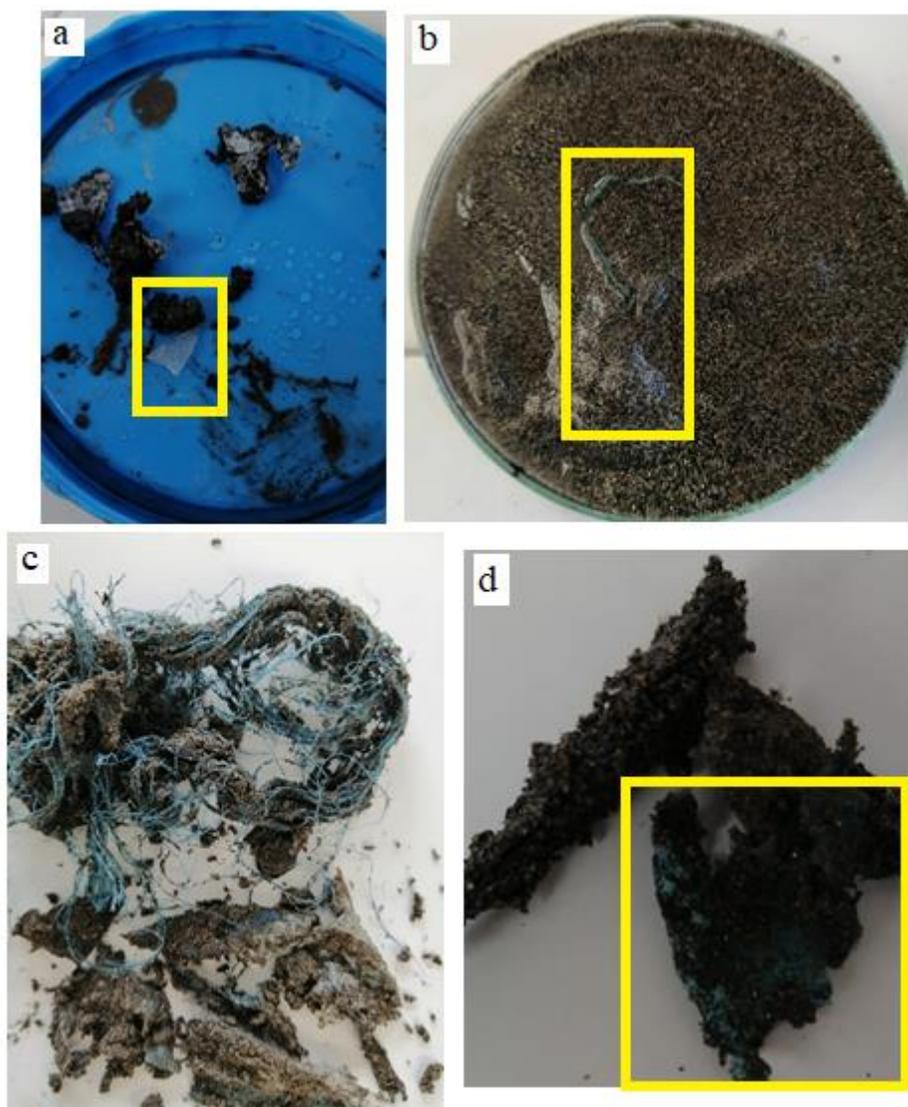
Además, en cuanto a los resultados de Cadmio obtenidos se puede afirmar que este viene de los residuos plásticos que se encuentran en la zona y que terminan en los sedimentos dado que este metal pesado es un componente de este tipo de material.

#### **7.3.4 Plásticos observados en las muestras de sedimento**

En las fotografías A, B, C y D, se muestran los elementos observados en la zona de estudio teniendo en cuenta la disponibilidad de los equipos en laboratorio para su extracción. Estos fragmentos encontrados superan las medidas establecidas para considerarse como Microplásticos, pero de igual manera se pueden clasificar como macro plásticos ya que tienen una medida que supera los 20 milímetros de longitud.

