



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA VEGETACIÓN  
ACUÁTICA, SEMIACUÁTICA Y RIPARIA Y SU POSIBLE  
RELACIÓN CON VARIABLES HIDRÁULICAS Y  
FISICOQUÍMICAS EN LAS CABECERAS DE LOS RÍOS SAN  
LORENZO, GUARINÓ Y COCORNÁ, ANTIOQUIA COLOMBIA**

Autor

Cristian Botero Álvarez

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental

Medellín, Colombia

2020



CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA,  
SEMIACUÁTICA Y RIPARIA Y SU POSIBLE RELACIÓN CON VARIABLES  
HIDRÁULICAS Y FÍSICOQUÍMICAS EN LAS CABECERAS DE LOS RÍOS SAN  
LORENZO, GUARINÓ Y COCORNÁ, ANTIOQUIA COLOMBIA

Cristian Botero Álvarez

Trabajo de Investigación como requisito para optar al título de:  
Magíster en Ingeniería Ambiental.

Director

Prof. Néstor Jaime Aguirre Ramírez. Dr. rer. nat.

Asesor

Prof. Fabio De Jesús Vélez Macías. Dr. Phil.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental.

Medellín, Colombia

2020

## **AGRADECIMIENTOS**

Al universo y a la vida por darme la oportunidad de levantarme cada día y poder estar en este punto donde he adquirido tantos conocimientos y experiencia personal y profesional.

A mis padres y hermana por su apoyo incondicional en la idea de formarme como un profesional en este campo de las ciencias ambientales; su paciencia, respeto, ánimo, comprensión, cariño y acompañamiento hicieron que este proceso fuera maravilloso; a mi tía Bertha que me abrió las puertas de su hogar y me recibió como un hijo para apoyarme en este camino.

A mis amigos casi hermanos, con los cuales he compartido desde la niñez, ellos han estado pendientes en el desarrollo de mi maestría, compartir con ellos es y será el mayor aliciente para continuar en este camino; a Caro, que me enseñó que la vida llevada de forma paciente siempre nos recompensa el esfuerzo.

A mi director de trabajo el Doctor Néstor Aguirre, y mis asesores, los Doctores Fabio Vélez y Yimmy Montoya, por su acompañamiento en la consecución de este trabajo, su apoyo fue esencial para la solidez científica del documento; aprendí de ellos que lo más importante en la investigación, es tener deseo y compromiso.

Al grupo de investigación GeoLimna, a sus profesores e investigadores amigos, al Laboratorio de Hidrobiología Sanitaria y su coordinador Maikol. Gracias a todos ellos el trabajo fue muy ameno, sus consejos y disposición para ayudarme siempre fueron indispensables para que todo fuera más sencillo.

A la Facultad de Ingeniería y el programa de posgrados por el apoyo económico para mis estudios de maestría; al CODI y el municipio de El Carmen de Viboral por la financiación al proyecto de investigación.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.1 Pregunta de investigación .....	4
1.2 Hipótesis.....	4
2. MARCO TEÓRICO .....	5
3. OBJETIVOS .....	9
3.1 Objetivo General .....	9
3.2 Objetivos Específicos .....	9
4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	10
4.1 Descripción general.....	10
4.2 Descripción de las microcuencas y su estación .....	12
4.2.1 Microcuenca de la estación Cocorná.....	12
4.2.2 Microcuenca de la estación San Lorenzo .....	13
4.2.3 Microcuenca de la estación Guarinó.....	15
5. METODOLOGÍA .....	18
5.1 Metodología en campo y toma de muestras fisicoquímicas .....	18
5.2 Medición y toma de muestras Biológicas .....	24
5.3 Análisis estadístico de datos .....	27
6. RESULTADOS.....	28
6.1 Caracterización fisicoquímica y biológica de los tres ríos.....	28
6.1.1 Caracterización fisicoquímica .....	28
6.1.2 Caracterización biológica.....	35

6.2	Análisis estadístico .....	51
6.2.1	Análisis descriptivo .....	51
6.2.2	Análisis multivariado.....	57
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
7.1	Análisis general .....	61
7.2	Espacialización de resultados .....	65
7.2.1	Índice de calidad del agua. ....	65
7.2.2	Vegetación acuática en las estaciones.....	68
7.3	Escenarios futuros de las estaciones por la concesión de agua. ....	71
7.3.1	Pérdida de lámina de agua para el río Cocorná. ....	71
7.3.2	Pérdida de lámina de agua para el río San Lorenzo.....	73
7.3.3	Pérdida de lámina de agua para el río Guarinó. ....	75
8.	CONCLUSIONES .....	77
9.	RECOMENDACIONES .....	78
10.	REFERENCIAS.....	80
	ANEXO A. Análisis de laboratorio variables fisicoquímicas – noviembre 2018.....	87
	ANEXO B. Análisis de laboratorio variables fisicoquímicas – febrero 2019 .....	90
	ANEXO C. Análisis de laboratorio variables fisicoquímicas – marzo 2019 .....	94
	ANEXO D. Análisis de laboratorio variables fisicoquímicas – mayo 2019.....	97
	ANEXO E. Pesos de las variables sobre los componentes del RDA .....	99

### **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1.	Coordenadas de los ríos de estudio en el Oriente Antioqueño .....	11
Tabla 2.	Coberturas de la microcuenca Cocorná .....	12
Tabla 3.	Coberturas de la microcuenca San Lorenzo .....	13

Tabla 4. Coberturas de la microcuenca Guarinó .....	15
Tabla 5. Variables fisicoquímicas medidas in situ y laboratorio.....	20
Tabla 6. Ecuaciones de los índices biológicos. ....	27
Tabla 7. Variables físicas y fisicoquímicas medidas en la estación de muestreo...	30
Tabla 8. Organismos por estación y características ecológicas .....	36
Tabla 9. Datos de la caracterización biológica de los ríos.....	50
Tabla 10. Estadísticos descriptivos para variables fisicoquímicas y biológicas.....	52
Tabla 11. Análisis de Componentes de varianza para las variables fisicoquímicas y biológicas. ....	54
Tabla 12. Prueba de Kruskal Wallis .....	56
Tabla 13. Matriz depurada .....	57
Tabla 14. Análisis de longitud de Gradiente Ambiental .....	58
Tabla 15. Valores propios y proporción de explicación del RDA .....	59
Tabla 16. Rangos de calidad del agua .....	66
Tabla 17. Variación de la lámina de agua por el proyecto en el río Cocorná .....	72
Tabla 18. Variación de la lámina de agua por el proyecto en el río San Lorenzo..	73
Tabla 19. Variación de la lámina de agua por el proyecto en el río Guarinó .....	75
Tabla 20. Pesos de las variables sobre los componentes del RDA .....	99

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Ubicación espacial de la zona de estudio .....	11
Figura 2. Perfil típico de la estación de muestreo Cocorná.....	13
Figura 3. Perfil típico de la estación de muestreo San Lorenzo. ....	14
Figura 4. Perfil típico de la estación de muestreo Guarinó.....	15
Figura 5. Coberturas de las microcuencas y estaciones de muestreo. ....	16
Figura 6. Esquema de la investigación de campo para variables fisicoquímicas. .	19
Figura 7. Esquema de la investigación de campo para variables biológicas.....	25
Figura 8. Esquema gráfico del RDA .....	60
Figura 9. Índices de Calidad de Agua para cada Estación de muestreo .....	67

Figura 10. Distribución de riqueza y abundancia de organismos en la estación Cocorná.....	68
Figura 11. Distribución de riqueza y abundancia de organismos en la estación San Lorenzo Fuente: Elaboración propia .....	69
Figura 12. Distribución de riqueza y abundancia de organismos en la estación Guarinó .....	70
Figura 13. Profundidad en función del caudal para el río Cocorná.....	71
Figura 14. Variación de la profundidad en el río Cocorná .....	72
Figura 15. Profundidad en función del caudal para el río San Lorenzo.....	73
Figura 16. Variación de la profundidad en el río San Lorenzo.....	74
Figura 17. Profundidad en función del caudal para el río Guarinó .....	75
Figura 18. Variación de la profundidad en el río Guarinó. ....	76

### **LISTA DE FOTOGRAFIAS**

Fotografía 1. Área de muestreo Estación Río Cocorná.....	17
Fotografía 2. Área de muestreo Área aledaña Cocorná.....	17
Fotografía 3. Área de muestreo Estación Río San Lorenzo .....	17
Fotografía 4. Área de muestreo Área aledaña San Lorenzo .....	17
Fotografía 5. Área de muestreo Estación río Guarinó.....	18
Fotografía 6. Área de muestreo Área aledaña Guarinó.....	18
Fotografía 7. Correntómetro Global Water Flow Probe .....	22
Fotografía 8. Flotador.....	22
Fotografía 9. Multiparamétrico WTW 3630IDS.....	23
Fotografía 10. Turbidímetro HACH 2100Qis .....	23
Fotografía 11. Fotómetro PF12 MN.....	23
Fotografía 12. Espectrofotómetro ODYSSEY DR 2500 .....	23
Fotografía 13. Cuadrante de muestreo .....	26
Fotografía 14. Individuos de interés .....	26

## RESUMEN

Los ríos de alta montaña presentan presiones antrópicas por la necesidad de abastecimiento de agua debido al crecimiento demográfico. Por ello, existe la necesidad de generar nuevo conocimiento sobre las afectaciones ecosistémicas debidas a la demanda de recurso hídrico. Uno de los componentes bióticos que puede verse afectado es la vegetación acuática, semiacuática y riparia, este tipo de biota desarrolla toda su vida o gran parte de ella en interacción con el río.

La presente investigación tuvo como pregunta central, cómo es la relación entre las variables hidráulicas y fisicoquímicas sobre la comunidad de plantas acuáticas, semiacuáticas y de ribera en tres corrientes de alta montaña; para ello, se propuso la hipótesis de que variables como caudal, temperatura, pH, conductividad y nutrientes afectan la estructura de la vegetación acuática.

La investigación tuvo lugar en los ríos Cocorná, San Lorenzo y Guarinó, en la jurisdicción del municipio de El Carmen de Viboral, allí se desarrollaron 4 campañas de muestreo, en tramos de 100m se midieron variables hidráulicas y fisicoquímicas; se realizaron muestreos de plantas acuáticas, lo que permitió obtener observaciones a través de un cuadrante de 1m de lado.

Se encontró que la estructura de la comunidad de plantas estuvo relacionada con el tipo de sustrato, caudal (1,18 m<sup>3</sup>/s), pH (6,62 Unid. pH), conductividad (21,09 μS/cm), temperatura del agua (16,42 °C), ortofosfatos (0,26 mg/L PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> P), fósforo total (0,09 mg/L P) y en menor medida por el nitrógeno total soluble (0,83 mg/LN) siendo los datos presentados entre paréntesis valores medios de los cuatro muestreos.

Esta investigación comprobó la hipótesis planteada inicialmente, por lo cual la estructura de la comunidad de vegetación acuáticos, en relación a su distribución espacial puede cambiar debido a la afectación sobre la disminución del caudal en la corriente.



**Palabras claves:** El Carmen de Viboral, ríos de alta montaña, variables fisicoquímicas, plantas acuáticas.

## **ABSTRACT**

High Mountain Rivers have anthropic pressures due to the need for water supply because the population growth. Therefore, there is a need to generate new knowledge about ecosystem effects due to the demand for water resources. One of the biotic components that can be affected is the aquatic, semi-aquatic and riparian vegetation, this type of biota fulfills all its life or a large part of it, interacting with the river.

The present investigation had as a central research question, how is the relationship between the hydraulics and physicochemical variables on the community of aquatic, semi-aquatic and riverside plants in three high mountain currents; for this, the following hypothesis was proposed, that variables such as flow, temperature, pH, conductivity, and nutrients affect the vegetation aquatic structure.

The investigation was carried on in the Cocorná, San Lorenzo and Guarinó rivers, in the jurisdiction of El Carmen de Viboral municipality; there were 4 sampling campaigns developed, wherein sections of 100m, hydromorphological and physicochemical variables were measured; Samples of aquatic plants were taken, what allowed to obtain observations through a quadrant of 1m side.

It was found that the structure of the plant community was related to the type of substrate, flow rate (1,18 m<sup>3</sup>/s), pH (6,62 pH units), conductivity (21,09 μS/cm), water temperature (16,42 °C), Orthophosphates (0,26 mg/L PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>P), total Phosphorus (0,09 mg/L P) and to a lesser extent by total soluble Nitrogen (0,83 mg/L N), being the data in brackets, average values of the four sampling.

This research proved the hypothesis initially raised, so that the aquatic vegetation community structure, in relation to its spatial distribution may change due to the effect on the decrease of the flow in the stream.

**Keywords:** El Carmen de Viboral municipality, High Mountain rivers, physicochemical variables, aquatic plants.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Por sus condiciones geográficas, de orografía y cambios en regímenes climáticos, Colombia cuenta con una abundante riqueza hídrica (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). De esta riqueza, el departamento de Antioquia específicamente la zona del Oriente Antioqueño cuenta con una importante oferta del recurso, el cual es utilizado para producción de energía eléctrica, procesos industriales, agrícolas, pecuarios, consumo humano, entre otros. Por tal motivo el aumento de la población y sus actividades económicas traen consigo la necesidad de nuevas captaciones de agua para subsanar dichas demandas.

Adicionalmente, Colombia en su división política cuenta con 33 departamentos y 1051 municipios; 10 de estos departamentos albergan el 70% de la población (IANAS(b), 2019) por lo que se presenta una presión por demanda sobre el recurso hídrico; en el caso del Oriente Antioqueño, que según las proyecciones de población del Plan de Gestión Ambiental Regional 2014-2032, para el año 2034, contará con 796.078 habitantes, lo que se traduce en un incremento aproximado del 15% en relación con el año 2020, donde se estima una población de 681.739 habitantes (CORNARE, 2014).

Así las cosas, el Estado hace un llamado por medio de sus políticas como el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de Agua (IDEAM, 2016) y la Política Nacional Para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), a generar una planificación sostenible del recurso hídrico para conocer la cantidad y calidad del elemento vital. En el marco de esas políticas en relación con la calidad del recurso hídrico, se proponen caracterizaciones hidrobiológicas que permiten conocer las condiciones actuales del recurso (IDEAM, 2017).

El municipio de El Carmen de Viboral pretende construir unas captaciones de agua para abastecimiento futuro de la zona urbana y municipios aledaños, estas obras generarían una disminución en el caudal de la corriente y a su vez cambios en las características fisicoquímicas y biológicas de las corrientes (Osorio, 2010).

Tendiendo en cuenta lo anterior, es importante relacionar la fisicoquímica e hidráulica de las corrientes con la vegetación, dado que la captación de agua para consumo de la población, genera una disminución en el caudal disponible en la cuenca, lo que genera posibles cambios en las condiciones fisicoquímicas de la corriente y a su vez afectación en la riqueza y abundancia de las plantas acuáticas.

El objetivo central de esta investigación fue el análisis de vegetación acuática, semiacuática y riparia de sistemas lóticos, la cual ha sido poco estudiada en estos cuerpos de agua, toda vez que la mayoría de la literatura reportada que relaciona a estos organismos con los medios acuáticos es en sistemas leníticos.

### **1.1 Pregunta de investigación**

Considerando la posibilidad de aprovechamiento del recurso hídrico y sus posibles impactos sobre el ecosistema, en esta investigación se plantea como interrogante central ¿Cómo las variables hidráulicas y fisicoquímicas se pueden relacionar con la estructura de la comunidad de las plantas acuáticas, semiacuáticas y vegetación de ribera en la cabecera de tres ríos andinos del Oriente Antioqueño?

### **1.2 Hipótesis**

Como hipótesis de esta investigación, se propuso que la estructura de la comunidad de las plantas acuáticas, semiacuáticas y vegetación riparia está influenciada por las condiciones hidráulicas principalmente la velocidad de la corriente, pendiente y profundidad del cauce dado que éstas generan sobre los organismos presiones que se ven reflejadas en la presencia o ausencia de algunos individuos; además de la influencia en el crecimiento y distribución de las plantas por variables fisicoquímicas, entre las que se destacan la temperatura, la conductividad eléctrica y los nutrientes,

que influyen en la biomasa y diversidad de los organismos lo que propicia mayores abundancias.

## **2. MARCO TEÓRICO**

El aumento en la demanda y extracción de agua ha llevado a que el recurso hídrico sea reconocido por su importancia para sostenibilidad del medio ambiente (Blanco y de la torre, 2017), además que su calidad se ve comprometida, principalmente debido al crecimiento demográfico y las actividades relacionadas con el desarrollo de las comunidades como las labores domésticas, industriales, agrícolas, entre otras (Gastañaga, 2018). En ese sentido, a nivel global hay preocupación por la disminución tanto en cantidad como en calidad del recurso hídrico, por lo cual se plantean diversos escenarios, entre ellos, conflictos sociales por el acceso al recurso, sumado a ello la disponibilidad del agua por una distribución poco equitativa a nivel global (Agudelo, 2005).

En términos regionales, específicamente en Colombia, país con una gran riqueza hídrica, los retos no son menos importantes, por lo que se han adelantado trabajos sobre la gobernanza del agua, gestión y monitoreo del recurso, programas de investigación, entre los que se destaca el Estudio Nacional del Agua – ENA (IDEAM, 2019), buscando el cumplimiento del objetivo seis y sus metas asociadas, en la agenda 2030 sobre los objetivos de desarrollo sostenible (Naciones unidas, 2018; IANAS(a), 2019).

En términos físicos, los ríos de alta montaña presentan condiciones particulares en el relieve, la topografía, tipos y usos de suelo; así, los ríos alto andinos muestran gran variabilidad en los caudales, aumentando en su magnitud a medida que avanza la red hídrica, además de sumar los cambios topográficos del terreno principalmente altitud y pendiente (Segnini y Chacón, 2005).

Esta variabilidad física de las corrientes, incide sobre los componentes fisicoquímicos, lo que genera fluctuaciones en las concentraciones de estos; en ese sentido, variables como pH, oxígeno disuelto, temperatura del agua, conductividad

y nutrientes, representan algunas de las variables más relevantes en los sistemas acuáticos y que a su vez, se ven alteradas en aumento o disminución en sus concentraciones debido a factores como contaminación por vertimientos de aguas residuales, pérdida de vegetación de ribera, entre otros factores (Pasquini *et al.*, 2004; García-Alzate *et al.*, 2007; Villamarín *et al.*, 2014; Benjumea-Hoyos *et al.*, 2018; Galeano-Rendón y Mancera-Rodríguez, 2018).

Estas variaciones hidráulicas y fisicoquímicas, alteran la composición, estructura, colonización y permanencia de las plantas acuáticas asociadas a las corrientes naturales. Dado que estas comunidades biológicas, responden a cambios de dichas variables en el tiempo (Martínez y Donato, 2003; Díaz-Quiroz y Rivera-Rendón, 2004; Ramírez-C y Plata-Díaz, 2008).

Las plantas acuáticas son unos de los componentes bióticos que pueden ser influenciados por los cambios en las condiciones hidráulicas y fisicoquímicas en las corrientes. Estas plantas hacen parte de la vegetación que crece en la zona litoral de lagos, embalses y ríos, en la interfase agua tierra, sobre la superficie del agua o sumergida completamente (Roldán y Ramírez, 2008).

Las plantas acuáticas son un importante componente biológico de los cuerpos de agua, tanto por su valor ecológico como por los impactos que generan en ellos (Posada y López, 2011). Sin embargo, el conocimiento de la diversidad, dinámica y ecología de las comunidades de plantas acuáticas y semiacuáticas en cuerpos de agua lóticos es bajo (Gómez-Rodríguez *et al.*, 2017).

En Colombia, los ríos altoandinos por sus diversos hábitats, variedad en las presiones ambientales y usos del suelo, forman parte de un escenario de interés con respecto a la diversidad en la comunidad florística y su respuesta a condiciones ambientales (Gómez-Rodríguez *et al.*, 2017); por ello, las plantas acuáticas proporcionan alternativas para el entendimiento de la ecología y condiciones de calidad de agua de los sistemas lóticos.

Las plantas acuáticas, semiacuáticas y vegetación riparia presentan una distribución geográfica muy amplia, la cual está principalmente relacionada con sus hábitos de crecimiento y condiciones ambientales, esto implica que dichos organismos se desarrollen en variedad de puntos de la latitud y altitud de la zona continental (U.S EPA, 2002; García Murillo *et al.*, 2009; Giménez 2009; Cirujano Bracamonte *et al.*, 2014; Lasso *et al.*, 2014; Quiñonez y Wagner, 2016); particularmente en la zona tropical en países como Ecuador, Colombia y Perú se da una mayor concentración endémica de este tipo de vegetación (Schmidt-Mumm, 1998; Tognelli *et al.*, 2016).

Estos organismos prestan servicios de vital importancia para los procesos naturales como el transporte de nutrientes tanto al interior como al exterior del agua, adicional a ello la vegetación riparia proporciona estabilidad al terreno y evita así procesos erosivos que aportan materia orgánica y sólidos suspendidos al agua lo que provoca problemas de contaminación (Roldán y Ramírez, 2008; Benjumea-Hoyos *et al.*, 2018).