Investigaciones anteriormente revisadas daban conocimiento de que los fragmentos de plásticos existían teniendo en cuenta una degradación extremadamente lenta, asumiendo como disposición final los cuerpos de agua salada como los mares. Sin embargo, esta investigación da a conocer que los cuerpos de agua dulce como los ríos son vías para que estos fragmentos terminen en nuestros océanos y afecten la supervivencia de las especies que se encuentran en los ecosistemas.

Fotografía 10 Fragmentos de plástico encontrados en sedimentos.



Fuente: Elaborado por Largo E, (2020).

#### 7.4 Analisis estadístico de los contaminantes presentes en los sedimentos

En la figura 28, se muestra las correlaciones Pearson, entre cada par de variables. Los valores de color rojo en la tabla 8 indican que el p-valor se encuentran por abajo del nivel de significancia de 0,05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%. Así mismo, se observan que

existen variables que presentan una correlación inversa (signos menos) y una correlación directa, por ejemplo: El color, la dureza, los sólidos totales y los sólidos volátiles presentan una correlación inversa dado que los valores están por debajo de 0,005; sin embargo, existen parámetros como Fosfatos y Coliformes que tienen valores cercanos al nivel de significancia, esto significa que son variables directas, es decir, si el parámetro aumenta en una muestra en la otra presentara la misma variación.

Figura 28 Resultados de correlación entre variables.

Correlaciones (r)	TEMPERATURA °c	Precipitación (mm)	pH (unidad)	C (µs/cm)	TURBIDEZ (NTU)	COLOR (UPC)	DUREZA (mg/L)	ST (mg/L)	SST (mg/L)	SV (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	SULFATOS (mg/L)	FOSFATO (mg/L)	NITRITOS (mg/L)	Zinc (mg/L)	COLIF. T (NMP/100 ml)	COLIF. F (NMP/100 ml)
TEMPERATURA °c	1	-0.8491	-0.604	0.3488	0.1127	-0.4677	-0.2065	-0.4773	0.2476	-0.2839	0.4197	0.4305	0.0068	0.5504	0.3973	0.2673	0.5156	0.5311
Precipitación (mm)	-0.8491	1	0.3326	-0.282	-0.0767	0.4172	0.0259	0.2721	-0.1497	0.1507	-0.2334	-0.2413	-0.0467	-0.3143	-0.1802	-0.0636	-0.3214	-0.313
pH (unidad)	-0.604	0.3326	1	-0.5229	-0.4532	0.7483	0.3076	0.6288	-0.718	0.4204	-0.9357	-0.9416	0.4762	-0.9805	-0.9502	-0.4283	-0.9276	-0.4909
C (µs/cm)	0.3488	-0.282	-0.5229	1	0.2727	-0.4909	0.4931	-0.5485	0.4417	-0.4173	0.3893	0.3862	0.1449	0.5312	0.394	-0.1404	0.6679	0.2813
TURBIDEZ (NTU)	0.1127	-0.0767	-0.4532	0.2727	1	-0.0134	0.2538	0.3073	0.8359	0.5549	0.6704	0.6528	-0.5724	0.3741	0.5753	-0.2399	0.457	-0.5304
COLOR (UPC)	-0.4677	0.4172	0.7483	-0.4909	-0.0134	1	0.1611	0.662	-0.5096	0.7452	-0.6575	-0.6692	0.0621	-0.8541	-0.6428	-0.2159	-0.8477	-0.6053
DUREZA (mg/L)	-0.2065	0.0259	0.3076	0.4931	0.2538	0.1611	1	0.38	0.207	0.2631	-0.248	-0.2653	0.5435	-0.267	-0.368	-0.9001	-0.0003	-0.5358
ST (mg/L)	-0.4773	0.2721	0.6288	-0.5485	0.3073	0.662	0.38	1	0.0093	0.8799	-0.3592	-0.3767	0.0538	-0.6423	-0.4939	-0.6567	-0.5424	-0.9325
SST (mg/L)	-0.2476	-0.1497	-0.718	0.4417	0.8359	-0.5096	0.207	0.0093	1	0.098	0.867	0.8568	-0.4041	0.7267	0.7554	-0.2183	0.8192	-0.2045
SV (mg/L)	-0.2839	0.1507	0.4204	-0.4173	0.5549	0.7452	0.2631	0.8799	0.098	1	-0.1647	-0.1837	-0.2517	-0.5204	-0.2581	-0.4247	-0.4615	-0.8935
DQO (mg/L)	0.4197	-0.2334	-0.9357	0.3893	0.6704	-0.6575	-0.248	-0.3592	0.867	-0.1647	1	0.9997	-0.6463	0.9186	0.9766	0.2919	0.8844	0.1926
DBO5 (mg/L)	0.4305	-0.2413	-0.9416	0.3862	0.6528	-0.6592	-0.2653	-0.3767	0.8568	-0.1837	0.9997	1	-0.6435	0.9256	0.979	0.309	0.8869	0.215
SULFATOS (mg/L)	0.0068	-0.0467	0.4762	0.1449	-0.5724	0.0621	0.5435	0.0538	-0.4041	-0.2517	-0.6463	-0.6435	1	-0.3877	-0.7043	-0.554	-0.2408	0.0793
FOSFATO (mg/L)	0.5504	-0.3143	-0.9805	0.5312	0.3741	-0.8541	-0.267	-0.6423	0.7267	-0.5204	0.9186	0.9256	-0.3877	1	0.9208	0.3637	0.963	0.5158
NITRITOS (mg/L)	0.3973	-0.1802	-0.9502	0.394	0.5753	-0.6428	-0.368	-0.4939	0.7554	-0.2581	0.9766	0.979	-0.7043	0.9208	1	0.4657	0.847	0.3192
Zinc (mg/L)	0.2673	-0.0636	-0.4283	-0.1404	-0.2399	-0.2159	-0.9001	-0.6567	-0.2183	-0.4247	0.2919	0.309	-0.554	0.3637	0.4657	1	0.112	0.6966
COLIF. T (NMP/100 ml)	0.5156	-0.3214	-0.9276	0.6679	0.457	-0.8477	-0.0003	-0.5424	0.8192	-0.4615	0.8844	0.8869	-0.2408	0.963	0.847	0.112	1	0.3774
COLIF. F (NMP/100 ml)	0.5311	-0.313	-0.4909	0.2813	-0.5304	-0.6053	-0.5358	-0.9325	-0.2045	-0.8935	0.1926	0.215	0.0793	0.5158	0.3192	0.6966	0.3774	1

Fuente: Elaborado por Largo E

En la figura 29, se observa la correlación que existe entre las muestras de sedimento tomadas, comparándolas una con la otra.

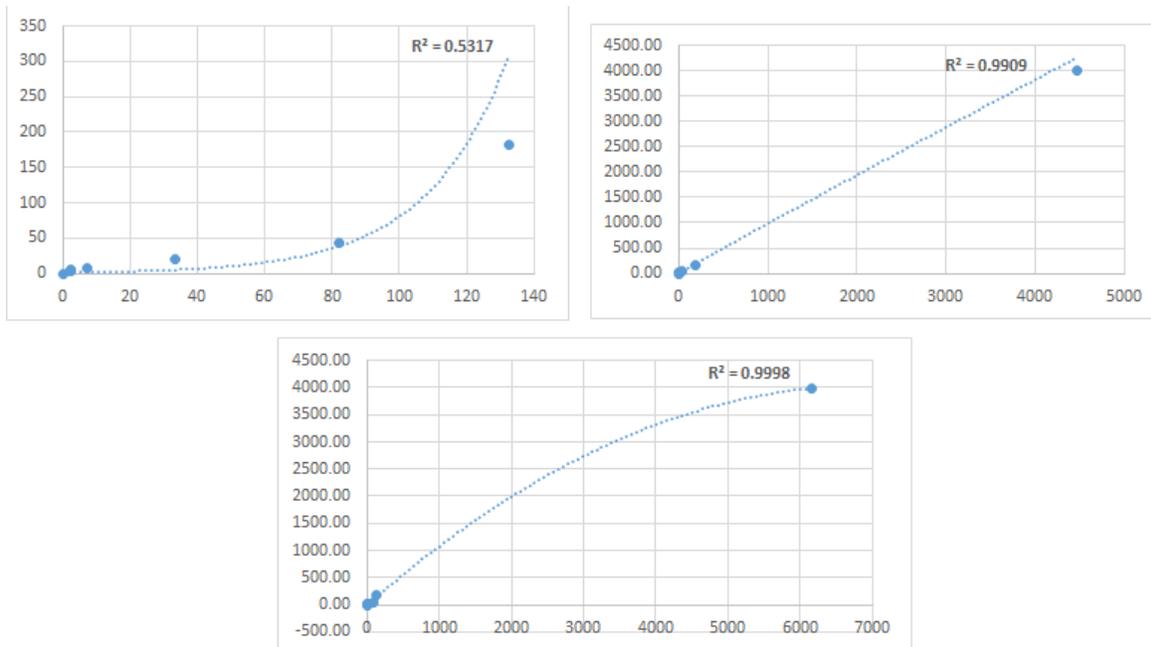
Figure 29 Coeficientes de correlación de los metales pesados en sedimentos.