Marco normativo. Ahora bien, para que la estructura vegetal se mantenga, el Estado y las Corporaciones Autónomas Regionales - CAR - están en la obligación de generar normas que estén encaminadas a la conservación de las zonas aledañas a la fuente hídrica, conocidas también como Rondas Hídricas; en ese sentido, la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare-Cornare por medio del Acuerdo 251 de 2011 desarrolló la respectiva reglamentación de las rondas hídricas, áreas de protección y conservación a las corrientes naturales (CORNARE, 2011), este determinante ambiental implica la necesidad de conservar la zona de ribera de las corrientes hídricas para evitar cambios en los procesos ecosistémicos de los ríos, evitando así pérdida de biodiversidad y capacidad de regulación de las fuentes hídricas.

Así mismo, se tiene el plan de ordenación y manejo de cuenca hidrográfica del río Samaná Norte – POMCA, que está legalizado mediante resolución 1712-7307; en este documento se expresa la necesidad de hacer uso eficiente de los recursos

hídricos de la zona dado que las presiones antrópicas disminuyen la capacidad biológica para conservar la estabilidad de los ecosistemas, limita la diversidad, lo que afecta la estructura ecológica y la pérdida de servicios ecosistémicos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible(a), 2017); en el caso de las plantas acuáticas, estos organismos, suministran de manera directa o indirecta recurso alimenticios y económicos, además de refugio, entre otros servicios ambientales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (b), 2017).

En lo que respecta a la zona andina en relación a la investigación con vegetación acuática en muchas ocasiones se limita a la caracterización taxonómica de los organismos, sin considerar que estos individuos al estar integrados al medio acuático, también pueden responder a los cambios temporales y espaciales de la calidad y cantidad del recurso hídrico; pero en otras latitudes se evidencia un esfuerzo importante, relacionado con entender los procesos naturales de los ríos y cómo todos sus componentes bióticos y abióticos son afectados por las actividades antrópicas; en ese sentido en algunos países desde hace aproximadamente dos décadas se han utilizado las plantas acuáticas para la evaluación de la calidad de agua y estado ecológico de los ríos (Moreno *et al.*, 2006).

Estas investigaciones, dan cuenta de acercamientos a índices de calidad ecológica o calidad de agua; casos de resaltar, el índice de vegetación acuática – IVAM, el índice de macrófitas – IM y el índice trófico de macrófitas – TIM, los cuales optan por dar una puntuación a la clasificación taxonómica de los organismos, y al mismo tiempo analizar la influencia de dicha clasificación en la evaluación del estado trófico asociado a variables fisicoquímicas como nutrientes, principalmente el fósforo presente en las fuentes de agua (Schneider y Melzer, 2003; Suárez *et al.*, 2005; Moreno *et al.*, 2006).

Adicional a esto, se tienen algunas investigaciones a nivel global, como el caso de Schmidt-Mumm, 1988; Schmidt-Mumm, 1998; U.S EPA, 2002; García *et al.*, 2009; Giménez 2009; Posada y López, 2011; Fernández- Alaéz; 2012; Cirujano Bracamonte *et al.*, 2014; Eggers and Reed; 2014; Lasso *et al.*, 2014; Quiñonez y

Wagner, 2016; Tognelli *et al.*, 2016; Schneider, 2018; estos autores han estudiado la diversidad, distribución, hábitos de crecimientos, entre otros elementos de las plantas acuáticas desde diferentes escalas, tanto global, como regional y local.

Es importante mencionar que las investigaciones relacionados con este tipo de vegetación en Colombia son escasas, y en las ejecutadas, se hace un esfuerzo inicial en la identificación de los organismos, hábitos de vida y en pocos casos, se realizan algunas relaciones entre la distribución de los organismos y las variables fisicoquímicas y usos de suelo (Schmidt-Mumm, 1988; Schmidt-Mumm, 1998; Posada y López, 2011; Gómez-Rodríguez *et al.*, 2017); por lo anterior, es necesario promover esfuerzos desde la academia para replicar dichas experiencias en los ríos de la zona alto andina, y así construir bases más sólidas en relación con el conocimiento de estas comunidades acuáticas y su integración con esos cambios fisicoquímicos e hidráulicos sobre las cuencas hidrográficas lo que contribuiría a proporcionar nuevas alternativas para la Gestión Integral del Recurso Hídrico y el mantenimiento de los ecosistemas.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

Establecer la estructura de la comunidad de la vegetación acuática, semiacuática y riparia para tramos de las cabeceras de tres ríos andinos, y su posible relación con las algunas variables hidromorfológicas y fisicoquímicas de las fuentes hídricas; con apoyo de software estadísticos y Sistemas de Información Geográfica.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar la hidráulica y fisicoquímica de tramos en las cabeceras de los ríos de estudio por medio de mediciones en campo y laboratorio, para relacionar la estructura fisicoquímica de la corriente con la estructura de las plantas acuáticas en cada reoambiente.



- Establecer las principales variables físicas y químicas que inciden sobre el crecimiento y estructura de los organismos vegetales, teniendo en cuenta que las plantas responden a cambios en las dinámicas de las fuentes hídricas debido a su relación con el medio acuático.
- Modelar espacialmente los ríos de estudio en el contexto de su cuenca principal por medio de los Sistemas de Información Geográfica – SIG, con el fin de integrar aspectos geográficos e impactos ambientales del territorio. En esa medida se obtendrán mapas de calidad del agua, estos ilustran algunas plantas acuáticas, semiacuáticas o de ribera asociadas a los tres ríos en estudio y las variables que afectan el desarrollo natural de los individuos.
- Proponer medidas preventivas encaminadas a la preservación y gestión integral del recurso hídrico, teniendo en cuenta que la finalidad de extracción de agua para abastecimiento de la población por el distrito de acueducto debe garantizar tanto los caudales para los procesos que se demanden, además de conservar el caudal ecológico sobre la fuente que es importante en las dinámicas naturales del ecosistema.

#### **4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

##### **4.1 Descripción general**

La zona de estudio se ubica en el altiplano de Oriente Antioqueño, en jurisdicción del municipio de El Carmen de Viboral, en parte alta de la cuenca del río Samaná Norte, afluente del Magdalena, sobre los ríos Cocorná, San Lorenzo y quebrada Guarinó. En la Tabla 1 se muestran las coordenadas de captación de agua del proyecto “Bioprospección de los ríos San Lorenzo, Guarinó y Cocorná” (Osorio, 2010), ahí mismo se desarrolló el levantamiento de la información, a lo largo de un tramo de 100 m.

Tabla 1. Coordenadas de los ríos de estudio en el Oriente Antioqueño

Estación		Río San Lorenzo	Río Cocorná	Quebrada Guarinó
Captación	Latitud	6° 01' 26.20"	5° 59' 06.30"	6° 03' 38.76"
	Longitud	-75° 16' 52.19"	-75° 15' 37.46"	-75° 16' 22.23"
Altitud (m.s.n.m)		2.364	2.289	2.239

Fuente: Osorio, 2010

En la Tabla 1 se observa que los ríos en los puntos de muestreo tienen cotas que oscilan entre los 2.200 y 2.400 m.n.s.m, por lo cual se presentaron diferencias altitudinales que pueden ser de interés para la investigación.

En la Figura 1 se presenta el mapa correspondiente a la zona de estudio; allí destaca la ubicación espacial de cada microcuenca de interés y su punto de muestreo, cada microcuenca a su vez pertenece a la cuenca que descarga sus aguas como un afluente del río Samaná en su parte Norte

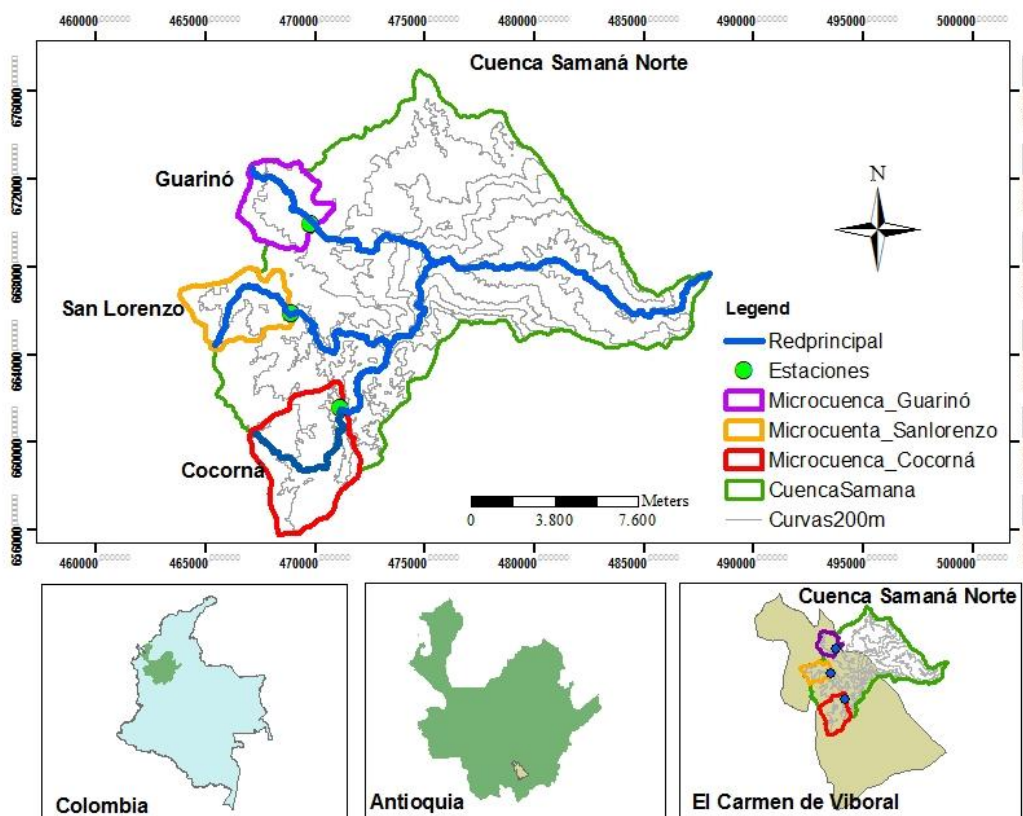


Figura 1. Ubicación espacial de la zona de estudio  
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 1 se observa que los drenajes de las microcuencas San Lorenzo y Guarinó vierte sus aguas en el cauce principal del río Cocorná; se observa que las cotas disminuyen en magnitud sentido oeste este. Además, según la configuración de la cuenca del río Samaná, las cabeceras de los ríos están en jurisdicción del municipio de El Carmen de Viboral, pero a partir de la cuenca media del río discurre por el municipio de Cocorná.

## 4.2 Descripción de las microcuencas y su estación

### 4.2.1 Microcuenca de la estación Cocorná

La microcuenca de la estación Cocorná, se encuentra ubicada en la parte sur de la cuenca del Samaná Norte; las coberturas que se logran identificar allí son Bosques, Pastos y Suelos Desnudos. Teniendo en cuenta esto, en la Tabla 2 se muestran las áreas y porcentajes de coberturas asociadas a la microcuenca.

*Tabla 2. Coberturas de la microcuenca Cocorná*

<b>Microcuenca Cocorná</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje área</b>
Bosques	16,2	73,3
Pastos	2,9	13,0
Suelos desnudos	3,0	13,7
Área total	22,1	100,0

Fuente: Elaboración propia – Modelación en ArcGIS

De la Tabla 2 se destaca una predominancia de la zona de bosque por lo que es un área con poca intervención antrópica, en relación con la estación de muestreo, este río presenta una estructura diferente a la de los ríos San Lorenzo y Guarinó: en términos generales, la estación tiene un ancho que osciló entre 15 y 22 metros en el tramo de interés, así mismo la conformación física del lecho contiene rocas que varían entre 0,05 m y 1,5 m de diámetro. En la Figura 2 se muestra un perfil de la estación de muestreo con las características del lecho y algunos organismos vegetales acuáticos.

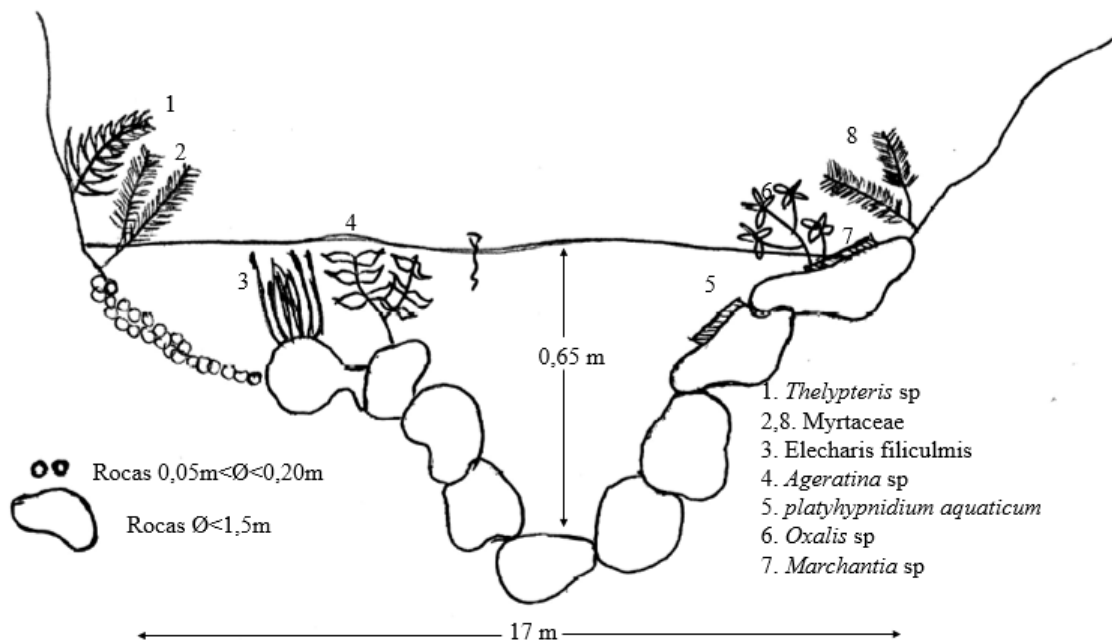


Figura 2. Perfil típico de la estación de muestreo Cocorná.  
Fuente: Elaboración propia

La Figura 2 muestra una sección transversal del perfil sobre la estación de muestro, allí se observa un lecho más gradado y un talud pronunciado en la margen izquierda. Por el contrario, la margen derecha presenta una conformación de lecho rocoso de mayores dimensiones.

#### 4.2.2 Microcuenca de la estación San Lorenzo

La microcuenca de la estación San Lorenzo, se encuentra ubicada en la parte suroccidente de la cuenca del Samaná Norte, según el tratamiento de las imágenes satelitales, al igual que la microcuenca Cocorná, las tres principales coberturas que se logran identificar son Bosques, Pastos y Suelos Desnudos. En la Tabla 3 se muestran las áreas de coberturas asociadas a la microcuenca.

Tabla 3. Coberturas de la microcuenca San Lorenzo

Microcuenca San Lorenzo	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje área
Bosques	4,9	40,6
Pastos	4,7	38,6
Suelo desnudo	2,5	20,8
Área total	12,1	100,0

Fuente: Elaboración propia – Modelación en ArcGIS

En la Tabla 3 se observa una mayor distribución de tierra asociada a los bosques y pastos, allí hay una importante contribución de área por parte de los suelos desnudos. En relación con la estación de muestreo, este río es más pequeño que el río Cocorná; dicha estación presenta un ancho que varió entre cinco y siete metros en el tramo. Así mismo, el lecho contiene rocas que varían entre 0,05 m y 1,0 m de diámetro, donde las de 1 m son poco comunes.

En la Figura 3 se muestra un perfil sobre la estación de muestreo, allí se evidencia de manera gráfica, las características del lecho y algunas plantas acuáticas.

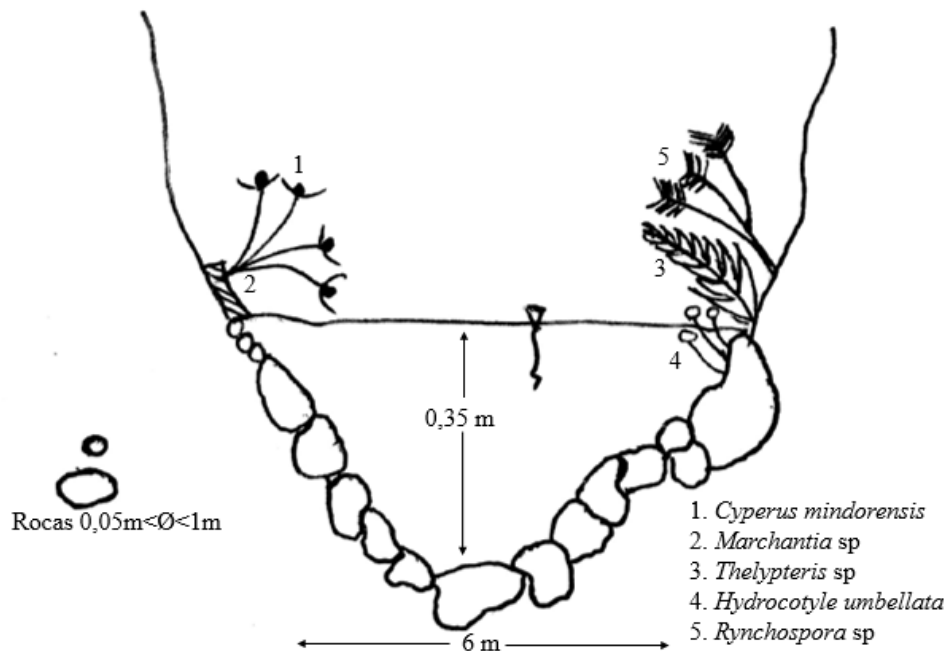


Figura 3. Perfil típico de la estación de muestreo San Lorenzo.

Fuente: Elaboración propia

La Figura 3 muestra una sección transversal del perfil sobre la estación de muestro, allí se observa un lecho más gradado en la margen izquierda. Por el contrario, la margen derecha presenta una conformación de lecho rocoso de mayores dimensiones, cabe resaltar que ambas márgenes presentan una pendiente casi perpendicular al lecho de la corriente.

### 4.2.3 Microcuenca de la estación Guarinó

La microcuenca de la estación Guarinó, se encuentra ubicada en la parte noroccidente de la cuenca del Samaná Norte; las tres principales coberturas que se logran identificar son Bosques, Pastos y Suelos desnudos. En la Tabla 4 se muestran las áreas de coberturas asociadas a la microcuenca.

Tabla 4. Coberturas de la microcuenca Guarinó

Microcuenca Guarinó	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje área
Bosques	3,5	28,9
Pastos	6,2	50,7
Suelo desnudo	2,5	20,4
Área total	12,3	100,0

Fuente: Elaboración propia – Modelación en ArcGIS

En la Tabla 4 se puede observar que existe predominancia de pastos, lo que efectivamente se observó *in situ* donde se evidenció actividad ganadera. En relación con la estación de muestreo, el río presentó un ancho entre cinco y siete metros en el tramo; así mismo, el lecho está conformado principalmente por arenas. En la Figura 4 se muestra un perfil sobre la estación de muestreo con las características del lecho y algunas plantas acuáticas presentes.

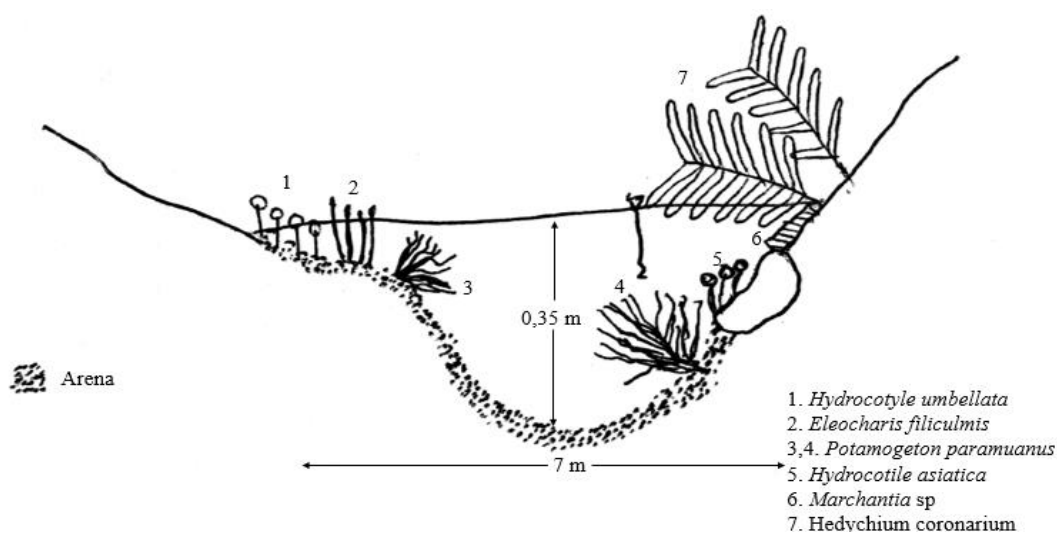


Figura 4. Perfil típico de la estación de muestreo Guarinó.

Fuente: Elaboración propia

La Figura 4 muestra una sección transversal del perfil sobre la estación de muestreo, allí se observa un lecho de arena y menos pendiente en la margen izquierda. Mientras que, la margen derecha presenta una conformación de lecho rocoso con una mayor pendiente.