Sedimentos	
Muestra	Coefficiente de correlación
Zona 1 y Zona 2	0.99980086
Muestra 1 y muestra 3	0.999732609
Muestra 2 y muestra 4	0.999992359

Fuente: Elaborado por Largo E

En la figura 30 se pueden observar los gráficos de dispersión con sus respectivos valores de  $R^2$ . En ella podemos observar que la muestra de la zona 1 y 2 tienen una correlación débil dado que su valor es muy bajo, en cambio, las muestras 1 y 3, 2 y 4 presentan una correlación fuerte dado que su valor de  $R^2$  es cercano a 1.

Figura 30 Gráfico de dispersión de los metales pesados.



Fuente: Elaborado por Largo E

Para realizar el Análisis de varianza de un factor se plantea una hipótesis inicialmente, la cual es que las medias de los parámetros de Ph, conductividad, turbidez, Sólidos totales, Sólidos suspendidos totales, sólidos volátiles, DQO y DBO5 sean iguales, es decir la calidad de agua del tramo del Río Chicamocha sea igual a la calidad de los vertimientos dado que estos descargan sus aguas al tramo del río. A continuación, se muestran el análisis de varianza por cada parámetro teniendo en cuenta los informes del laboratorio en la Universidad de Pamplona.

#### 7.4.1 Ph

Tabla 10 Análisis de varianza de PH

	AGUA CRUDA	AGUA RESIDUAL
	Ph	
Muestra N°1	7,92	7,44
Muestra N°2	8,23	7,47
Muestra N°3	8,18	6,85
Muestra N° 4		6,44

Análisis de varianza de un factor					
RESUMEN					
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Suma <sup>2</sup> /n
Columna 1	3	24,33	8,11	0,0277	197,3163
Columna 2	4	28,2	7,05	0,246866667	198,81
Sumatoria	7	52,53			396,1263

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1,926171429	1	1,926171429	12,09906676	0,017689635	6,60789097

Dentro de los grupos	0,796	5	0,1592
Total	2,722171429	6	
Total	3,988090909	10	

*Fuente: Elaborado por Largo E, 2020.*

## 7.4.2 Conductividad

*Tabla 11 Análisis de varianza de CONDUCTIVIDAD.*

	AGUA CRUDA	AGUA RESIDUAL
CONDUCTIVIDAD		
MUESTRA N° 1	213	252
MUESTRA N° 2	195,5	743
MUESTRA N° 3	174	274
MUESTRA N° 4		551

Análisis de varianza de un factor					
RESUMEN					
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	suma <sup>2</sup> /n
Columna 1	3	582,5	194,1666667	381,5833333	113102,0833
Columna 2	4	1820	455	55376,66667	828100
sumatoria	7	2402,5			941202,0833

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	116629,7619	1	116629,7619	3,494144315	0,120527583	6,60789097
Dentro de los grupos	166893,1667	5	33378,63333			
Total	283522,9286	6				
Total	3,988090909	10				

*Fuente: Elaborado por Largo E, 2020.*

### 7.4.3 Turbidez

Tabla 12 Análisis de varianza de TURBIDEZ.