A continuación en la Figura 5 se muestra un mapa de las coberturas asociadas a cada microcuenca.

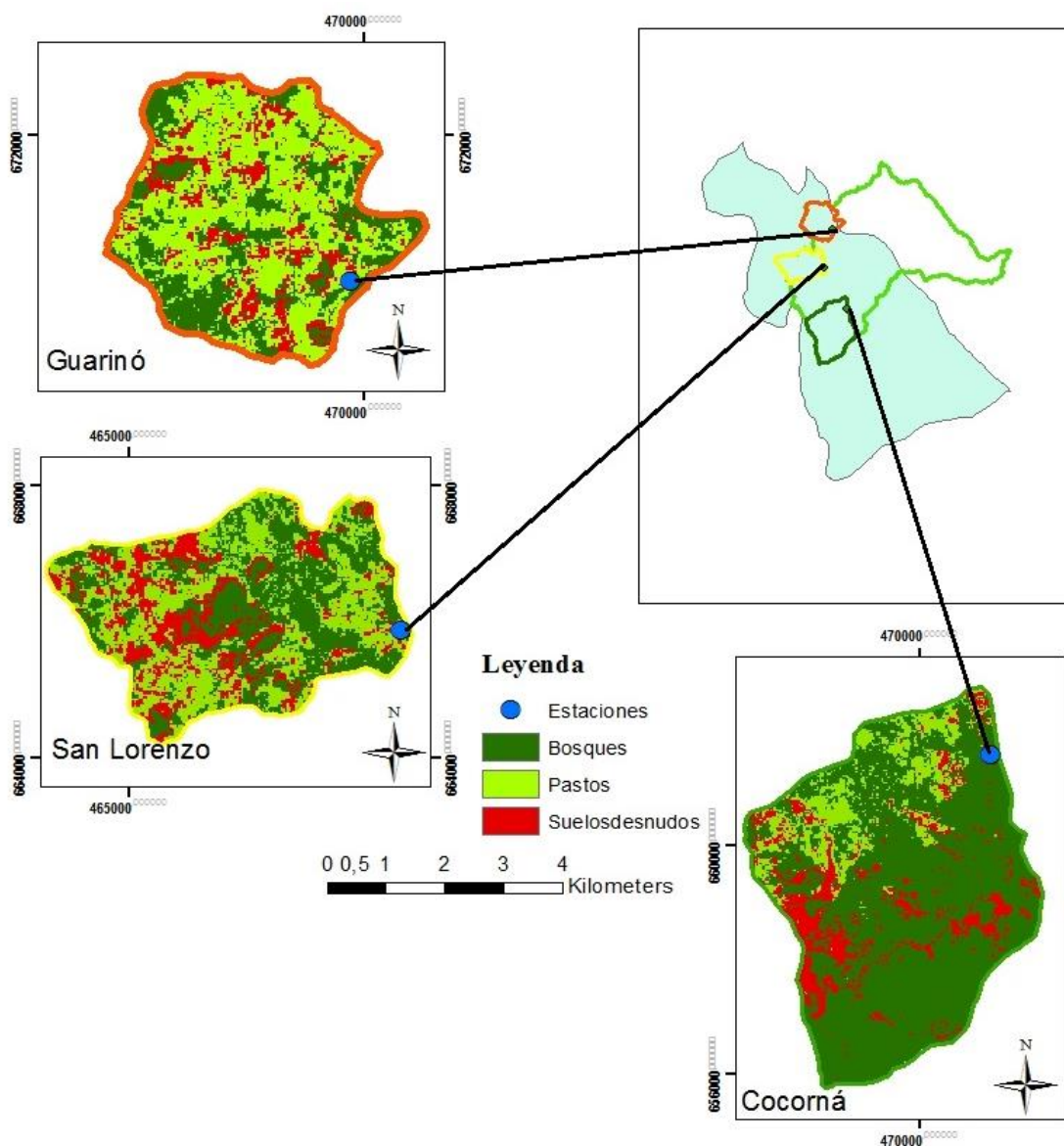
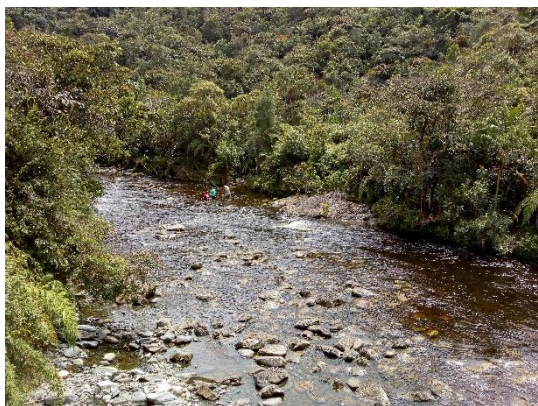


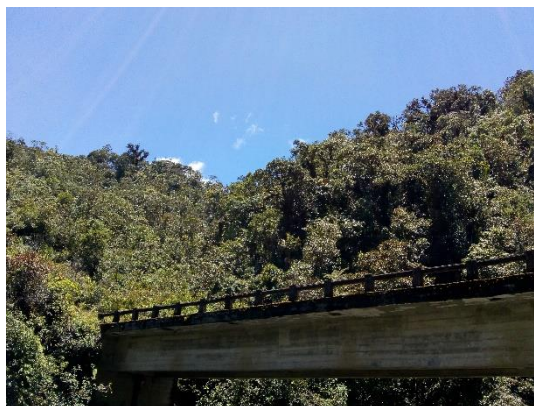
Figura 5. Coberturas de las microcuencas y estaciones de muestreo.  
Fuente: Elaboración propia

La Figura 5 muestra las tres coberturas predominantes en las microcuencas; se observa que la microcuenca Cocorná, es la que menos intervención antrópica presenta, dada la gran cantidad de zona de bosques, mientras que las otras dos microcuencas San Lorenzo y Guarinó, presentan unos mayores porcentajes de área asociadas a pastos y suelos desnudos, producto de la intervención antrópica relacionada con actividades agrícolas o de explotación del suelo.

A continuación, en las Fotografía 1, Fotografía 2, Fotografía 3, Fotografía 4, Fotografía 5 y Fotografía 6 se muestran las tres estaciones de interés y sus áreas circundantes a la fuente hídrica.



*Fotografía 1. Área de muestreo Estación Río Cocorná.*



*Fotografía 2. Área de muestreo Área aledaña Cocorná*



*Fotografía 3. Área de muestreo Estación Río San Lorenzo*



*Fotografía 4. Área de muestreo Área aledaña San Lorenzo*





*Fotografía 5. Área de muestreo Estación río Guarinó*



*Fotografía 6. Área de muestreo Área aledaña Guarinó*

Las fotografías anteriores dan idea de la conformación del tramo y sus áreas aledañas; allí se observó que el río Cocorná presenta un área circundante arborizada con gran cantidad de bosques; el río San Lorenzo también presenta algunos árboles, pero en menor proporción que el Cocorná; y el río Guarinó presenta una planicie donde predominan las zonas de pastos, allí se logra identificar una zona de playa con gran cantidad de arena, sustrato que predomina en el sitio.

## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1 Metodología en campo y toma de muestras fisicoquímicas**

La investigación en campo fue dividida en cuatro campañas de muestreo, las fechas de dichas campañas fueron las siguientes:

- ✓ 1 y 2 de noviembre de 2018 (Periodo húmedo)
- ✓ 12 y 13 de febrero de 2019 (Periodo seco)
- ✓ 26 y 27 de marzo de 2019 (Periodo seco)
- ✓ 14 y 15 de mayo de 2019 (Periodo húmedo)

En cada una de las estaciones de monitoreo, correspondientes a los tres ríos investigados, se delimitó un tramo de 100 m en la dirección del flujo de la corriente. El tramo fue identificado mediante la anotación de coordenadas UTM (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015).

En la Figura 6 se muestra un esquema de la metodología de campo y las variables hidráulicas y fisicoquímicas que fueron tomadas en cada sitio.

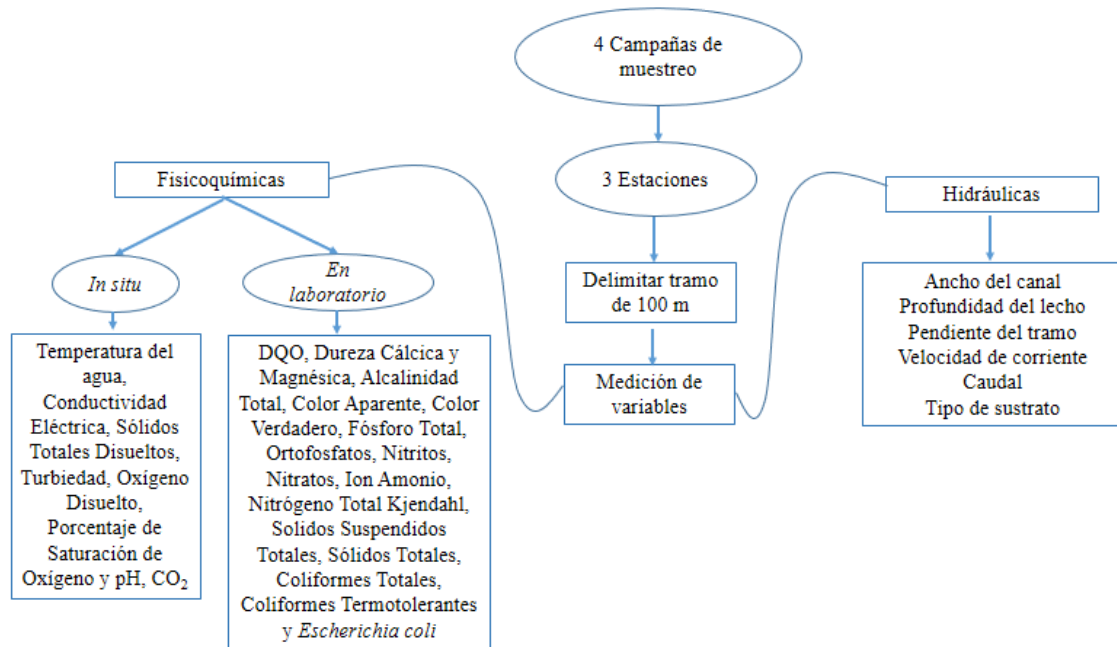


Figura 6. Esquema de la investigación de campo para variables fisicoquímicas.  
Fuente: Elaboración propia

La figura anterior representa todas las variables que fueron medidas en las campañas de muestreo en cada río; para cada variable se tomaron un total de 12 datos.

En un punto central del tramo se hizo medición de variables fisicoquímicas *insitu* como Temperatura del agua, Conductividad Eléctrica, Sólidos Totales Disueltos, Oxígeno Disuelto, Porcentaje de Saturación de Oxígeno y pH, esto con la ayuda de un equipo multiparamétrico WTW 3630 IDS; para la Turbiedad se utilizó un HACH 2100Q<sub>is</sub>; también se midió CO<sub>2</sub> disuelto en el agua por medio de titulación con NaOH con una normalidad de 0,01N.

En lo que respecta al análisis de laboratorio, variables como Fósforo Total, Alcalinidad Total, Color Aparente, Color Verdadero, Nitrógeno Total Kjeldahl,

Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Totales, Coliformes Termotolerantes, Coliformes Totales y *Escherichia coli* fueron medidas en el primer, tercer y cuarto muestreo por el Laboratorio de Estudios Ambientales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, mientras que, en el segundo muestreo, estas variables fueron medidas por el Laboratorio del grupo de investigación GDCON de la misma universidad.

Las demás variables, DQO, Dureza Cálctica y Magnésica, Ortofosfatos, Nitritos, Nitratos, Nitrógeno Amoniacal fueron medidas con reactivos y equipos del grupo de investigación GeoLimna y el Laboratorio de Hidrobiología Sanitaria de la Universidad de Antioquia. Estas mediciones se realizaron inmediatamente terminada la salida de campo; para esta labor se utilizaron kits Nanocolor y Visocolor y para obtener los datos de las variables se empleó un fotómetro PF-12 Macherey Nagel. En el caso de variables como Nitritos, Nitratos y Ortofosfatos, se empleó un kit de reactivos HACH y para la medición de los datos, un espectrofotómetro HACH ODYSSEY DR2500.

A continuación, en la Tabla 5, se muestran las variables y los equipos utilizados para la medición.

Tabla 5. Variables fisicoquímicas medidas in situ y laboratorio

<b>Variables fisicoquímicas</b>	<b>Unidades</b>	<b>Medidas</b>	<b>Equipo utilizado y/o método</b>
Temperatura del agua	°C	<i>In situ</i>	Multiparamétrico WTW 3630IDS
Conductividad Eléctrica	µS/cm		
Sólidos Suspendidos Totales	mg/LSST		
Oxígeno Disuelto	mg/L O <sub>2</sub>		
Porcentaje de Saturación	%		
Ph	Unidades de pH		
Turbiedad	UNT		Turbidímetro HACH 2100Q <sub>is</sub>
CO <sub>2</sub>	mg/L CO <sub>2</sub>		Standard 4500 - CO <sub>2</sub>
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	Laboratorio	Kit 985022 Nanocolor – Fotómetro PF-12 MN

<b>Variables fisicoquímicas</b>	<b>Unidades</b>	<b>Medidas</b>	<b>Equipo utilizado y/o método</b>
Dureza Cálcica	mg/L Ca <sup>2+</sup>		Kit 985043 Nanocolor – Fotómetro PF-12 MN
Dureza Magnésica	mg/L Mg <sup>2+</sup>		
Ortofosfatos	mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> - P		Kit 8188 Hach – espectrofotómetro ODYSSEY DR 2500
Nitratos	mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N		Kit 8171 Hach – espectrofotómetro ODYSSEY DR 2500
Nitritos	mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N		Kit 10019 Hach – espectrofotómetro ODYSSEY DR 2500
Ion Amonio	mg/L NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N		Kit 931010 Visocolor – Fotómetro PF-12 MN
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>		Titulométrico (SM 2320-B)
Color Aparente	UPC		Comparación visual (SM 2120-B)
Color Verdadero	UPC		Espectrofotométrico (SM 2120-C)
Fósforo Total	mg/L P		Espectrofotométrico - Ácido ascórbico (SM 4500-P-B,E)
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L N		Titulométrico Micro Kjeldahl (SM 4500-Norg-C)
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L SST		Gravimétrico Secado (103-105)°C (SM 2540-D)
Sólidos Totales	mg/L ST		Gravimétrico Secado (103-105)°C (SM 2540-B)
Coliformes Totales	NMP/100mL		Sustrato enzimático (SM 9223-B)
Coliformes Termotolerantes	NPM/100mL		Sustrato enzimático (SM 9223-B Modificado)
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	Sustrato enzimático (SM 9223-B)	

La tabla anterior muestra las variables fisicoquímicas medidas en campo y laboratorio, además de los equipos y/o métodos utilizados en cada una de los procedimientos.

Por último, con una línea transecta se realizó el aforo de la corriente; para este procedimiento se contó con dos metodologías, método de vadeo y flotador; la primera se desarrolló con la ayuda de un Correntómetro para la medición de velocidades; cuando se presentaron dificultades con la utilización del Correntómetro Gopal Water Flow Probe la medición de velocidades fue realizada de manera superficial por el método de flotador.

Para el levantamiento de la sección transversal, se midió el ancho del río con una lienza, allí se dispuso una soga y esta a su vez fue dividida en subsecciones de 1 m de largo; en cada subsecciones se midió profundidad de la lámina de agua en metros (H), y velocidad de la corriente por medio del correntómetro a  $0,6H$  contados a partir de la superficie, donde H la profundidad medida desde la superficie hacia el fondo; cuando las velocidades fueron medidas por el método del flotador, en cada una de las subsecciones se midió el tiempo que demoraba el flotador para recorrer 1 m en la dirección del flujo, este procedimiento se realizó con tres repeticiones para cada medición.

A continuación, se presentan las fotografías de los equipos utilizados para el levantamiento de la sección y la medición en campo de variables fisicoquímicas (Fotografía 7, Fotografía 8, Fotografía 9, Fotografía 10, Fotografía 11 y Fotografía 12)



*Fotografía 7. Correntómetro Global Water Flow Probe*



*Fotografía 8. Flotador*



Fotografía 9. Multiparamétrico WTW 3630IDS



Fotografía 10. Turbidímetro HACH 2100Qis



Fotografía 11. Fotómetro PF12 MN



Fotografía 12. Espectrofotómetro ODYSSEY DR 2500

Los equipos ilustrados en las fotografías anteriores, son propiedad del laboratorio de Hidrobiología Sanitaria, adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, con ellos se tomaron la mayoría de variables *in situ*.

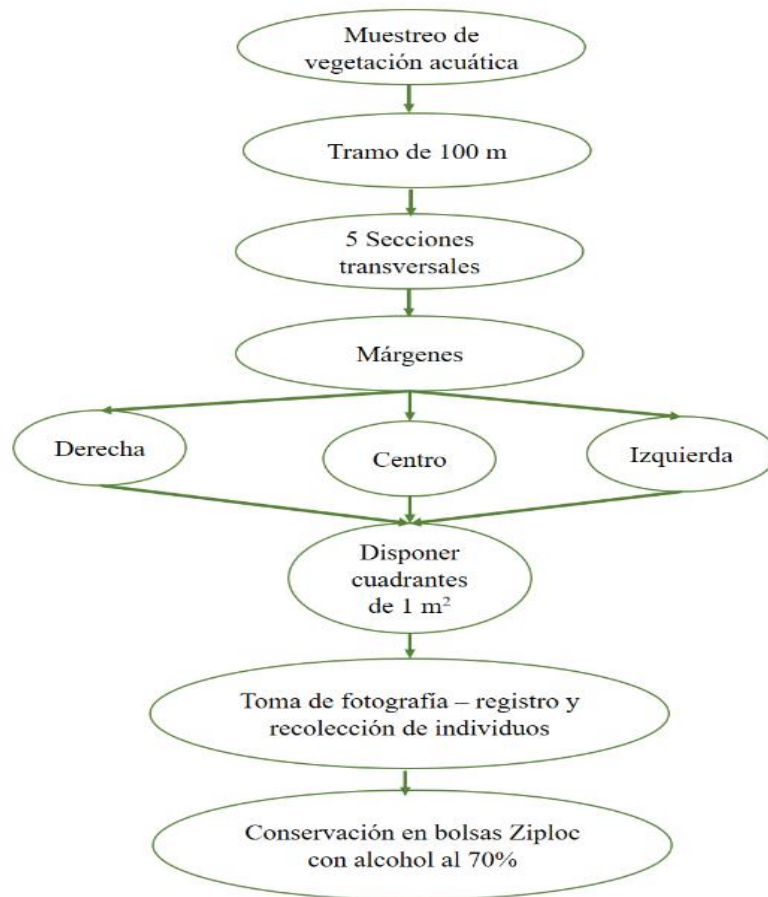
## 5.2 Medición y toma de muestras Biológicas

Para el muestreo de la vegetación acuática, semiacuática y riparia se utilizaron los mismos tramos de 100 m de cada estación; estos tramos fueron divididos en cinco secciones transversales cada una de 20 m, para tener cinco líneas transectas.

En cada una de las líneas se tomaron muestras de los organismos en 3 sitios: orilla derecha en la interfase agua – aire, centro de la corriente y orilla izquierda en la interfase agua – aire; para la medición de los organismos en los 3 sitios, siguiendo la metodología de Aguirre (2013), se dispuso de un cuadrante de 1 m de lado (1 m<sup>2</sup>); en cada una de estos cuadrantes se tomaron fotografías y registro vivo del número de individuos por taxa; en algunos casos fue necesario tomar muestras de algunos organismos de difícil identificación para analizar con la ayuda de claves taxonómicas (Giménez 2009; Posada y López, 2011; Fernández- Alaéz; 2012; Cirujano Bracamonte et al., 2014; García et al., 2017) y la asesoría de algunos docentes expertos en botánica.

Para la conservación de la vegetación, siguiendo las recomendaciones del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2015), se utilizaron bolsas herméticas *Ziploc* con una solución de alcohol al 70%; la medición de la biomasa se hizo en términos de área por cuadrante con la ayuda de las fotografías tomadas y el software ImageJ; en este punto se tuvieron datos previos del peso de las plantas y el área ocupada por la misma.

A continuación en la Figura 7 se muestra la metodología para el muestreo biológico.



*Figura 7. Esquema de la investigación de campo para variables biológicas*  
*Fuente: Elaboración propia*

En la Figura 7, se muestra la metodología para la toma de muestras biológicas en las cuatro campañas de muestreo. Teniendo en cuenta la forma de toma de muestra, en cada tramo se levantaron cinco cuadrantes por margen, para un total de 15 por río. Cabe resaltar que algunos puntos en el interior del tramo no contaban con vegetación.



A continuación, en las Fotografía 13 y Fotografía 14 se muestra la forma en como se tomaron los datos biológicos en los ríos de interés.



*Fotografía 13. Cuadrante de muestreo*



*Fotografía 14. Individuos de interés*

Las fotografías anteriores muestran la manera como se levantaron las unidades experimentales de vegetación en cada tramo, luego de tomar las fotografías del cuadrante, se colectaban las plantas no descritas para su posterior identificación en laboratorio.

Para conocer la estructura de los organismos se utilizaron algunos índices de diversidad, como el índice de Shannon- Weaver, que refleja la heterogeneidad de una comunidad de organismos; aquí se considera el número de especies presentes y su abundancia relativa (Shannon y Weaver, 1949; Pla, 2006); la dominancia de Simpson, donde se tiene en cuenta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie (Simpson, 1949; Moreno, 2001); equidad de Pielou, que mide la proporción de la diversidad observada en relación con la máxima diversidad esperada (Moreno, 2001; Pielou, 1996); la abundancia que está relacionada con el número total de individuos; la riqueza, que indica el número total de taxa; y por último la biomasa dada en peso húmedo.

Para la aplicación de estos índices, se tuvieron en cuenta las ecuaciones presentadas a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6. Ecuaciones de los índices biológicos.

Índice	Ecuación	Componentes
Diversidad de Shannon – Weaver (1949)	$H = - \sum \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N}$	H: índice de diversidad n <sub>i</sub> : Número de individuos por cada uno de los taxa N: Número total de individuos ln: logaritmo natural
Dominancia de Simpson (1949)	$D = \sum \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$	D: índice de dominancia n <sub>i</sub> : Número de individuos por cada uno de los taxa N: Número total de individuos
Equidad de Pielou (1996)	$J = \frac{H}{H_{max}}$	J: índice de equidad H <sub>max</sub> : Máximo valor de H
Riqueza	Número total de grupos	
Abundancia	Número total de individuos	

Con las ecuaciones de la Tabla 6 se pudo determinar la estructura de la vegetación asociada a la distribución espacial en las unidades de muestreo de 1m<sup>2</sup> para los organismos en cada río.

### 5.3 Análisis estadístico de datos

Se construyeron dos matrices, una que relacionaba las variables fisicoquímicas y otra matriz contenía todos los datos de tipo biológico.

Se desarrolló un análisis descriptivo con medidas de tendencia central y de dispersión para conocer el comportamiento de las variables de interés y cuáles de ellas presentaban mayor variabilidad, además de verificar si estas se ajustaban a una distribución normal; para comprobar la normalidad en los datos se aplicaron las pruebas de Shapiro Wilk (para muestras < 50 observaciones) y de Kolmogorov-Smirnoff (para muestras > 50 observaciones).

Posteriormente se corrió un Análisis de Componentes de Varianza – ACV; con este se determinó si los factores muestreo (cuatro niveles correspondientes a las campañas de muestreo) o tipo de río (tres niveles correspondientes a las corrientes) presentaban mayor influencia sobre la variabilidad y significancia de las variables. Teniendo en cuenta el análisis anterior, para las cuales se obtuvo una influencia >

30% del factor sobre la variable, se elaboró una tabla con las variables y se hizo un Análisis de Varianza de una vía con una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Con este análisis se realizaron las pruebas de hipótesis respectivas.

En ese sentido, se redujo la dimensión del número de variables considerando tres criterios básicos; la solidez de los datos, donde se evidenciaba que la variable o sus datos faltantes no superara el 75% del total de datos; la significancia en la variabilidad teniendo en cuenta el análisis descriptivo; y la influencia del medio acuático sobre las plantas desde una mirada ecosistémica.

Al final, se desarrolló un análisis multivariado para conocer qué variables tenían mayor influencia sobre la estructura de las plantas de interés. Luego, para saber que tipo de prueba podría utilizarse, se procedió a hacer un Análisis de Gradiente Ambiental; con este análisis se corroboró que el Análisis de Redundancia – RDA era el más adecuado.

Todos los análisis estadísticos fueron trabajando con los software R 3.6.1 y statgraphics Centurion XVI.II.

## **6. RESULTADOS**

Los resultados están divididos en dos temas fundamentales; el primero tiene en cuenta la caracterización fisicoquímica y biológica de los ríos, el segundo está relacionada con el tratamiento estadístico de los datos, en ese sentido se plantea una discusión en torno a cómo la estructura de la comunidad de plantas acuáticas, semiacuáticas y vegetación de ribera, se ve influenciada por los cambios en las condiciones físicas y químicas en las estaciones de muestreo, tanto por campaña de muestreo, como por tipo de río estudiado.

### **6.1 Caracterización fisicoquímica y biológica de los tres ríos**

#### **6.1.1 Caracterización fisicoquímica**

Los datos de la Tabla 7, hacen referencia a los valores obtenidos en las cuatro campañas de muestreo en los ríos Cocorná, San Lorenzo y Guarínó; en la tabla se

consignan todas las variables físicas y fisicoquímicas en los tres tramos de investigación; en algunas casillas se evidencian campos vacíos, estos son producto de algunos inconvenientes en el reporte de los resultados por parte de los equipos y métodos de medición.

Tabla 7. Variables físicas y fisicoquímicas medidas en la estación de muestreo

<b>Muestreo</b>	<b>Río</b>	<b>Ancho sección (m)</b>	<b>Profundidad media sección(m)</b>	<b>Velocidad media sección (m/s)</b>	<b>Área sección (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Caudal medio sección (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Tipo de lecho predominante</b>
<b>1</b>	Cocorná	14,70	0,27	0,144	3,910	0,563	Rocas 0,5 < Ø < 1,5 m
	San Lorenzo	5,00	0,33	0,269	1,645	0,443	Rocas 0,1 < Ø < 1,0 m
	Guarínó	6,00	0,28	0,396	1,698	0,672	Arenas
<b>2</b>	Cocorná	22,00	0,32	0,352	7,062	2,486	Rocas 0,5 < Ø < 1,5 m
	San Lorenzo	7,00	0,20	0,305	1,379	0,421	Rocas 0,1 < Ø < 1,0 m
	Guarínó	6,00	0,20	0,340	1,206	0,410	Arenas
<b>3</b>	Cocorná	17,60	0,40	0,325	7,040	2,288	Rocas 0,5 < Ø < 1,5 m
	San Lorenzo	6,00	0,18	0,210	1,080	0,227	Rocas 0,1 < Ø < 1,0 m
	Guarínó	6,75	0,16	0,336	1,080	0,363	Arenas
<b>4</b>	Cocorná	20,00	0,49	0,444	9,782	4,343	Rocas 0,5 < Ø < 1,5 m
	San Lorenzo	7,00	0,22	0,676	1,531	1,035	Rocas 0,1 < Ø < 1,0 m
	Guarínó	7,00	0,31	0,416	2,188	0,910	Arenas

Continuación de la tabla 7. Variables físicas y fisicoquímicas medidas en la estación de muestreo

Muestreo	Río	pH (Unidades de pH)	Oxígeno Disuelto (ppm)	% saturación (%)	Temperatura del Agua (°C)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	CO <sub>2</sub> (mg/L)	Turbiedad (UNT)
1	Cocorná	7,14	7,95	106,0	16,15	13,10	13,0	0,00	1,33
	San Lorenzo	6,70	7,67	103,5	16,10	20,00	20,0	0,00	1,97
	Guarinó	7,31	7,64	105,3	17,80	27,80	28,0	0,00	4,39
2	Cocorná	5,30	8,36	108,7	14,85	8,05	8,0	5,28	2,62
	San Lorenzo	6,79	7,58	102,7	16,50	20,80	21,0	5,94	5,30
	Guarinó	7,06	7,84	109,5	18,70	41,10	41,0	3,52	9,96
3	Cocorná	7,05	8,09	104,2	14,70	9,30	9,5	1,32	1,43
	San Lorenzo	6,93	7,53	101,2	15,90	21,00	21,0	0,66	2,56
	Guarinó	6,77	7,35	100,6	17,60	39,90	40,0	1,32	16,50
4	Cocorná	5,09	8,13	105,2	14,9	6,27	6,3	3,52	2,66
	San Lorenzo	6,81	7,63	101,7	15,7	19,80	20,0	1,76	3,92
	Guarinó	6,52	7,26	99,9	18,1	26,00	26,0	3,52	28,30

Continuación de la tabla 7. Variables físicas y fisicoquímicas medidas en la estación de muestreo

Muestreo	Río	DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	Dureza (mg/L Ca)	Dureza (mg/L Mg)	Fósforo total (mg/L P)	Alcalinidad total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	Color aparente (UPC)	Color verdadero (UPC)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L SST)	Sólidos Totales (mg/L ST)
1	Cocorná	<LCM	<LCM	14,00	0,300	5,16	10	N.D	0	25
	San Lorenzo	<LCM	<LCM	6,00	0,500	6,69	5	N.D	2	28
	Guarinó	<LCM	<LCM	26,00	N.D	14,70	15	N.D	2	45
2	Cocorná	<LCM	<LCM	6,00	0,020	N.D	67	N.D	3	32
	San Lorenzo	<LCM	<LCM	24,00	0,030	N.D	28	N.D	4	45
	Guarinó	<LCM	<LCM	48,00	0,026	N.D	50	N.D	4	64
3	Cocorná	<LCM	<LCM	<LCM	0,008	3,02	25	21,20	0	30
	San Lorenzo	13,00	<LCM	<LCM	0,008	7,30	15	7,83	2	32
	Guarinó	4,00	<LCM	40,00	0,024	17,00	25	9,41	14	71
4	Cocorná	18,00	<LCM	<LCM	0,008	0,50	55	54,40	0	26
	San Lorenzo	<LCM	<LCM	21,00	0,010	5,86	15	12,60	0	24
	Guarinó	<LCM	<LCM	<LCM	0,056	10,00	40	23,20	13	44

Continuación de la tabla 7. Variables físicas y fisicoquímicas medidas en la estación de muestreo

Muestreo	Río	Nitratos (mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N)	Nitritos (mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> - N)	Amonio (mg/L NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N)	Nitrógeno total soluble (mg/L N)	Nitrógeno Kjendahl (mg/L N)	Ortofosfatos (mg/l PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> - P)	Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	Coliformes totales (NMP/100mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100mL)
1	Cocorná	0,0850	0,0270	0,2520	0,3640	0,666	0,0250	11	3260	9
	San Lorenzo	0,1050	0,0250	0,3470	0,4770	0,638	0,0040	30	1570	20
	Guarínó	0,0620	0,0000	0,1400	0,2020	0,851	0,0350	10	176	9
2	Cocorná	0,0045	0,0003	0,0000	0,0048	1,260	0,0033	34	980	53
	San Lorenzo	0,0045	0,0009	0,0000	0,0054	1,290	0,2087	131	2420	179
	Guarínó	0,0023	0,0003	1,0871	1,0896	1,370	0,0261	1733	5450	1090
3	Cocorná	0,0045	0,0030	0,5824	0,5899	1,170	0,0033	17	1733	96
	San Lorenzo	0,0045	0,0003	0,7765	0,7813	0,675	2,1914	1300	5480	650
	Guarínó	0,0023	0,0018	0,2329	0,2370	0,653	0,0457	172	2010	30
4	Cocorná	0,2711	0,0027	2,4071	2,6809	1,220	0,5707	20	2030	11
	San Lorenzo	0,6325	0,0006	1,6695	2,3026	0,319	0,0293	100	5200	50
	Guarínó	0,3389	0,0003	0,8930	1,2321	0,269	0,0026	100	5200	50



En relación con la Tabla 7, el río Cocorná fue el que presentó un mayor ancho de la sección y un mayor caudal, adicionalmente el sustrato del lecho de la corriente es de tipo rocoso, con un diámetro de roca entre 0,5 y 1,5 m; las otras dos estaciones fueron más similares en relación con el ancho, profundidad del tramo y caudal; se observó una diferencia marcada entre el tipo de sustrato, dado que el San Lorenzo presenta rocas de diámetro menor a 1,0 m, y el río Guarinó que presenta un sustrato arenoso, además de ser una zona con poco bosque asociado donde predominan los pastos.

En la misma tabla se observó homogeneidad entre muestreo y estación para las variables pH, Oxígeno Disuelto, %Saturación, Temperatura del agua; mientras variables como Conductividad Eléctrica, Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Disueltos Totales y Color aparente presentaron variabilidad sobre todo entre ríos, presentando el río Guarinó los valores más altos, lo que puede deberse a que la estación Guarinó presentó un alto transporte de sedimentos, evidenciado por el tipo de lecho arenoso que tiene el río.


En relación con variables como DQO, se observaron unas concentraciones muy bajas, dado que las corrientes presentaron baja contaminación por descargas o vertimientos de tipo industrial; también se mostró una variación aparente de las concentraciones de nutrientes más por muestreo que por tipo de río.

Es importante resaltar, que según los estándares para la calidad microbiológica del agua de la Organización Mundial de la Salud – OMS, en ninguna muestra de 100 mL de agua para el consumo se deben detectar organismos considerados peligrosos para la salud por la Organización (OMS, 2011). Adicional a esto, la normatividad colombiana establece en el Decreto 1575 de 2007 y en la Resolución 2115 de 2007 la necesidad de generar protección y control de la calidad de agua para consumo humano en relación a estos parámetros microbiológicos, así las cosas, se establecen límites de presencia microbiológica en el agua para consumo humano, valores que no se cumplieron en los resultados obtenidos.

### **6.1.2 Caracterización biológica**



En la Tabla 8, se muestran los organismos encontrados en las cuatro campañas de muestreo; en esta tabla se describe un resumen de donde fue encontrado el organismo, además de presentar algunas características ecológicas y ambientales relevantes de cada taxa.



Tabla 8. Organismos por estación y características ecológicas



Presencia	Imagen del organismo	Familia – Nombre científico	Características ecológicas
Río Cocorná		Lycopodiaceae - <i>Lycopodium</i> sp	El género <i>Lycopodium</i> se distribuye por el trópico, en países como Colombia, Perú, Venezuela y Brasil, generalmente se encuentra sobre sistemas de montaña fríos. Puede tolerar climas secos; la mayoría son de hábito terrestre, pero es posible encontrarlos en sistemas húmedos de aguas bajas (Ollgaard, 1992).

<p>Río Cocorná</p>		<p>Myrtaceae</p>	<p>La familia Myrtaceae generalmente de hábitos terrestres, es reconocida por varias formas vegetales, además de presentar una amplia distribución en todo el territorio Colombiano, esta familia representa entre el 0,7 y el 0,8 % de las plantas angiospermas en el territorio nacional (Parra-O, 2014).</p>
<p>Río Cocorná</p>		<p>Asteraceae - <i>Ageratina</i> sp</p>	<p>Las plantas de la familia Asteraceae presentan un gran éxito a nivel ecológico por su plasticidad fenotípica y adaptabilidad a la mayoría de hábitats, alta tolerancia a variaciones microclimáticas y eficientes mecanismos de dispersión, formas de crecimiento y colonización. Las familias Poaceae, Asteraceae y Cyperaceae son las de más riqueza y abundancia de plantas</p>



<p>Río Cocorná</p>		<p>Asteraceae</p>	<p>acuáticas en el mundo, en especial en el Neotrópico (Chambers <i>et al.</i>, 2008; Gómez Rodríguez <i>et al.</i>, 2017).</p>
<p>Río Cocorná</p>		<p>Rubiaceae – <i>Gallium</i> sp</p>	<p>La familia Rubiaceae presenta una amplia distribución sobre el Neotrópico, con predominancia en zonas tropicales húmedas y en regiones templadas. Existen más de 10.000 especies, casi todas son polinizadas por animales; además presentan una amplia variedad de formas florales, tipos de frutos y mecanismos de dispersión de semillas (Maldonado, 2005).</p>

<p>Río Cocorná</p>		<p>Cyperaceae - <i>Cyperus</i> sp</p>	
<p>Río San Lorenzo</p>		<p>Cyperaceae - <i>Cyperus mindorensis</i> (Wim Huygh, 2014)</p>	

<p>Río San Lorenzo</p>		<p>Cyperaceae - <i>Cyperus carex</i> (Carl von Linnaeus, 1753)</p>	<p>Las plantas de la familia Cyperaceae presentan un gran éxito a nivel ecológico por su plasticidad fenotípica y adaptabilidad a casi todos los tipos de hábitats, mayor tolerancia a variaciones microclimáticas y eficientes mecanismos de dispersión, formas de crecimiento y colonización. Las familias Poaceae, Asteraceae y Cyperaceae son las de más riqueza y abundancia de plantas acuáticas en el mundo, en especial en el Neotrópico (Chambers <i>et al.</i>, 2008; Gómez Rodríguez <i>et al.</i>, 2017).</p>
<p>Río San Lorenzo</p>		<p>Cyperaceae - <i>Rhynchospora</i> sp</p>	<p>Las plantas de la familia Cyperaceae presentan un gran éxito a nivel ecológico por su plasticidad fenotípica y adaptabilidad a casi todos los tipos de hábitats, mayor tolerancia a variaciones microclimáticas y eficientes mecanismos de dispersión, formas de crecimiento y colonización. Las familias Poaceae, Asteraceae y Cyperaceae son las de más riqueza y abundancia de plantas acuáticas en el mundo, en especial en el Neotrópico (Chambers <i>et al.</i>, 2008; Gómez Rodríguez <i>et al.</i>, 2017).</p>

<p>Río Cocorná-Río San Lorenzo- Río Guarínó</p>		<p>Cyperaceae - <i>Eleocharis filiculmis</i> (Karl Kunth, 1837)</p>	
<p>Río Cocorná- Río San Lorenzo</p>		<p>Oxalidaceae - <i>Oxalis</i> sp</p>	<p>Algunos individuos de la familia Oxalidaceae pueden crecer en grietas y entre rocas, al borde de cañadas y cursos de agua temporales. Se puede observar en zonas entre los 1.300 y los 1.700 m.s.n.m. Estos organismos, generalmente florecen entre los meses de noviembre y enero (Palau y Caputo, 2013; Alfonso <i>et al.</i>, 2004).</p>





San Lorenzo -Río Guarínó		<p>Apiaceae - <i>Hydrocotyle umbellata</i> (Carl von Linnaeus, 1753)</p>	<p>La familia Apiaceae incluye cerca de 3.750 especies, cuenta con aproximadamente entre 300 y 450 géneros. En particular el género <i>Hydrocotyle</i> se distribuye en todo el mundo y está compuesto por especies herbáceas tanto anuales como perennes, algunas de ellas están adaptadas a diversos tipos de humedales, o a aguas de muy poca velocidad en su corriente (Díaz-Pita, 2011; Álvarez <i>et al.</i>, 2008).</p>
Río Guarínó		<p>Apiaceae - <i>Hydrocotyle asiatica</i> (Carl von Linnaeus, 1753)</p>	

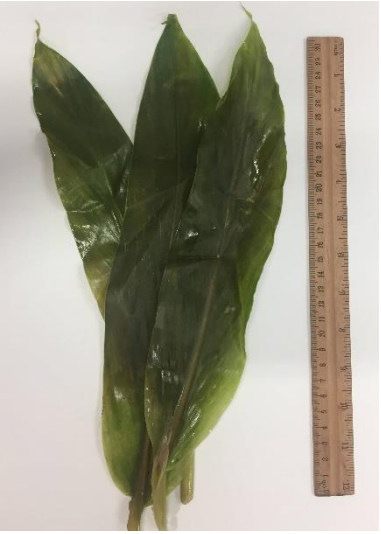

Río Guarínó



Juncaceae - *Juncus  
microcephalus* (Karl Kunth,  
1815)

Las juncáceas incluyen siete géneros y cerca de 440 especies distribuidas en todo el mundo, pero la mayoría de se encuentran en regiones templadas y frías. En el trópico puede crecer en alturas entre 800 y 2.000 m.s.n.m., pueden cumplir su ciclo de vida sobre zonas inundables y en bancas de ríos (Balslev y Duno de Stefano, 2015).

<p>Río Guarínó</p>		<p>Polygonaceae - <i>Polygonum punctatum</i> (Stephen Elliott, 1821)</p>	<p>La familia Polygonaceae comprende unos 30 géneros aproximadamente, y unas 1.000 especies difundidas en todo el mundo, principalmente de regiones templadas del hemisferio norte; estos individuos pueden encontrarse en riberas de ríos y en zonas húmedas (Arambarri y Bayón, 1995).</p>
<p>Río Guarínó</p>		<p>Potamogetonaceae - <i>Potamogeton paramoanus</i> (Haynes y Holm-Niels, 1982)</p>	<p>La familia Potamogetonaceae se caracteriza por ser plantas acuáticas sumergidas, en algunos casos de hojas flotantes, generalmente perennes, pueden ser también arraigadas. Esta familia está compuesta por un género con unas 100 especies de amplia distribución mundial (García Murillo, 1993).</p>

<p>Río Guarínó</p>		<p>Zingiberaceae - <i>Hedychium coronarium</i> (Johann Koenig, 1783)</p>	<p>Dentro de la familia Zingiberaceae, en el país se encuentra la especie <i>Hedychium coronarium</i>; esta planta semiacuática es nativa del este de la India, pero su distribución es mundial. En Colombia se ha observado en departamentos como Antioquia, Amazonas, Choco, entre otros; esta planta es invasiva, por lo cual ocupa con facilidad gran parte del territorio (Cárdenas-L <i>et al.</i>, 2017).</p>
<p>Río Cocorná</p>		<p>Dryopteridaceae - <i>Elaphoglossum</i> sp</p>	<p>Este género está distribuido en zonas tropicales y subtropicales del mundo; se presentan aproximadamente unas 600 especies descritas; el 75% de las especies habitan en el Neotrópico; su distribución sobre los Andes desde Colombia hasta Bolivia es notable, pocas son terrestres (Loriga, 2012).</p>

Río Cocomá- Río San Lorenzo- Río  
Guarínó



Thelypteridaceae - *Thelypteris*  
sp

La familia Thelypteridaceae agrupa cerca de 900 especies, distribuidas mundialmente en regiones tropicales y subtropicales, y en escasa proporción en zonas templadas. Estos organismos se pueden encontrar en sitios cercanos a cuerpos de agua, generalmente orillas de ríos y bosques contiguos a las fuentes hídricas (Ponce, 2007).