	AGUA CRUDA	AGUA RESIDUAL
	TURBIDEZ	
MUESTRA N° 1	1277	222
MUESTRA N° 2	759	557
MUESTRA N° 3	692	529
MUESTRA N° 4		2280

Análisis de varianza de un factor					
RESUMEN					
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	suma <sup>2</sup> /n
Columna 1	3	2728	909,3333333	102506,3333	2480661,333
Columna 2	4	3588	897	873112,6667	3218436
sumatoria	7	6316			5699097,333

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad ad	Valor crítico para F
Entre grupos	260,7619048	1	260,7619048	0,000461632	0,98368934	6,60789097
Dentro de los grupos	2824350,667	5	564870,1333			
Total	2824611,429	6				
Total	3,988090909	10				

Fuente: Elaborado por Largo E, 2020.

### 7.4.4 Solidos Totales

Tabla 13 Análisis de varianza de SOLIDOS TOTALES.

	AGUA CRUDA	AGUA RESIDUAL
--	------------	---------------

SOLIDOS TOTALES		
MUESTRA N° 1	1395	814
MUESTRA N° 2	1275	364
MUESTRA N° 3	1282	192
MUESTRA N° 4		926

Análisis de varianza de un factor					
RESUMEN					
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	suma <sup>2</sup> /n
Columna 1	3	3952	1317,333333	4536,333333	5206101,333
Columna 2	4	2296	574	123842,6667	1317904
sumatoria	7	6248			6524005,333

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	947219,0476	1	947219,0476	12,44373868	0,016783177	6,60789097
Dentro de los grupos	380600,6667	5	76120,13333			
Total	1327819,714	6				
Total	3,988090909	10				

Fuente: Elaborado por Largo E, 2020.

#### 7.4.5 Solidos Suspendidos Totales

Tabla 14 Análisis de varianza de SÓIDOS SUSPENDIDS TOTALES.

AGUA CRUDA AGUA RESIDUAL		
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES		
MUESTRA N° 1	188	354
MUESTRA N° 2	116	206
MUESTRA N° 3	128	126
MUESTRA N° 4		1472

Análisis de varianza de un factor					
RESUMEN					
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	suma <sup>2</sup> /n
Columna 1	3	432	144	1488	62208
Columna 2	4	2158	539,5	395390,333	1164241
sumatoria	7	2590			1226449

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	268149	1	268149	1,12748466	0,336885127	6,60789097
Dentro de los grupos	1189147	5	237829,4			
Total	1457296	6				
Total	3,988090909	10				

Fuente: Elaborado por Largo E, 2020.

#### 7.4.6 Sólidos Volátiles

Tabla 15 Análisis de varianza de SÓLIDOS VOLÁTILES.

	AGUA CRUDA	AGUA RESIDUAL
SÓLIDOS VOLÁTILES		
MUESTRA N° 1	2186	140
MUESTRA N° 2	1378	82
MUESTRA N° 3	1290	136
MUESTRA N° 4		1220

Análisis de varianza de un factor					
RESUMEN					
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	suma <sup>2</sup> /n
Columna 1	3	4854	1618	243904	7853772
Columna 2	4	1578	394,5	303566,333	622521
sumatoria	7	6432			8476293

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2566203,857	1	2566203,86	9,17479804	0,029114966	6,60789097
Dentro de los grupos	1398507	5	279701,4			
Total	3964710,857	6				
Total	3,988090909	10				

*Fuente: Elaborado por Largo E, 2020.*

### 7.4.7 DQO

*Tabla 16 Análisis de varianza de DQO.*

	AGUA CRUDA	AGUA RESIDUAL
	DQO	
MUESTRA N° 1	111	242
MUESTRA N° 2	93	153
MUESTRA N° 3	57	464
MUESTRA N° 4		832

Análisis de varianza de un factor					
RESUMEN					
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	<i>suma^2/n</i>
Columna 1	3	261	87	756	22707
Columna 2	4	1691	422,75	91540,9167	714870,25
sumatoria	7	1952			737577,25

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	193248,1071	1	193248,107	3,49916313	0,120319961	6,60789097
Dentro de los grupos	276134,75	5	55226,95			
Total	469382,8571	6				
Total	3,988090909	10				

*Fuente: Elaborado por Largo E, 2020.*

## 7.4.8 DBO5

Tabla 17 Análisis de varianza de DBO5.

	AGUA CRUDA	AGUA RESIDUAL
	DBO5	
MUESTRA N° 1	70	162
MUESTRA N° 2	60	100
MUESTRA N° 3	35	306
MUESTRA N° 4		530

Análisis de varianza de un factor					
RESUMEN					
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	suma <sup>2</sup> /n
Columna 1	3	165	55	325	9075
Columna 2	4	1098	274,5	36459,6667	301401
sumatoria	7	1263			310476

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	82594,71429	1	82594,7143	3,75331568	0,11044551	6,60789097
Dentro de los grupos	110029	5	22005,8			
Total	192623,7143	6				
Total	3,988090909	10				

Fuente: Elaborado por Largo E, 2020.

Luego de realizar los análisis de las varianzas y para comprobar los mismos, debemos fijarnos en los valores del valor de Fisher y el valor crítico del mismo, seguido a esto, nos fijamos en la tabla 9 que nos brinda los valores del número de Fisher ya establecido y observamos los grados de libertad presentes en cada análisis

de varianza que son 6 en total; entonces, leemos la tabla ingresando de manera vertical con el número 1, ya que es solo un grupo y luego de manera horizontal por el número 5 ya que son 5 muestras y nos damos cuenta que el valor crítico de Fisher tanto teórico como experimentalmente es de 6,60 para este caso; es decir, es mayor del número que representa la hipótesis planteada inicialmente, por tal caso se rechaza esta misma y se deduce que las muestras de agua tomadas representan una diferencia significativa con una correlación mínima, dado que, en todos los parámetros las diferencias son significativas.

## **8. Conclusiones**

El tramo involucrado en la investigación es una zona que no ha tenido intervenciones científicas por parte de instituciones competentes, dado que no se obtuvo fuentes de información primaria de la misma, además, los municipios involucrados no cuentan con un Plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) ni un Plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) actualizado.

Las concentraciones de DBO Y DQO en las muestras de agua cruda tomadas en el tramo dan a conocer que este afluente no es óptimo para ningún tipo de uso dado que se clasifica como agua residual.

La cobertura vegetal predominante en la zona de estudio se puede clasificar como los ríos que convergen al tramo, además, los herbazales tienen también un área alta pero menor que la nombrada anteriormente.

Las actividades predominantes en el uso del suelo son los espacios de regeneración natural, además, la ganadería, bosques intervenidos y pastos con rastrojos

Para la recopilación de información geográfica es conveniente utilizar softwares libres como QGIS ya que se tienen diferentes versiones y es totalmente gratuito; es decir, no necesita ninguna licencia para su ejecución.

El análisis Anova es una herramienta que sirve para comparar datos que se tengan de muestreos diferentes, pero de un mismo conjunto de datos, es decir, no se puede utilizar cuando tenemos elementos diferentes de un conjunto de datos.

Al realizar el análisis ANOVA observamos que las hipótesis planteadas no son válidas, es decir, que los resultados obtenidos no presentan una correlación significativa.

Es de vital importancia caracterizar los vertimientos de los municipios en una investigación basada en calidad de agua, ya que, al conocer esto se pueden implementar tasas retributivas en función de los vertimientos generados.

El cuerpo de agua de la zona de estudio no se puede utilizar para actividades agrícolas o industriales; este afluente necesita tratamiento preliminar basado en aguas residuales para poder dar un uso respectivo seguidamente.

## **9. Recomendaciones**

Se recomienda a la corporación regional de Santander hacer el seguimiento pertinente para establecer estaciones hidro meteorológicas para tener datos actualizados de variables meteorológicas que posteriormente contribuirán al crecimiento científico del departamento y de nuestro país.

A los investigadores de los materiales plásticos y polímeros tener en cuenta los metales pesados y sus concentraciones.

Se recomienda a los gobernantes de los municipios involucrados tomar medidas frente al manejo de los vertimientos, manejo de residuos sólidos y cuidado del Rio Chicamocha.