Río Cocorná – Río San Lorenzo



Blechnaceae - *Blechnum cordatum* (Georg Hieronymus, 1908)

Esta especie de Helecho se ha observado en países como Colombia, Bolivia, Brasil, Paraguay, Argentina, entre otros. Es una especie poco vulnerable; su crecimiento puede darse sobre áreas ribereñas y zonas palustres, más en sistemas leníticos que en ríos, aunque puede presentarse cerca a áreas de inundación; estos organismos pueden encontrarse hasta a 3.500 m.s.n.m. (Prada *et al.*, 2008).

Río Cocorná-Río San Lorenzo- Río Guarinó



Marchantiaceae - *Marchantia*  
sp

Esté género pertenece a las hepáticas, estos organismos cuentan con cerca de 6.000 especies en todo el mundo, de las cuales 1.350 se registran en el Neotrópico. La mayor diversidad de organismos se encuentra sobre los 2.000 y 3.000 m.s.n.m. Estos individuos demandan una gran cantidad de agua para su supervivencia; además de esto, la mayor cantidad de endemismos en cuanto a géneros está en el norte de los Andes, de los cuales Colombia hace parte (Barbosa-C *et al.*, 2007).

Río San Lorenzo- Río Guarínó



Brachytheciaceae -  
*Platyhypnidium aquaticum*  
(Max Fleischer, 1923)

Esta familia de organismos presenta una amplia distribución geográfica, en general están entre los 50 y 3.800 m.s.n.m, particularmente *Platyhypnidium aquaticum*; presenta una distribución entre los 450 y 3.050 m.s.n.m. Estos individuos se encuentran generalmente asociados a ríos (Ramírez, 2013; Lagos-López *et al.*, 2008).



De la Tabla 8 se resalta que fueron identificados un total de 22 taxa en las cuatro campañas de muestreo, para las cuales en la Tabla 9 se muestran las abundancias por campaña; entre estos organismos se encontraron una hepática – *Marchantia* sp, un musgo - *Platyhypnidium aquaticum*; dos helechos - *Blechnum cordatum*, *Elaphoglossum* sp y *Thelypteris* sp; además de una planta que se considera invasora en el territorio nacional - *Hedychium coronarium*.

En la Tabla 9 se muestra la estructura de los organismos en términos de los índices de diversidad, riqueza, abundancia, equidad, además se presenta la abundancia total por río y la biomasa aportada por los organismos en cada muestreo.

Tabla 9. Datos de la caracterización biológica de los ríos

Muestreo	Río	Diversidad	Riqueza	Dominancia	Equidad	Abundancia	Biomasa total (kg/m <sup>2</sup> )
1	Cocorná	N.D	9	N.D	N.D	N.D	N.D
	San Lorenzo	N.D	5	N.D	N.D	N.D	N.D
	Guarinó	N.D	8	N.D	N.D	N.D	N.D
2	Cocorná	0,94	11	0,44	0,39	553	7,545
	San Lorenzo	1,87	9	0,17	0,85	76	9,254
	Guarinó	0,78	5	0,58	0,48	205	4,261
3	Cocorná	0,78	9	0,44	0,35	541	10,114
	San Lorenzo	2,02	10	0,15	0,88	232	9,073
	Guarinó	0,86	7	0,50	0,44	132	5,355
4	Cocorná	0,77	9	0,36	0,35	588	8,839
	San Lorenzo	1,82	9	0,20	0,83	111	10,978
	Guarinó	1,48	8	0,29	0,71	90	1,930

La Tabla 9 muestra los resultados de algunos índices biológicos aplicados a los datos de la vegetación encontrada en las estaciones de investigación; cabe resaltar que los campos No Dato –N.D corresponden al primer muestreo, en donde se presentaron errores en la toma de muestras del trabajo de campo, dando como resultado que los datos recolectados allí no presentaran la suficiente consistencia para incluirlos; por ello se decidió no considerarlos y desarrollar todo el análisis posterior solo con las tres campañas de muestreo siguientes.

Los índices biológicos fueron homogéneos entre el factor muestreo, pero a nivel del factor río se presentó una aparente diferencia. En relación con la diversidad, la estación del río San Lorenzo presentó valores más altos que las demás estaciones, adicionalmente la riqueza no mostró mayores cambios, ya que esta se mantuvo estable entre muestreo y río. Las mayores dominancias se identificaron para los ríos Cocorná con masiva presencia de organismos del género *Thelypteris* sp y la familia Myrtaceae, mientras que para el río Guarinó se encontró mayor presencia de especies *Hydrocotyle umbellata* e *Hydrocotyle asiatica*. Por último, la equidad presentó sus mayores valores para el río San Lorenzo, en el cual la distribución de las especies se dio de una manera más balanceada en comparación con las demás estaciones.

El río Cocorná presentó el mayor número total de individuos, seguido del San Lorenzo y por último el Guarinó; esto pudo deberse según lo observado en la Figura 5, el río Cocorná se encuentra sobre una zona con menor intervención antrópica, además de tener un tipo de lecho que permite la colonización de vegetación en la zona acuática. En el caso de la biomasa, los valores más altos se obtuvieron en la estación San Lorenzo por la presencia de briofitos; estos organismos presentan un peso mayor en comparación con los demás organismos estudiados dada su capacidad de almacenar agua.

## **6.2 Análisis estadístico**

### **6.2.1 Análisis descriptivo**

Para todas las variables fisicoquímicas y biológicas involucradas en la investigación, se desarrolló un análisis descriptivo, esto con el fin de conocer el comportamiento en relación con la variabilidad de los datos.

La Tabla 10 presenta las variables fisicoquímicas y algunas biológicas con sus medidas de tendencia central y de dispersión, además del valor  $p$  del estadístico de prueba de Shapiro Wilk para determinar si las observaciones cumplían normalidad.

Tabla 10. Estadísticos descriptivos para variables fisicoquímicas y biológicas

Variable	Número de datos	Mínimo	Promedio	Máximo	Desviación estándar	Varianza	Coefficiente de variación (%)	Normalidad Shapiro Wilk valor-p
Ancho sección (m)	12	5,00	10,42	22,00	6,27	39,30	60,16	0,003
Profundidad media sección(m)	12	0,16	0,28	0,49	0,10	0,01	34,88	0,389
Velocidad media sección (m/s)	12	0,14	0,35	0,68	0,13	0,02	37,74	0,217
Área sección (m <sup>2</sup> )	12	1,08	3,30	9,78	2,99	8,92	90,51	0,002
Caudal medio (m <sup>3</sup> /s)	12	0,23	1,18	4,34	1,24	1,54	105,23	0,001
Pendiente tramo (%)	12	0,00	5,46	10,40	4,44	19,74	81,35	0,011
pH (Unidades de pH)	12	5,09	6,62	7,31	0,70	0,49	10,59	0,002
Oxígeno Disuelto (ppm)	12	7,26	7,75	8,36	0,33	0,11	4,24	0,828
% saturación (%)	12	99,90	104,00	109,50	3,06	9,36	2,94	0,650
Temperatura del Agua (°C)	12	14,70	16,42	18,70	1,35	1,82	8,22	0,370
Conductividad eléctrica (µS/cm)	12	6,27	21,09	41,10	11,36	128,98	53,84	0,311
Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	12	6,33	21,15	41,00	11,35	128,83	53,66	0,306
CO <sub>2</sub> (mg/L)	12	0,00	2,24	5,94	2,07	4,30	92,73	0,142
Turbiedad (UNT)	12	1,33	6,75	28,30	8,08	65,21	119,72	0,000
DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	12	0,00	2,92	18,00	6,08	36,99	208,53	0,000
Dureza (mg/L Ca)	12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	na
Dureza (mg/L Mg)	12	0,00	15,42	48,00	16,55	273,90	107,35	0,063
Fosforo total (mg/L P)	11	0,01	0,09	0,50	0,16	0,03	178,08	0,000
Alcalinidad total (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	9	0,50	7,80	17,00	5,31	28,17	68,02	0,637
Color aparente (UPC)	12	5,00	29,15	67,10	19,67	386,85	67,48	0,236
Color verdadero (UPC)	6	7,83	21,44	54,40	17,31	299,52	80,72	0,053

<b>Nitratos (mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup> -N)</b>	12	0,00	0,13	0,63	0,20	0,04	154,34	0,001
<b>Nitritos (mg/L NO<sub>2</sub><sup>-</sup> -N)</b>	12	0,00	0,01	0,03	0,01	0,00	188,22	0,000
<b>Amonio (mg/L NH<sub>4</sub><sup>+</sup> -N)</b>	12	0,00	0,70	2,41	0,73	0,54	104,76	0,050
<b>Nitrógeno total soluble (mg/L N)</b>	12	0,00	0,83	2,68	0,87	0,76	104,79	0,027
<b>Nitrógeno Kjendahl (mg/L N)</b>	12	0,27	0,87	1,37	0,39	0,15	44,59	0,169
<b>Ortofosfatos (mg/l PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> -P)</b>	12	0,00	0,26	2,19	0,63	0,40	240,02	0,000
<b>Sólidos suspendidos totales (mg/L SST)</b>	12	0,00	3,67	14,00	4,83	23,33	131,74	0,001
<b>Sólidos totales (mg/L ST)</b>	12	24,00	38,83	71,00	15,48	239,61	39,86	0,029
<b>Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)</b>	12	10,00	304,78	1732,90	575,87	331625,97	188,94	0,000
<b>Coliformes totales (NMP/100mL)</b>	12	176,00	2959,00	5480,00	1903,16	3622020,29	64,32	0,094
<b><i>E. coli</i> (NMP/100mL)</b>	12	9,00	187,26	1090,00	335,82	112777,01	179,34	0,000
<b>Diversidad</b>	9	0,77	1,26	2,02	0,53	0,28	42,40	0,028
<b>Riqueza</b>	12	5,00	8,25	11,00	1,82	3,30	22,00	0,100
<b>Dominancia</b>	9	0,15	0,35	0,58	0,15	0,02	44,22	0,658
<b>Equidad</b>	9	0,35	0,59	0,88	0,23	0,05	38,75	0,055
<b>Número total individuos</b>	135	0,00	18,73	130,00	29,94	896,48	159,85	0,000
<b>Número de grupos</b>	135	0,00	1,69	5,00	1,45	2,12	85,92	0,000
<b>Biomasa total</b>	135	0,00	498,88	2972,41	657,94	432897,05	131,88	0,000

Con respecto a los resultados de la Tabla 10, el número de datos estuvo asociado a la cantidad de observaciones para dichas variables, es decir, tres ríos por cuatro campañas de muestreo; en el caso donde se obtuvieron nueve datos, se debió a que solo se tuvo en cuenta desde la segunda campaña de muestreo, y para las últimas tres variables, el tamaño de muestra fue tan alto (135) debido a que se discriminó por cuadrantes.

Es importante resaltar que la mayoría de las variables presentaron altos coeficientes de variación – mayor al 60%, pero algunas de ellas, aunque mostraron altos valores, no tuvieron consistencia porque en campañas de muestreo reportaban valores por debajo del Límite de Cuantificación del Método analítico - <LCM, como el caso de la DQO y la Dureza Cálctica, que en general reportó valores < LCM, por lo que de entrada las variables con datos por debajo del Límite de Cuantificación del Método no se incluyeron dentro del análisis posterior.

Al aplicar las pruebas estadísticas de normalidad de Shapiro Wilk (para tamaño muestral <50) y Kolmogorov Smirnov (para tamaño muestral >50), se observó que casi la mitad de las variables (20) arrojaron valores  $p < 0,05$  por lo que estos datos no presentaron una distribución normal.

Teniendo en cuenta la normalidad de las variables y el poco número de datos con que se cuenta, para el análisis estadístico multivariado se utilizaron métodos no paramétricos en los cuales no era necesario garantizar los supuestos estadísticos.

Como parte del análisis, se buscó saber si la variabilidad de cada variable estuvo influenciada por los factores campaña de muestreo, tipo de río, o margen en el caso de las biológicas; para este caso se desarrolló un Análisis de Componentes de Varianza – ACV. A continuación, en la Tabla 11 se muestran los resultados del análisis.

*Tabla 11. Análisis de Componentes de varianza para las variables fisicoquímicas y biológicas.*

<b>Variable</b>	<b>Variabilidad muestreo (%)</b>	<b>Variabilidad río (%)</b>	<b>Variabilidad margen (%)</b>	<b>Error (%)</b>
<b>Caudal medio (m<sup>3</sup>/s)</b>	0	100	0	0
<b>pH (Unidades de pH)</b>	6,23	93,77	0	0
<b>Oxígeno Disuelto (ppm)</b>	0	100	0	0
<b>Temperatura del Agua (°C)</b>	0	100	0	0
<b>Conductividad eléctrica (µS/cm)</b>	0	100	0	0
<b>Sólidos Totales Disueltos (mg/L)</b>	0	100	0	0

<b>CO<sub>2</sub> (mg/L)</b>	86,57	13,43	0	0
<b>Turbiedad (UNT)</b>	0	100	0	0
<b>DQO (mg/L O<sub>2</sub>)</b>	0	100	0	0
<b>Dureza (mg/L Mg)</b>	0	100	0	0
<b>Fosforo total (mg/L P)</b>	89,91	10,09	0	0
<b>Alcalinidad total (mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b>	0	100	0	0
<b>Color aparente (UPC)</b>	49,32	50,68	0	0
<b>Nitrógeno total soluble (mg/L N)</b>	69,67	30,33	0	0
<b>Nitrógeno Kjendahl (mg/L N)</b>	39,38	60,62	0	0
<b>Ortofosfatos (mg/l PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> -P)</b>	0	100	0	0
<b>Sólidos Suspendidos Totales (mg/L SST)</b>	0	100	0	0
<b>Sólidos Totales (mg/L ST)</b>	0	100	0	0
<b>Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)</b>	0	100	0	0
<b>Coliformes totales (NMP/100mL)</b>	0	100	0	0
<b>E. coli (NMP/100mL)</b>	3,88	96,12	0	0
<b>Diversidad</b>	0	100	0	0
<b>Riqueza</b>	0	100	0	0
<b>Dominancia</b>	0	100	0	0
<b>Equidad</b>	0	100	0	0
<b>Número total individuos</b>	0	10,41	43,76	45,83
<b>Biomasa total</b>	0	0	38,25	61,75

Para este análisis, se escogieron los valores de las variables que aportaron una variabilidad mayor al 30%; de manera general, la mayoría de variables entre fisicoquímicas y biológicas presentaron su mayor variabilidad por influencia del tipo de corriente de análisis; caso particular del CO<sub>2</sub>, Fósforo total y Nitrógeno total soluble que mostraron mayor variabilidad por campaña de muestreo; las últimas dos variables, número total de individuos y biomasa presentaron mayor influencia por el margen que por los demás factores, aunque su porcentaje de error fue mayor al

30% por lo que esta variabilidad pudo ser debida a factores no controlables o que no fueron considerados en esta investigación.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se aplicó la prueba estadística de Análisis de varianza de tres vías de Kruskal Wallis que determinó si la variabilidad de las variables aportada por un factor, ya sea muestreo, tipo de río o margen, presentó una significancia estadística sobre la variable. En la Tabla 12 se muestra la prueba de Kruskal Wallis asociada a las variables que obtuvieron valores >30% en el ACV.

*Tabla 12. Prueba de Kruskal Wallis*

<b>Variable</b>	<b>Factor</b>	<b>Kruskal Wallis Valor p</b>
<b>Caudal medio (m<sup>3</sup>/s)</b>	río	0,087
<b>pH (Unidades de pH)</b>	río	0,779
<b>Oxígeno Disuelto (ppm)</b>	río	0,024
<b>Temperatura del Agua (°C)</b>	río	0,015
<b>Conductividad eléctrica (µS/cm)</b>	río	0,007
<b>Sólidos Totales Disueltos (mg/L)</b>	río	0,007
<b>CO<sub>2</sub> (mg/L)</b>	muestreo	0,016
<b>Turbiedad (UNT)</b>	río	0,026
<b>DQO (mg/L O<sub>2</sub>)</b>	río	0,967
<b>Dureza (mg/L Mg)</b>	río	0,195
<b>Fosforo total (mg/L P)</b>	muestreo	0,106
<b>Alcalinidad total (mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b>	río	0,027
<b>Color aparente (UPC)</b>	muestreo	0,054
	río	0,299
<b>Nitrógeno total soluble (mg/L N)</b>	muestreo	0,075
	río	0,981
<b>Nitrógeno Kjendahl (mg/L N)</b>	muestreo	0,082
	río	0,584
<b>Ortofosfatos (mg/l PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P)</b>	río	0,471
<b>Sólidos Suspendidos Totales (mg/L SST)</b>	río	0,064
<b>Sólidos Totales (mg/L ST)</b>	río	0,043
<b>Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)</b>	río	0,170

<b>Coliformes totales (NMP/100mL)</b>	río	0,526
<b><i>E. coli</i> (NMP/100mL)</b>	río	0,607
<b>Diversidad</b>	río	0,055
<b>Riqueza</b>	río	0,065
<b>Dominancia</b>	río	0,061
<b>Equidad</b>	río	0,027
<b>Número total individuos</b>	río	0,000
	margen	0,000
<b>Biomasa total</b>	río	0,000
	margen	0,000

Los valores  $p < 0,05$  – en rojo – indicaron que los cambios en la variable debido al factor fueron significativos. En el caso de las variables biológicas, aunque no mostraron valores  $p < 0,05$ , de igual manera fueron valores cercanos, por lo que fue necesario considerarlas en los siguientes análisis dado que son las variables respuesta o explicativas de la presente investigación.

### 6.2.2 Análisis multivariado

Posterior al análisis estadístico descriptivo, se desarrolló un análisis multivariado con métodos no paramétricos como el Análisis de Redundancia – RDA. Este análisis proporciona una explicación del cambio en la estructura de las plantas acuáticas, por la influencia de las variables fisicoquímicas e hidromorfológicas asociadas a los sistemas lóticos. En la Tabla 13 se consignan las variables fisicoquímicas y biológicas depuradas.

Tabla 13. Matriz depurada

<b>Caudal medio (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>pH (Unidades de pH)</b>	<b>Temperatura del Agua (°C)</b>	<b>Conductividad eléctrica (µS/cm)</b>	<b>Turbiedad (UNT)</b>	<b>Fósforo total (mg/L P)</b>	<b>Ortofosfatos (mg/L PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> P)</b>	<b>Nitrógeno total soluble (mg/L N)</b>
2,486	5,30	14,85	8,05	2,62	0,020	0,0033	0,0048
0,421	6,79	16,50	20,80	5,30	0,030	0,2087	0,0054
0,410	7,06	18,70	41,10	9,96	0,026	0,0261	1,0896
2,288	7,05	14,70	9,30	1,43	0,008	0,0033	0,5899
0,227	6,93	15,90	21,00	2,56	0,008	2,1914	0,7813



0,363	6,77	17,60	39,90	16,50	0,024	0,0457	0,2370
4,343	5,09	14,9	6,27	2,66	0,008	0,5707	2,6809
1,035	6,81	15,7	19,80	3,92	0,010	0,0293	2,3026
0,910	6,52	18,1	26,00	28,30	0,056	0,0026	1,2321

Continuación de la *Tabla 13. Matriz depurada*

Diversidad	Riqueza	Número total de individuos	Biomasa total (kg/m <sup>2</sup> )
0,94	11	553	7,55
1,87	9	76	9,25
0,78	5	205	4,26
0,78	9	541	10,11
2,02	10	232	9,07
0,86	7	132	5,36
0,77	9	588	8,84
1,82	9	111	10,98
1,48	8	90	1,93

En la Tabla 13 se muestran las variables finales tanto explicativas como respuesta que fueron insumo para el análisis multivariado, es importante resaltar, que las observaciones de aparecen en dicha tabla fueron a partir del muestreo dos, por lo que el análisis fue corrido con un total de nueve datos por variable.

Para determinar el tipo de análisis a utilizar, se desarrolló un análisis de Gradiente Ambiental, el valor de longitud de gradiente determina si es necesario un Análisis de Redundancia – RDA o un Análisis de Correspondencia Canónica.

A continuación, en la Tabla 14 se muestra los resultados del Análisis de Correspondencia sin Tendencia - DCA que muestra la longitud del gradiente ambiental.

*Tabla 14. Análisis de longitud de Gradiente Ambiental*

Gradiente ambiental	DCA1	DCA2	DCA3	DCA4
<b>Eigenvalues</b>	0,038	0,015	0,005	29,520
<b>Decorana values</b>	0,038	0,000	0,000	0,057
<b>Axis lengths</b>	0,258	0,147	0,129	232,800

La Tabla 14 se muestran los valores que se obtuvieron al correr el DCA, al verificar el valor de la longitud del gradiente fue  $< 2,5$  – dato en rojo – se determinó que el mejor análisis de explicación de los datos es un Análisis de Redundancia –RDA.

Para el análisis de redundancia – RDA, fue necesario la estandarización de los datos, para este procedimiento se tomó cada observación, se restó su media y fue dividido por la desviación estándar. En la Tabla 15, se muestran los valores propios del RDA en cada uno de los componentes asociados.

*Tabla 15. Valores propios y proporción de explicación del RDA*

RDA	RDA1	RDA2	RDA3	RDA4
<b>Eigenvalue</b>	1,911	1,602	0,435	0,053
<b>Proportion Explained</b>	0,478	0,400	0,109	0,013
<b>Cumulative Proportion</b>	0,478	0,878	0,987	1,000
<b>R<sup>2</sup></b>	1			

La Tabla 15 muestra que los componentes 1 y 2 del RDA obtuvieron una proporción acumulada de explicación del  $0,878 = 87,8\%$  de explicación en la suma de los dos componentes. El  $R^2$  asociado a la regresión del modelo, arrojó un valor de 1, por lo que toda la variabilidad de las variables biológicas estuvo determinada por las variables fisicoquímicas de interés en el sistema.

La Figura 8 representa de manera gráfica, los resultados obtenidos por el RDA, además de enmarcar todas las variables del análisis como los son, los ríos, las variables fisicoquímicas y biológicas.

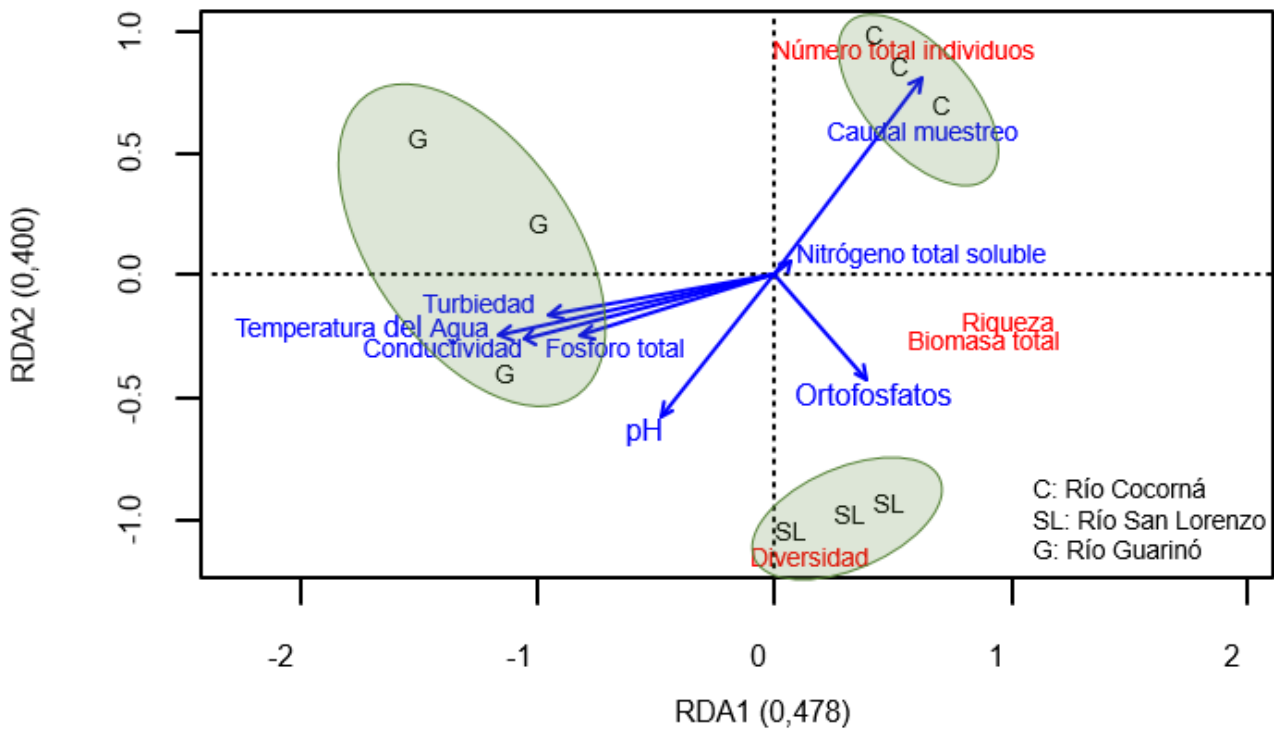


Figura 8. Esquema gráfico del RDA

La Figura 8 proporciona información relacionada con el conjunto de variables de interés y su posible explicación por medio de las agrupaciones que se evidencian allí. Para soportar lo que se observa en esta figura se incluyó la Tabla 20 del Anexo E, en ella, se muestran los pesos o valores propios de las distintas variables del RDA sobre cada uno de los componentes.

Con los coeficientes de mayor peso sobre cada componente del RDA, se construyeron dos ecuaciones – *ecuación 1* y *2*; estas pueden emplearse como equivalencia entre las variables fisicoquímicas y biológicas dado que el método estadístico empleado fue explicativo. En caso de requerir la ecuación extendida de todo el componente, se puede revisar el Anexo E.

### **Ecuación 1:**

$$\begin{aligned} & -0,969 * Temperatura - 0,887 * Conductividad - 0,791 * Turbiedad - 0,684 \\ & * FósforoTotal + 0,059 * Nitrógenototal soluble \\ & = 1,067 * Riqueza + 1,007 * Biomasa \end{aligned}$$

### **Ecuación 2:**

$$\begin{aligned} & 0,678 * Caudal medio - 0,479 * pH - 0,350 * Ortofosfatos \\ & = -1,148 * Diversidad + 0,937 * Número total de individuos \end{aligned}$$

Las ecuaciones anteriores, indican la relación que existe entre las variables fisicoquímicas y biológicas en los sistemas acuáticos, donde los cambios en la distribución de los organismos están ligados al cambio en los valores de las variables fisicoquímicas y viceversa. En este caso, según la ecuación 1, las variables que tuvieron una mayor influencia sobre biomasa y riqueza de las plantas acuáticas fueron temperatura, conductividad, turbiedad y fósforo total, de manera inversa, y nitrógeno total soluble de manera directa; y según la ecuación 2, el caudal influyó de manera directa sobre la abundancia de los individuos y de manera inversa sobre la diversidad; y el pH; los ortofosfatos influyeron de manera directa sobre la diversidad y de manera inversa sobre la abundancia.

## **7. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **7.1 Análisis general**

Teniendo en cuenta la caracterización fisicoquímica de las corrientes y su estructura biológica, correspondiente a la disposición en el espacio muestral de cada río (Durán *et al.*, 2002), de la vegetación acuática, semiacuática y a la riparia, se evidenció una separación importante de las estaciones, en relación con su hidráulica y estructura física. Se observó que el río Cocorná presenta un ancho mayor en relación con los otros dos sistemas de interés, además de un mayor caudal producto del área de drenaje de la cuenca (ver Tabla 2; ver Figura 1).

El lecho de las corrientes es diferenciador, dado que la estación Cocorná presentó los diámetros de roca mayores a 1 m, mientras que los ríos San Lorenzo y Guarinó presentaron en su lecho gravas de pequeño tamaño y arena respectivamente.

Así mismo, se observaron variaciones en relación con las variables fisicoquímicas, aunque esta es más representativa entre sistemas que entre muestreos, caso particular el del río Guarinó, que presentaron los valores más altos de variables relacionadas con el transporte de sedimentos, como turbiedad, conductividad eléctrica, color aparente, sólidos suspendidos totales, entre otras (Hrivnák *et al.*, 2009).

En lo que respecta a la estructura biológica se evidenciaron cambios interesantes en la distribución de taxa asociados principalmente al tipo de corriente, dado que el río Cocorná presentó los valores más altos de abundancia, pero en relación con la diversidad el río San Lorenzo tuvo lo mayores valores, y por último el río Guarinó era el sistema con valores mínimos de diversidad y número de individuos (Rial, 2014).

La vegetación riparia puede verse alterada en su estructura comunitaria por factores ambientales (Hrivnák *et al.*, 2009); las variables fisicoquímicas hidráulicas consideradas en el análisis, pueden dar respuesta a dicha estructura de las plantas acuáticas.

El tipo de sustrato condicionó la presencia de algunos individuos en la zona de ritral de cada sistema, caso particular del río Cocorná, al tener un sustrato rocoso, se observó de manera reiterada la colonización de especies como *Ageratina* sp y *Eleocharis filliculmis*; así mismo, para el río Guarinó que presentó un lecho principalmente arenoso, se evidenció la colonización por parte la especie acuática estricta *Potamogeton paramoanus* (Engloner *et al.*, 2013).

Los cambios en las dinámicas del flujo asociados a variables como caudal pudieron afectar la distribución de las plantas acuáticas, dado que algunos organismos son sensibles a esos cambios (Abati *et al.*, 2016; Vukov *et al.*, 2017; Vukov *et al.*, 2018).

Se observaron diferencias de los tipos de organismos y su distribución espacial en la masa de agua, relacionadas con la abundancia y diversidad de los mismos en los ríos Cocorná, San Lorenzo y Guarinó; además de ello, investigaciones como la de Manolaki & Papastergiadou (2015) encontraron que los cambios de caudal pueden afectar la colonización de especies, por tanto, donde hay menores velocidades existe una mayor diversidad, lo que se comprobó con la presente investigación, dado que el río Cocorná presentó mayores velocidades y una menor diversidad de especies comparado con las demás estaciones.

De las demás variables, se encontró que los nutrientes, principalmente el nitrógeno y el fósforo, la temperatura del agua, pH, conductividad eléctrica y alcalinidad, son algunas de las que mayor relación tienen con el crecimiento de las plantas acuáticas (Arocena y Mazzeo, 1994; Manolaki & Papastergiadou, 2013).

Teniendo en cuenta el párrafo anterior y el Análisis de Redundancia RDA donde se muestran las relaciones encontradas entre las variables fisicoquímicas – explicativas, y las variables biológicas – respuesta; se encontró un modelo de explicación de las variables biológicas en términos de las fisicoquímicas; este modelo planteó unas equivalencias matemáticas representadas en las ecuaciones 1 y 2, las cuales relacionaron las variables por medio de dos componentes, distribuidos en un 47,8% para el componente uno, y 40,0% para el componente dos, para un total de explicación del 87,8% en la variabilidad de los datos.

Se puede observar que las relaciones encontradas, pueden determinar la influencia de las variables fisicoquímicas sobre las plantas acuáticas; en este caso, según la ecuación 1, las variables que tuvieron una mayor influencia sobre biomasa y riqueza de las plantas acuáticas fueron temperatura, conductividad, turbiedad y fósforo total, de manera inversa, y nitrógeno total soluble de manera directa; y según la ecuación 2, el caudal influyó de manera directa sobre la abundancia de los individuos y de manera inversa sobre la diversidad; mientras que el pH y los ortofosfatos influyeron de manera directa sobre la diversidad y de manera inversa sobre la abundancia.

El RDA mostró una agrupación interesante de las estaciones, en donde el río Cocorná como era de esperarse, presentó una afinidad por los caudales altos, y es allí donde se evidenció la mayor abundancia, pero no muy alta diversidad, esto debido a que los caudales mayores generan presiones sobre la adaptación de los organismos, lo que dificulta la colonización por parte de cualquier especie de planta (Manolaki & Papastergiadou, 2015).

Caso contrario en el río San Lorenzo, donde se observó mayor diversidad, pero los individuos existentes no presentaron abundancias significativamente altas en comparación con el Cocorná. Por último, se observó que el río Guarinó tenía mayores magnitudes en las variables fisicoquímicas como conductividad, temperatura del agua, turbiedad y fósforo total, lo que pudo condicionar la poca presencia de vegetación acuática.

Tomando en consideración lo anterior, se corrobora la hipótesis que se planteó al inicio de la investigación, donde se evidenció que variables como velocidad de la corriente y profundidad del cauce –que determinan el caudal–, afectaron la conformación de los organismos influyendo en la presencia o ausencia de unas u otras especies. Caso particular, de las especies *Hydrocotyle umbellata* e *Hydrocotyle asiatica* que crecen en sistemas acuáticos leníticos o ríos con velocidades bajas (Álvarez et al., 2008), dichas especies fueron encontradas en el río Guarinó principalmente. Adicionalmente la planta del género *Oxalis* sp que vive principalmente en sustrato rocoso y en bordes de ríos (Alfonso et al., 2004) fue encontrada principalmente en el río Cocorná.

Es importante considerar que las plantas acuáticas pueden ser sensibles a los cambios en las condiciones ambientales (Tomás et al., 2016), en ese sentido las variables fisicoquímicas como temperatura del agua, conductividad eléctrica, pH, nitrógeno total soluble, fósforo total y ortofosfatos se relacionaron en la biomasa y riqueza de los organismos. Caso particular de algunos organismos, como los briofitos, *Marchantia* sp y *Platyhypnidium aquaticum* que necesitan grandes cantidades de agua para sobrevivir, además de la presencia de nutrientes como

nitrógeno (Arocena y Mazzeo, 1994; Lagos-López et al., 2008; García Martínez et al., 2016).

Otros individuos como los pertenecientes a la familia Cyperaceae encontrados en los muestreos, con mayor riqueza en el río San Lorenzo necesitan mayor cantidad de nutrientes para cumplir su ciclo de vida (Chambers *et al.*, 2008). Adicional a lo encontrado en Gómez Rodríguez *et al.* (2017) donde se expresa que a mayores valores de temperatura y conductividad se presentaron las mayores riquezas y abundancias, en la presente investigación se evidenció lo contrario, donde a mayores valores de temperatura y conductividad caso de la estación Guarínó, se encontró menor riqueza biológica, esto posiblemente por la diferencia en los usos de suelo en comparación con las demás estaciones de investigación.

La vegetación de ribera tiene una importancia ecológica dada su influencia en la cantidad y calidad del recurso hídrico (Villareal *et al.* 2006), por ello es importante comenzar a considerar dentro de los monitoreos de calidad de agua a este tipo de vegetación en los sistemas lóticos.

## **7.2 Espacialización de resultados**

En este apartado se muestra la espacialización de una parte de la información recolectada que está en numerales anteriores del documento; aquí la información se presente de manera que algunos resultados representativos sean de fácil y mejor visibilización.

### **7.2.1 Índice de calidad del agua.**

Con la ayuda de algunas variables fisicoquímicas tomadas en el sitio, se aplicó el Índice de Calidad de Agua – ICA, esta herramienta matemática categoriza las corrientes de agua superficial en buena, aceptable, regular, mala o muy mala. Para esta valoración se utilizan las variables %Saturación de Oxígeno Disuelto, Sólidos Suspendidos Totales, DQO, Conductividad Eléctrica, pH y relación Nitrógeno total / Fósforo total (IDEAM, 2011).



La Tabla 16 muestra los rangos de calidad de agua con su respectivo calificativo y su color asociado.

Tabla 16. *Rangos de calidad del agua*

<b>Categorías de valores que puede tomar el indicador</b>	<b>Calificación de la calidad del agua</b>	<b>Señal de alerta - Color</b>
0,00 – 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
0,91 – 1,00	Buena	Azul

Fuente: IDEAM, 2011

Se aplicó el ICA para las corrientes de interés, en los cuatro muestreos; a continuación, en la se ilustran cada una de las estaciones y los valores arrojados por el índice para las campañas de monitoreo asociando los colores presentados en la Tabla 16

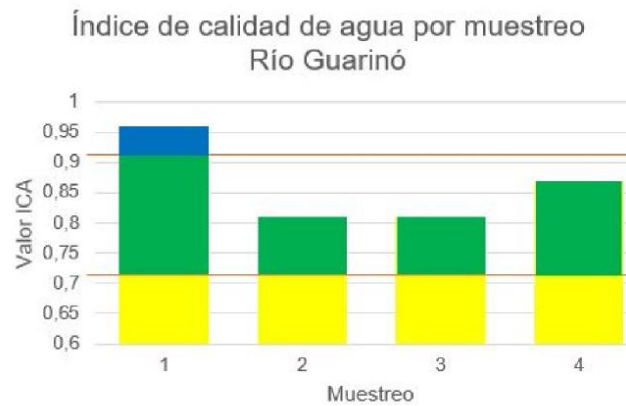
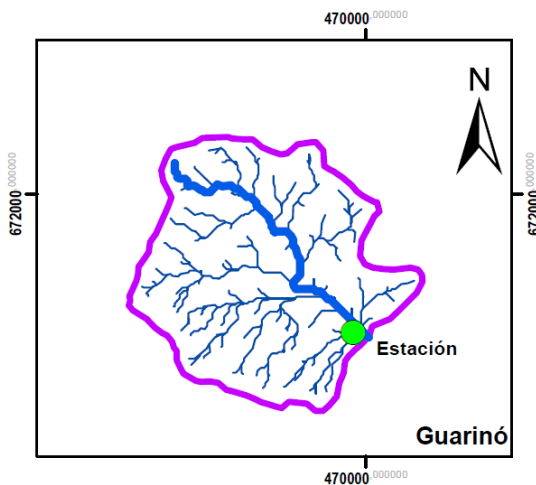
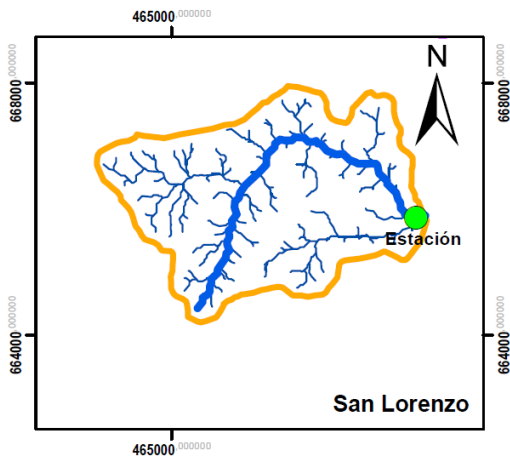
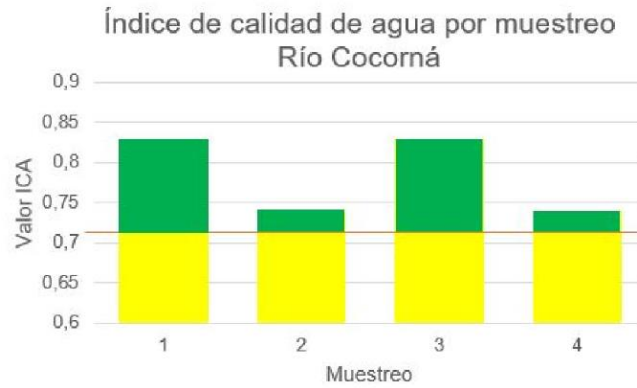
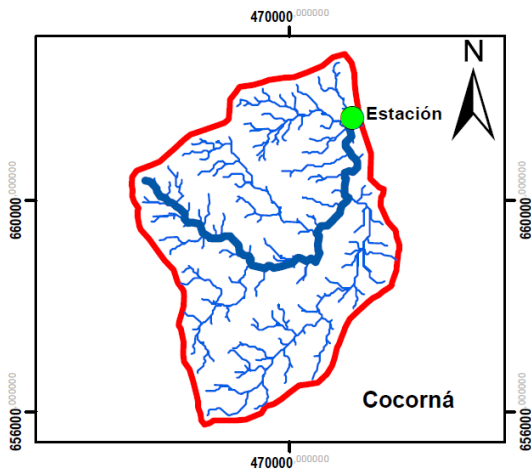


Figura 9. Índices de Calidad de Agua para cada Estación de muestreo  
Fuente: Elaboración propia

La muestra las tres estaciones según los rangos establecidos por el Índice de Calidad de Agua – ICA. En general, no hubo variación importante entre muestreos dado que se obtuvieron valores de calidad de agua entre “aceptable” y “buena”.

### 7.2.2 Vegetación acuática en las estaciones.

La Figura 10 presenta la estación de muestreo, los cambios en la riqueza y número total de individuos en los muestreos 2, 3 y 4, además de algunas fotografías de los taxa más representativos por sitio.