A todas las instituciones educativas que promuevan la investigación en las personas para que existan grandes centros de información bibliográfica donde se facilite el acceso a ella.

## 10. Referencias Bibliográficas

Arthur, C., Baker, J., & Bamford, H. (2009). Proceedings of the international research workshop on the occurrence, effects and fate of microplastic marine debris. Sept 9–11, 2008, NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R30. USA: NOAA.

Blair, R. Waldron, S. Phoenix, V. Gauchotte, L. (2017) Micro and nanoplastic pollution of freshwater and wastewater treatment Systems. Springer Science reviews 2213-7793. -017-0044-7.

Bravo, F. A. M. (2006). Uso de trampas bunte para la caracterización del transporte de sedimentos de fondo en el estero vuelta de zorra, valdivia. *Universidad Austral de Chile*. 1–35.

BUNTE, K.; SWINGLE, K.; ABT, S. 2007 Guidelines for Using Bedload Traps in CoarseBedded Mountain Streams: Construction, Installation, Operation, and Sample Processing. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-191. Fort Collins, Colorado: U.S.A. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 91 p.

Caño., X. 2020. Ayudas, en concurrencia competitiva, para la evaluación de la biodiversidad terrestre.

Cifuentes., C 2018. Análisis de la exposición de microplástico en lumbricus terrestres, Concepción Chile 13-16

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T.S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin* 62, 2588–2597.

Contreras J, Mendoza C, & Gómez A. (2004) Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del rio HAINA. Vol. 29; Numero 1. P 5,6.

Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J.I., Irigoien, X., Úbeda, B.,  
Hernández-León, S, Duarte, C.M. (2014). Plastic debris in the open ocean. PNAS, 1-6.

Consultado el 2 de junio desde:

[www.pnas.org/lookup/suppl/doi:10.1073/pnas.1314705111/-/DCSupplemental](http://www.pnas.org/lookup/suppl/doi:10.1073/pnas.1314705111/-/DCSupplemental)

Dehghani, S., Moore, F., & Akhbarizadeh, R. (2017). Microplastic pollution in deposited urban dust, Tehran metropolis, Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 24(25)

Departamento de Hidráulica de la Universidad del Cauca. (s.f.). Parte II:  
Transporte de Sedimentos. Obtenido de Curso Socavación en Puente. Tema  
Transporte de Sedimentos.

DÍAZ-PULIDO G. Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad en Colombia. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis” INVEMAR; 1997.

Donoso, J, 2018. Cuantificación de la presencia de Microplásticos en la cuenca alta del río Guayllabamba pp 1, 2, 4

Dourojeanni, A. (1994) La evolución de la gestión de cuencas en América Latina y el Caribe. *Debate Agrario*; (18), 65-88-191.

Duis, K. & Coors, A. (2016). Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with specific focus on personal care products), fate and effects. *Environ Sci Eur* 28(2): 1-25.

Facultad regional de Mendoza. Catedra probabilidad y estadística (2020).

Fischer, E. K., Paglialonga, L., Czech, E., & Tamminga, M. (2016). Microplastic pollution in lakes and lake shoreline sediments—a case study on Lake Bolsena and Lake Chiusi (central Italy). *Environmental Pollution*

Gonzales, F. (2019). Distribución y abundancia de Microplásticos en cuencas mediterráneas, Barcelona, Spain. P 1, 2, 4,6.

Gamboa, A, Fermin, i, Rodriguez, E & Senior W. (2018). Especiación y factor de enriquecimiento de metales pesados en sedimentos superficiales de la zona costera del municipio sucre, estado sucre. Venezuela. P 1.

Geyer, R.; Jambeck, J. R.; Law, K. L. Production, Use, and Fate of All Plastics Ever Made. *Sci. Adv.* 2017, 3 (7), e1700782.

Gioia R, Nizzetto L, Lohmann R, Dachs J, Temme C, y Jones KC., 2008. Polychlorinated biphenyls (PCBs) in air and seawater of the Atlantic Ocean: sources, trends and processes. *Environ Sci Technol* 42(5):1416–1422

González, M., Méndez, L., López, D., Vázquez, A. 2006. Evaluación de la concentración de sedimentos del área portuaria y zona costera de Salina Cruz, Oaxaca, México. *Interciencia.* 31, 9: pp 647-656.