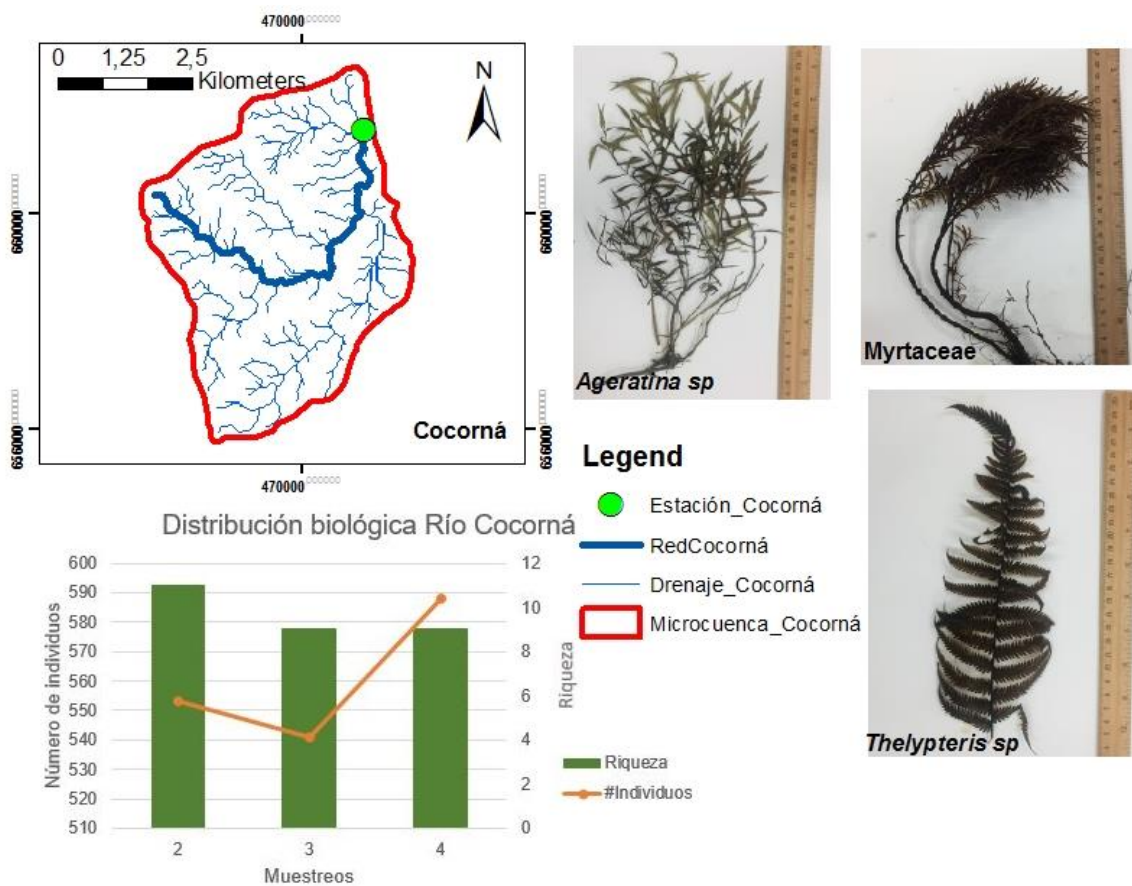


Figura 10. Distribución de riqueza y abundancia de organismos en la estación Cocorná  
Fuente: Elaboración propia

La Figura 10 muestra la estación Cocorná; en dicho sitio se presentó la mayor abundancia de organismos, esto puede ser debido a que este río a la altura de la

estación, presentó un lecho rocoso que permitió la colonización de organismos en la zona de ritral.

La Figura 11, presenta la estación de muestreo en San Lorenzo, los cambios en la riqueza y número total de individuos en los muestreos 2, 3 y 4, además de algunas fotografías de los taxa más representativos por sitio.

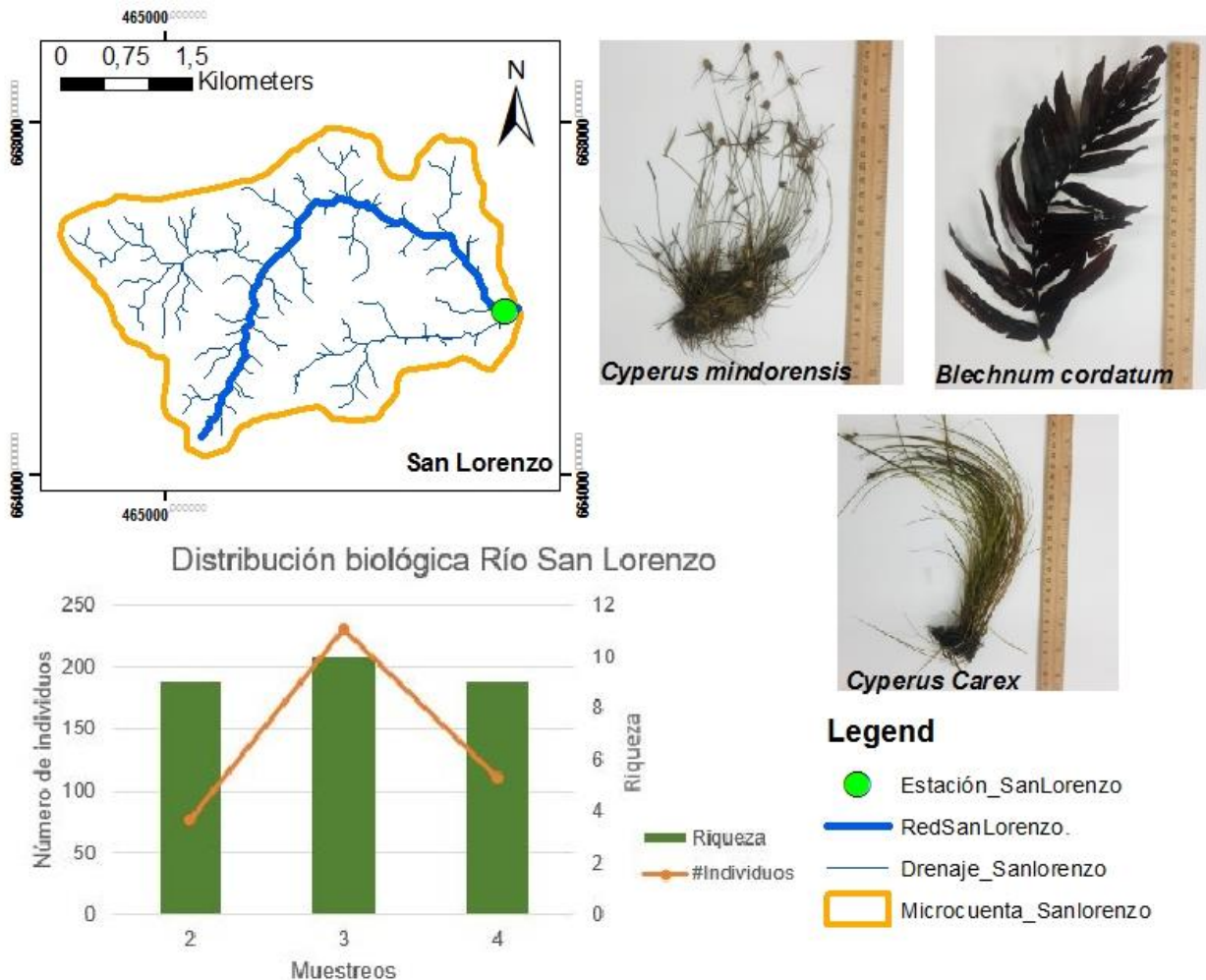


Figura 11. Distribución de riqueza y abundancia de organismos en la estación San Lorenzo Fuente: Elaboración propia

En la Figura 11, la riqueza en el San Lorenzo presentó valores muy similares entre campañas de muestreo, pero el número total de individuos varió entre monitoreos, puede ser debido a que las fluctuaciones de caudal en el río propiciaron el crecimiento de algunos individuos en la zona de ribera.

La Figura 12, presenta la estación de muestreo en Guarinó, los cambios en la riqueza y número total de individuos en los muestreos 2, 3 y 4, además de algunas fotografías de los taxa más representativos por sitio.

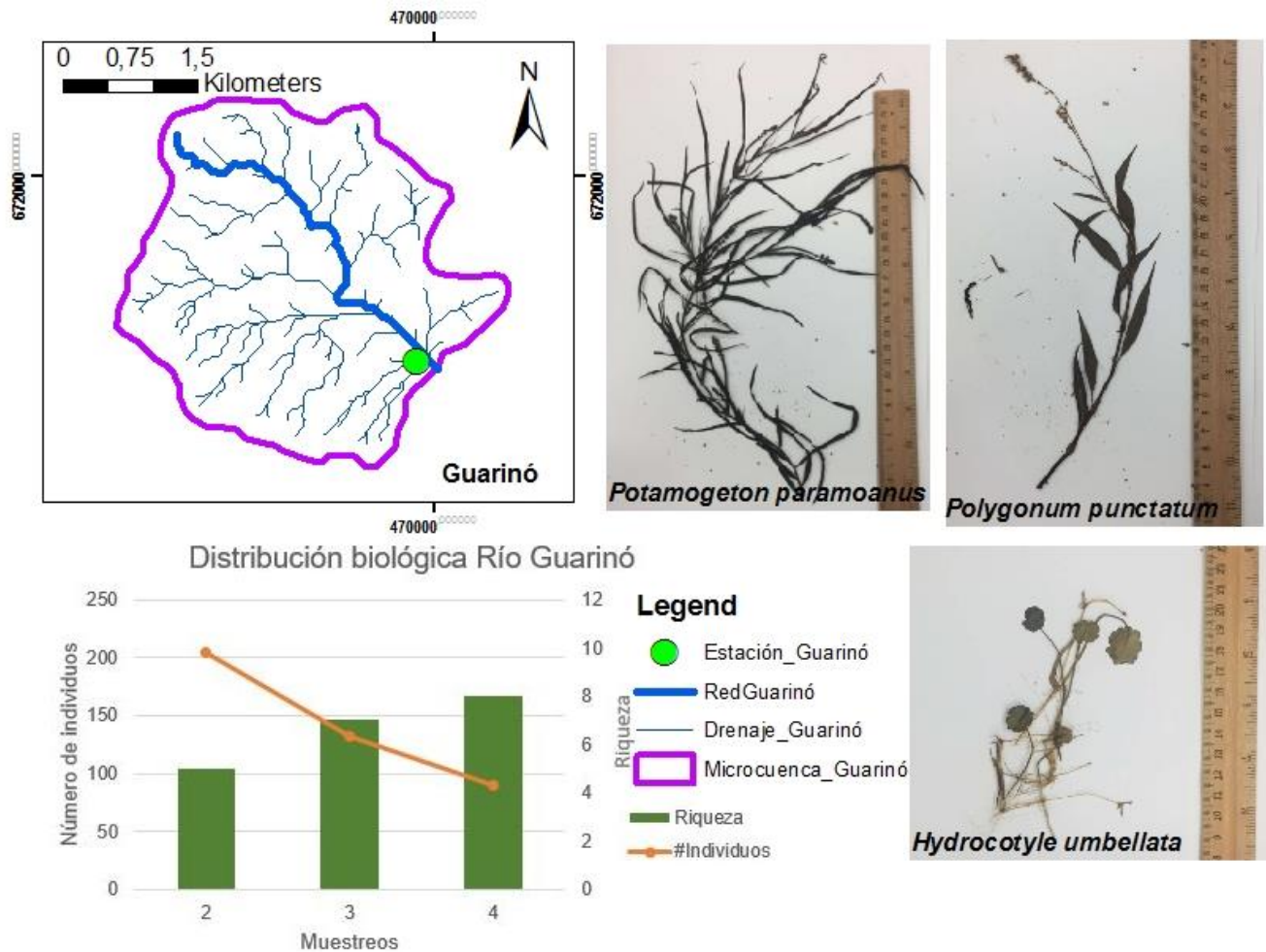


Figura 12. Distribución de riqueza y abundancia de organismos en la estación Guarinó  
Fuente: Elaboración propia

La Figura 12 muestra que Guarinó presentó la menor riqueza y número de individuos en comparación con los demás sistemas de interés; allí es muy importante considerar las condiciones físicas del río, dado que se encontró un lecho conformado principalmente por arenas y una gran cantidad de sedimentos en suspensión, lo cual es posible que haya afectado la colonización de este tipo de organismos.

### 7.3 Escenarios futuros de las estaciones por la concesión de agua.

En el presente aparte se exponen algunos elementos técnicos relacionados con la concesión de agua del proyecto de aprovechamiento sobre las estaciones de investigación. A estos puntos le fueron concesionados por medio de Resolución 2312 del año 2000 la extracción de agua para abastecimientos de 1,2 m<sup>3</sup>/s, 0,5 m<sup>3</sup>/s y 0,5 m<sup>3</sup>/s para los ríos Cocorná, San Lorenzo y Guarinó respectivamente (Hoyos Osorio, 2012).

Para cada estación se muestra la posible disminución de la lámina de agua, considerando los caudales aforados en las cuatro campañas de muestreo restando los caudales que fueron concesionados.

#### 7.3.1 Pérdida de lámina de agua para el río Cocorná.

La Figura 13 evidencia la variación de la lámina de agua con relación al caudal de la corriente en el punto de aforo para cada muestreo.

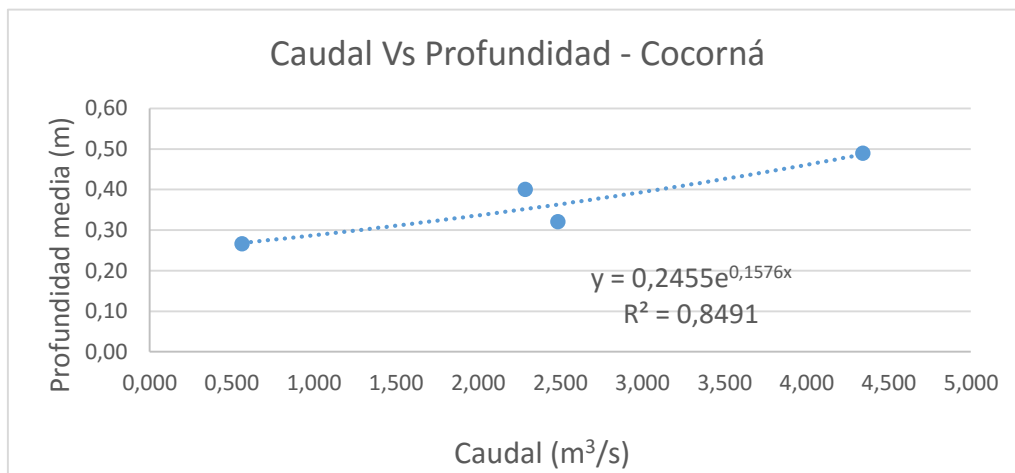


Figura 13. Profundidad en función del caudal para el río Cocorná

La ecuación de regresión obtenida con un R<sup>2</sup> de 0,85 se utilizó para determinar el porcentaje de variación de la lámina de agua en función del caudal remanente luego de la instalación y puesta en marcha del proyecto de abastecimiento. A continuación, en la Tabla 17 se muestran los porcentajes de variación en la profundidad de la corriente con la implementación del proyecto.

Tabla 17. Variación de la lámina de agua por el proyecto en el río Cocorná

Muestreo	Caudal medio (m <sup>3</sup> /s)	Profundidad media sección(m)	Caudal extraído (m <sup>3</sup> /s)	Caudal remanente (m <sup>3</sup> /s)	Profundidad final (m)	Variación profundidad (%)
Noviembre	0,563	0,27	1,2	-0,637	No	>100
Febrero	2,486	0,32		1,286	0,30	6,3
Marzo	2,288	0,40		1,088	0,29	27,1
Mayo	4,343	0,49		3,143	0,40	17,6

La Tabla 17 muestra una alteración importante sobre el primer escenario, lo que implica una reducción total del caudal sobre la corriente aguas abajo de la captación. En ese caso es importante hacer una reconsideración del caudal que será extraído dado que es posible que en algunas épocas del año la corriente quede seca en su totalidad. Para evidenciar mejor los cambios en la profundidad, en la Figura 14 se da una ilustración de la disminución porcentual en la columna de agua por la implementación del proyecto.

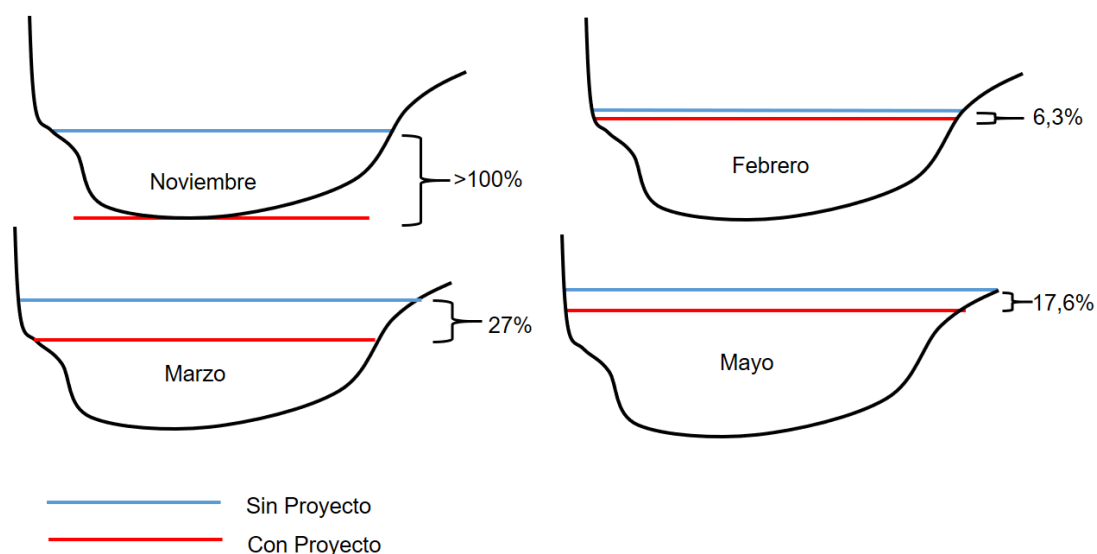


Figura 14. Variación de la profundidad en el río Cocorná

En Figura 14 se muestra el posible porcentaje de disminución de la columna de agua sobre la corriente en el momento de implementación del proyecto, las líneas azules representan la altura de la lámina de agua antes de extraer los 1,2 m<sup>3</sup>/s de recurso hídrico, y las líneas rojas la lámina de agua para un escenario futuro.

### 7.3.2 Pérdida de lámina de agua para el río San Lorenzo.

La Figura 15 muestra la variación de la lámina de agua en función del caudal de la corriente en el punto de aforo para cada muestreo.

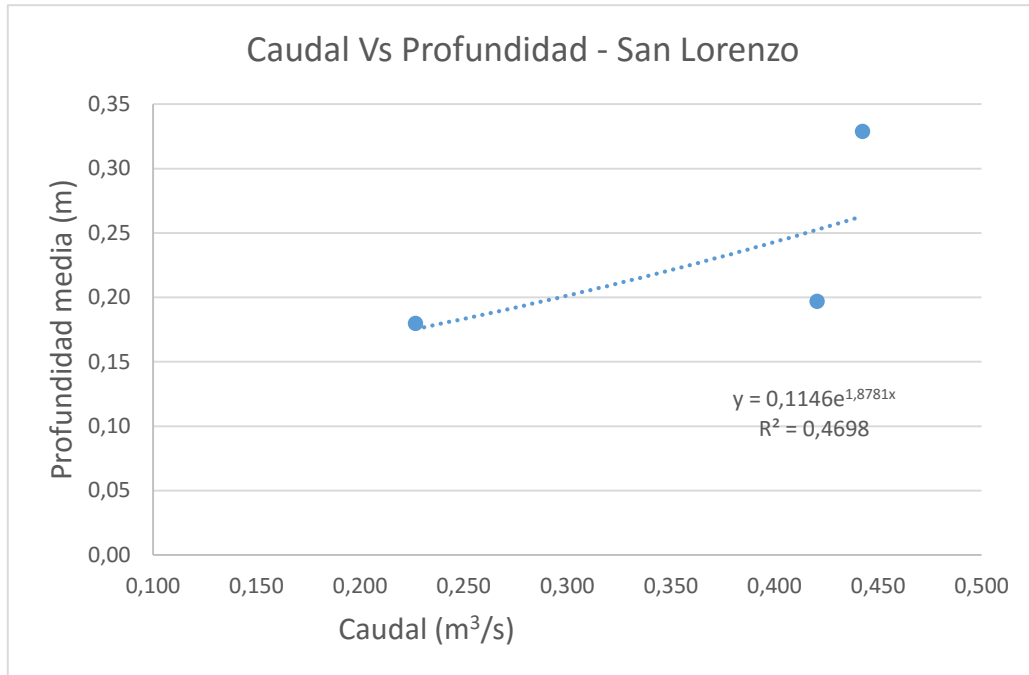


Figura 15. Profundidad en función del caudal para el río San Lorenzo

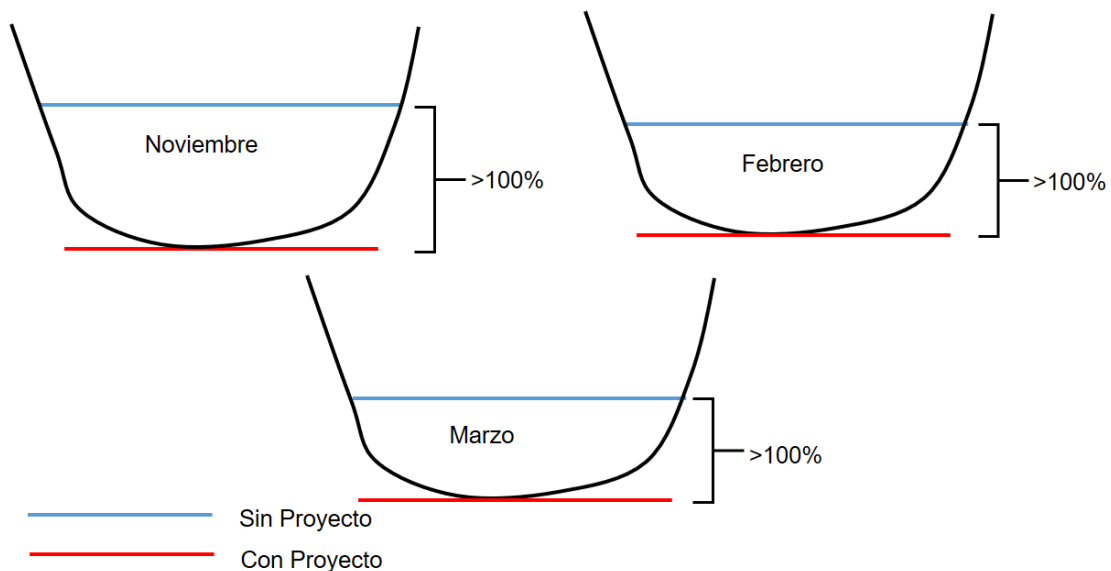
La ecuación de regresión obtenida con un  $R^2$  de 0,47 se utilizó para determinar el porcentaje de variación de la lámina de agua sobre el caudal remanente luego de la instalación y puesta en marcha del proyecto de abastecimiento. A continuación, en la Tabla 18 se muestran los porcentajes de variación en la profundidad de la corriente con la implementación del proyecto.