Gómez *et al* (2020), Términos de referencia para la presentación del informe de caracterización de vertimientos líquidos. Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare "Cornare".

GOOGLE Earth. 2020

Hammer, J., Kraak, M.H.S., y Parsons, J.R., 2012. Plastics in the marine environment: the dark side of a modern gift. In: Whitacre, D.M., Nigg, H.N., Doerge, D.R. (Eds.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Book*. Springer, New- York, pp. 1–44.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Usos del suelo, 2020.

Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean.

Science, 347, 768-770. Consultado el 2 de junio de 2020 desde:

<http://science.sciencemag.org/>

Laino, R., Bello, R., Gonzales., M, Otárola, F., Jiménez, F & Musalem K.

2015 Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala

Li, J., Liu, H., & Chen, J. P. (2018). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for Microplastics detection. *Water research*

Lebreton L et al (2017) Emisiones de plástico de los ríos a los océanos del mundo. *Nature communications* 23

Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua para análisis de laboratorio. Artículo 27 del decreto 1575 de 2007

Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020. Colombia.

Moncho Vasallo, J. (2015). Análisis de la varianza. ANOVA. *Estadística Aplicada a Las Ciencias de La Salud*, 135–156.

López, N.A. (2018, julio). Contaminación de microplástico en la superficie del Lago Atitlán, Sololá. II Simposio Internacional de Aguas Continentales de las Américas. Asociación de Amigos del Lago de Atitlán. Panajachel, Guatemala.

Navalpotro, J. A. S., Alcolea, M. A., Quiroga, F. G., & Pérez, M. S. (2009) La degradación medioambiental de la cuenca mediterránea; conservación y gestión de unos recursos y un patrimonio compartido/The environmental degradation of the mediterranean basin preservation vs. Management of the shared resources and patimony. *Observatorio ambiental*. 12, Recuperado el 2 de Junio de 2020

PEMRG, 2011. Plastics – the facts 2011: an analysis of European plastics production, demand and recovery for 2010, Plastics Europe Market Research Group

Rochman, C.M., Browne, M.A. (2013). Classify plastic waste as hazardous. COMMENT 494, 169-171.

Rodríguez, L., & Moreno, S. (2016). Análisis Del Índice De Riesgo De Calidad De Agua Para Consumo Humano-Irca Y Su Relación Con Las Variables Meteorológicas (Precipitación Y Temperatura) Y La Ubicación Geográfica. 22.

Romeu-Álvarez, Beatriz; Larrea-Murrell, Jeny; Lugo-Moya, Daysi; Rojas-Hernández, Nidia; Heydrich Pérez, Mayra Calidad microbiológica de las aguas del río Luyanó, La Habana, Cuba Revista CENIC. Ciencias Biológicas, vol. 43, núm. 3, septiembre-diciembre, 2012 Centro Nacional de Investigaciones Científicas Ciudad de La Habana, Cuba

Talvitie, j., Mikola, A., KOISTINEN, a. & Setäl, O. (2017): Solutions to microplastic pollution. Removal of microplastic from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. Water research. (123), 401-407

Salazar Nishi, J. Análisis del Sector Plástico en el Perú; 2016.

Thompson, R.C., 2006. Plastic debris in the marine environment: consequences and solutions. In: Krause, J.C., Nordheim, H., Bräger, S. (Eds.), Marine Nature Conservation in Europe. Federal Agency for Nature Conservation, Stralsund, Germany, pp. 107–115.

Thompson, R.C. (2015). Microplastics in the marine environment: Sources, consequences and solutions. En M. Bergmann, L. Gutow, & M. Klages (Eds.), Marine anthropogenic litter (pp. 185-200). Berlín: Springer.

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Análisis de agua (2020).

UNEP. 2005. Making Tourism Sustainable: a guide for policy makers. United Nations Environment Programme (UNEP), Paris.

Valencia, Rafael & Sánchez Alarcón, Juana & Ortiz, Eduard & Gomez, Jose. (2007). La contaminación de los ríos, otro punto de vista. Ciencia en la Frontera. V. 35-49