Tabla 18. Variación de la lámina de agua por el proyecto en el río San Lorenzo

Muestreo	Caudal medio (m³/s)	Profundidad media sección(m)	Caudal extraído (m³/s)	Caudal remanente (m³/s)	Profundidad final (m)	Variación profundidad (%)
Noviembre	0,443	0,33	0,5	-0,057	No	>100
Febrero	0,421	0,20		-0,079	No	>100
Marzo	0,227	0,18		-0,273	No	>100



Para la Tabla 18, se consideró solo los primeros tres muestreos, dado que la última relación caudal profundidad presentaba valores atípicos que generaban ruido sobre el ajuste en la ecuación del modelo, este valor se pudo deber a problemas en errores en la medición de campo. Para este caso, se presentaron valores de caudales negativos para todos los muestreos, por lo que el caudal concesionado en todos los momentos tiende a secar la fuente superficial. La Figura 16 muestra la total disminución en el caudal sobre la corriente por la extracción de agua.



*Figura 16. Variación de la profundidad en el río San Lorenzo.*

En la Figura 16 se muestra el posible porcentaje de disminución de la columna de agua sobre la corriente en el momento de implementación del proyecto, las líneas azules representan la altura de la lámina de agua antes de extraer los 0,5 m<sup>3</sup>/s de recurso hídrico, y las líneas rojas la lámina de agua para un escenario futuro. En este caso en particular, en todos los escenarios la corriente quedaría sin caudal remanente; allí es importante considerar el valor del caudal concesionado dado que la disminución drástica del caudal genera afectación negativa sobre los elementos bióticos asociados.

### 7.3.3 Pérdida de lámina de agua para el río Guarínó.

La Figura 17 evidencia la variación de la lámina de agua en función del caudal de la corriente en el punto de aforo para cada muestreo.

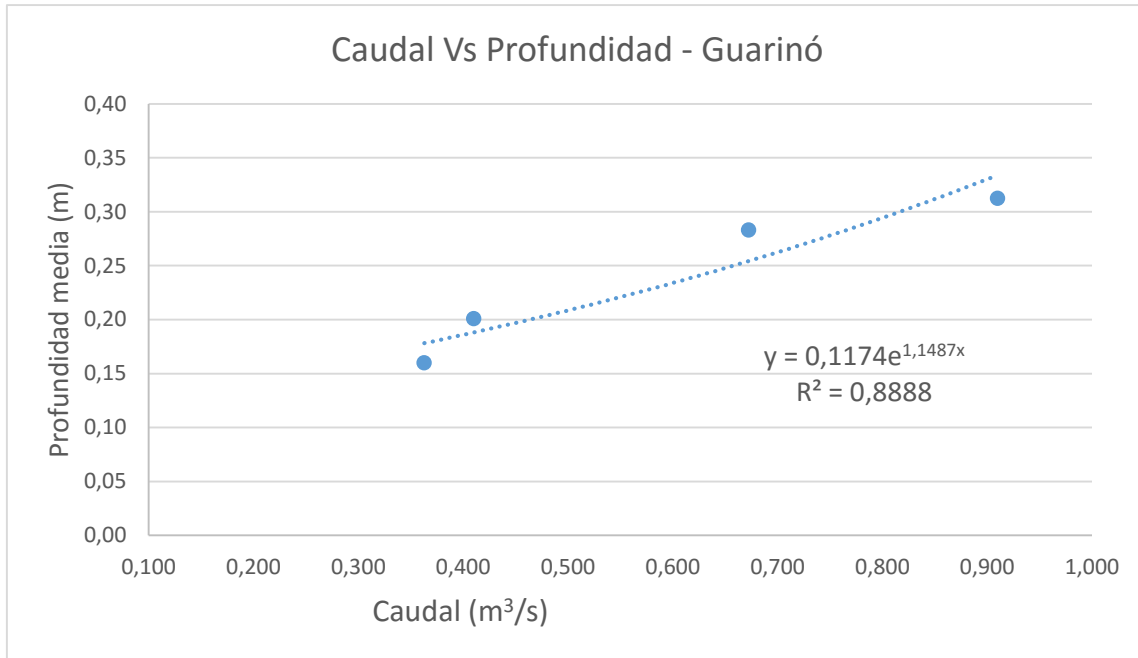


Figura 17. Profundidad en función del caudal para el río Guarínó

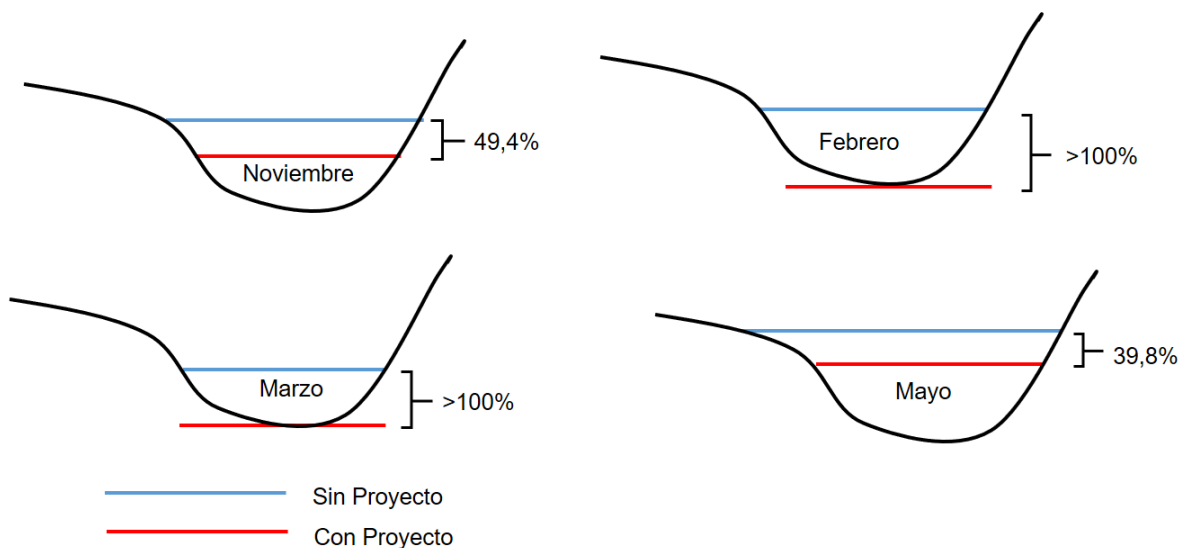
La ecuación de regresión obtenida con un  $R^2$  de 0,89 se utilizó para determinar el porcentaje de variación de la lámina de agua sobre el caudal remanente luego de la instalación y puesta en marcha del proyecto de abastecimiento. A continuación, en la Tabla 19 se muestran los porcentajes de variación en la profundidad de la corriente con la implementación del proyecto.

Tabla 19. Variación de la lámina de agua por el proyecto en el río Guarínó

Muestreo	Caudal medio (m³/s)	Profundidad media sección(m)	Caudal extraído (m³/s)	Caudal remanente (m³/s)	Profundidad final (m)	Variación profundidad (%)
Noviembre	0,672	0,28	0,5	0,172	0,14	49,4
Febrero	0,410	0,20		-0,090	No	>100
Marzo	0,363	0,16		-0,137	No	>100
Mayo	0,910	0,31		0,410	0,19	39,8

La Tabla 19 muestra una alteración importante sobre el caudal de todos los momentos de muestreo, siendo considerable en los muestreos dos y tres, donde se evidencia una pérdida total del caudal en la corriente. La Figura 18 muestra la total disminución en el caudal sobre la corriente por la extracción de agua.

Figura 18. Variación de la profundidad en el río Guarínó.



En la Figura 18 se muestra el posible porcentaje de disminución de la columna de agua sobre la corriente en el momento de implementación del proyecto, las líneas azules representan la altura de la lámina de agua antes de extraer los  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  de recurso hídrico, y las líneas rojas la lámina de agua para un escenario futuro. En este caso la mayor afectación se presenta sobre los meses de febrero y marzo teniendo una disminución total del agua que circula por el sitio; adicionalmente, se presenta una afectación considerable sobre los meses de noviembre y mayo dado que la disminución de la lámina de agua supera un 30% por lo que los procesos ecosistémicos asociados a la biota vegetal podría verse afectados.

De forma general, todos los sitios según la extrapolación presentaron una reducción considerable de la profundidad del río a la altura de las estaciones que han sido muestreadas, por lo cual los diversos ecosistemas y componentes de los mismos, caso especial las plantas acuáticas, semiacuáticas y de ribera podrían resultar

afectados por los cambios en las dinámicas del flujo; por lo cual la inestabilidad del caudal llevaría a una pérdida de la cobertura vegetal asociada y a su vez disminución de los biotopos para otras especies de fauna y micro fauna.

## 8. CONCLUSIONES

La presencia, distribución espacial y tipo de vegetación acuática, semiacuática y riparia está influenciada de forma directa por variables físicas como tipo de sustrato, dado que las plantas pueden crecer más fácilmente en bases sólidas con algunas fisuras como las rocas del río Cocorná, y el caudal, teniendo en cuenta que su magnitud permite que algunas plantas pueden desarrollarse mejor, es el caso de las plantas de la familia Myrtaceae y una Cyperaceae (*Eleocharis filiculmis*) encontradas, que tienen unas raíces más sólidas, estas fueron muy abundantes en el río Cocorná, donde se presentaron los mayores caudales.

Las variables fisicoquímicas más importantes dentro del análisis fueron pH, conductividad, temperatura del agua, turbiedad y nutrientes; la variabilidad de estas se relacionó más con el tipo de río que con la campaña de muestreo. Por consiguiente, el cambio en la estructura comunitaria de la vegetación se asoció en igual medida a los tipos de ríos. Río como el Guarinó tuvo menos riqueza que los demás sistemas, esto pudo deberse a que el río presentó los valores más altos en las variables fisicoquímicas, por lo que estas pudieron funcionar como presiones ambientales para el crecimiento de algunas especies. Así las cosas, la fluctuación de estas variables fisicoquímicas permite que organismos como las plantas acuáticas y vegetación de ribera encontradas puedan prosperar mejor en unos u otros ambientes.

El distrito de acueducto pensado en estas estaciones, disminuiría de forma drástica la lámina de agua principalmente en las estaciones San Lorenzo y Guarinó, por lo que organismos como *Cyperus* sp, *Cyperus mindorensis*, *Cyperus carex*, *Rhynchospora* sp, *Oxalis* sp, *Hydrocotyle umbellata*, *Hydrocotyle asiatica*, *Juncus microcephalus* y *Polygonum punctatum* que se encontraron en ribera principalmente

(aunque algunas estaban sumergidas en otros puntos) podrían resultar afectadas por dicha pérdida de flujo, dado que los caudales naturales mantienen un nivel de agua que hace posible que los organismos puedan cumplir su ciclo de vida.

El Índice de Calidad de Agua – ICA, mostró que en todos los sistemas y en cada campaña el agua es de regular o buena calidad, pero la calidad microbiológica presentó resultados cuestionables, por lo tanto, en caso de tomar parte del caudal de las fuentes de agua para consumo humano, se debe tener en cuenta las unidades de tratamiento necesario para impedir que se presenten problemas de salud pública por el consumo directo de esta agua. A su vez, si existen vertimientos directos, es necesario considerarlos dado que las descargar de aguas residuales en las fuentes hídricas implican cambios en los procesos naturales de los ríos por un exceso de materia orgánica que provocaría alteración tanto en la parte fisicoquímica como en las comunidades biológicas que dependen de unas condiciones ambientales estables.

La calidad del agua no solo depende de los cambios de las variables fisicoquímicas y microbiológicas, también depende de las condiciones de la vegetación asociada a las fuentes hídricas, ya sea de la ribera o acuática. En ese sentido, es importante ver el agua desde una mirada integral, por ello la gestión integral del recurso hídrico debe agregar el análisis de calidad de agua tanto componentes bióticos como la vegetación acuática, semiacuática y riparia, y abióticos como la hidráulica de la corriente y caracterización de sustratos para tener una mirada ecológica de los ecosistemas y causar la menor afectación posible cuando se propongan sistemas de captación para agua potable.

## **9. RECOMENDACIONES**

Se recomienda una revisión a detalle por parte de la autoridad ambiental competente de los caudales concesionados para los ríos Cocorná, San Lorenzo y Guarinó, que son de 1,2 m<sup>3</sup>/s, 0,5 m<sup>3</sup>/s, 0,5 m<sup>3</sup>/s promedio mensual multianual respectivamente para evitar afectaciones sobre el ecosistema en relación a la

vegetación acuática, que como ha sido mencionado a lo largo del documento, estos organismos cumplen un papel fundamental en el correcto funcionamiento del ecosistema; lo anterior teniendo en cuenta que los caudales extraídos, comparados con los caudales puntuales de las campañas de muestreo, en algunos casos podrían dejar a la corriente seca o con un caudal remanente muy bajo.

Se recomienda que el municipio de El Carmen de Viboral en conjunto con los entes de gobierno de los municipios que serán beneficiados por el proyecto de aprovechamiento de agua, generen programas donde se incentive el uso y ahorro eficiente del agua por parte de la población, además de programas de educación ambiental donde se conciencie a la población de los problemas del mal manejo del recurso hídrico, para que así las demandas futuras tengan una presión menor sobre los ecosistemas aledaños a los sitios de captación para abastecimiento.

Se recomienda una revisión intensiva de los posibles puntos de vertimientos aguas residuales aguas arriba de las estaciones, dado que la presente contaminación microbiológica que indica problemas en la eficiencia de los sistemas de tratamiento instalados o en el peor de los casos la inexistencia de unidades de saneamiento.

Aunque se evidenciaron cambios estructurales en relación con la distribución de la vegetación acuática por las tres estaciones de interés, para posteriores trabajos de investigación semejantes, dentro de la metodología de campo sería pertinente incluir un mayor número de muestreos, esto con el fin de tener una base de datos más robusta, para que así los análisis estadísticos, discusión y conclusiones desde la parte ecológica y ambiental tenga una mayor significancia.

## 10. REFERENCIAS

- Abati, S., Minciardi, M.R., Ciadamidaro, S., Fattorini, S., Ceschin, S. (2016). Response of macrophyte communities to flow regulation in mountain streams. *Environ. Monit. Assess.* 188:414. DOI 10.1007/s10661-016-5420-2.
- Agudelo, R. (2005). El agua, Recursos estratégico del siglo XXI. Medellín. Revista Facultad Nacional de Salud Pública. 23(1):91-102
- Aguirre, N. (2013). Hidrobiología Sanitaria. Universidad de Antioquia, Medellín-Colombia. 200p.
- Alfonso, G.L., Prina, A.O., Muiño, W.A. (2004). Una nueva especie del género *Oxalis* (Oxalidaceae) para la provincia de Mendoza, Argentina. (San Isidro). *Hickenia*. 3(51):213-216. ISSN 0325-3732.
- Álvarez, M., Ramírez, C., Deil, U. (2008). Ecología y distribución de *Hydrocotyle cryptocarpa* sp. nov. En Sudamérica. *Gayana Bot.* 65(2):139-144. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432008000200003>.
- Arambarri, A.M., Bayón, N.D. (1995). Flora del valle de Lerma Polygonaceae juss. Universidad Nacional de la Plata. 53p. ISSN 0327 - 506X.
- Arocena, R., Mazzeo, N. (1994). Macrófitas acuáticas de un arroyo urbano en Uruguay: Su relación con la calidad del agua. *Rev. Bio. Trop.* 42(3):723-728.
- Balslev, H., Duno de Stefano, R. (2015). La familia Juncaceae en México. *Acta Botánica Mexicana*. 111(1): 61-164. <https://doi.org/10.21829/abm111.2015.182>.
- Barbosa-C., I., Uribe-M, J., Campos, L.C. (2007). Las hepáticas de Santa María (Boyacá, Colombia) y alrededores. *Caldasia*. 29(1):39-49. <http://dx.doi.org/10.15446/caldasia>.
- Benjumea-Hoyos, C.A., Suárez-Segura, M.A., Villabona-González, S.L. (2018). Variación espacial y temporal de nutrientes y total de sólidos en suspensión en la cuenca de un río de alta montaña tropical. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 42(165):353-363. doi: <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.777>.
- Blanco y de la Torre, F. (2015) Los recursos hídricos en el mundo: Cuantificación y distribución. España. Ministerio de Defensa. 20-70.
- Cárdenas-L., D., Baptiste, M., Castaño, N. (2017). Plantas exóticas con alto potencial de invasión en Colombia. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*. Bogotá. 295p.
- Chambers, P.A., Lacoul, P., Murphy, K.J., Thomaz, S.M. (2008). Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. *Rev. Hydrobiologia*. 595:9-26. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9154-6>.

- Cirujano Bracamonte, S., Meco Molina, A., García Murillo, P., Chirino Argenta, M. (2014). Flora Acuática Española: Hidrófitos Vasculares. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid 322p.
- CORNARE. (2011). Acuerdo 251 de 2011. El Santuario, Antioquia, Colombia: CORNARE. 19p.
- CORNARE. (2014). PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL REGIONAL 2014-2032. El Santuario. 289p.
- Díaz-Pita, M.P. (2011). Revisión Taxonómica del género *Hydrocotyle* L. (Apiaceae) para Colombia. Tesis para optar al título de Magister en Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 115p.
- Díaz-Quiroz, C., Rivera-Rendón, C.A. (2004). Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. *Caldasia* 26(2): 381-394. DOI: 10.15446/caldasia.
- Durán, E., Galicia, L., Pérez García, E. Zambrano, L. (2002). El paisaje. *Ciencias*. 67(1):44-50.
- Eggers, S.D., Reed, D.M., (2014). Wetland plants and plant communities of Minnesota and Wisconsin. U.S. Army Corps of Engineers, St. Paul District. 68p.
- Engloner, A.I, Szalma, E., Sipos, K., Dinka, M. (2013). Occurrence and habitat preference of aquatic macrophytes in a large river channel. *Community Ecology* 14(2): 243-248. DOI: 10.1556/ComEc.14.2013.2.14.
- Fernández-Alaez, C., Fernández-Alaez, M., Santiago Ibarlucea, N.F., Núñez Labra, G., Aboal Sanjurjo, M. (2012). Id-Tax. Catálogo y claves de identificación de organismos del grupo macrófitos utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico. España. 530p.
- Galeano-Rendón, E., y Mancera-Rodríguez, N.J. (2018). Efectos de la deforestación sobre la diversidad y la estructura del ensamblaje de macroinvertebrados en cuatro quebradas Andinas en Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), DOI: 10.15517/rbt.v66i4.31397.
- García-Alzate, C.A., Román-Valencia, C., Vanegas-Ríos, J.A., Arcila-Mesa, D.K. (2007). Análisis Fisicoquímico y Biológico Comparado en Dos Quebradas de Alta Montaña Neotropical. *Revista de Investigaciones. Universidad del Quindío*. 17(1): 57-80. ISSN 1794-631X.
- García, J.M., Sarmiento L.F., Salvador, M., Porras, L.S. (2017). Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña. *Revisión Corta. UGCiencia*, 23(1): 47-62. doi: <http://10.18634/ugcj.23v.0i.659>.



- García M, S., Basilio B, H., Herazo V, F., Mercado G, J. & Morales P, M. (2016). Diversidad de briófitos en los Montes de María, Colosó (Sucre, Colombia). *Colombia Forestal*, 19(1), 41-52.
- García Murillo, P. (1993). Estudio Palinológico del Género *Potamogeton* L. en la Península Ibérica. *Bot. Complutensis*. 18:79-91
- García Murillo, P., Fernández Zamudio, R., Cirujano Bracamonte, S. (2009). Habitantes del agua Macrófitos. Andalucía: Concejería de Medio Ambiente. 145p.
- Gastañaga, M. (2018). Agua, saneamiento y salud. Peru. *Rev. Peru Med. Exp. Salud*. 35(2):181-2. doi: 10.17843/rpmesp.2018.352.3732.
- Giménez, P.T., (2009). Guía visual de campo: Macrófitos vasculares de la cuenca del Ebro. España. 100p.
- Gómez-Rodríguez, A.M., Valderrama-Valderrama, L.T., Rivera-Rondón, C.A. (2017). Comunidades de macrófitas en ríos andinos: composición y relación con factores ambientales. *Acta biol. Colomb.* 22(1):45-58. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v22n1.58478>.
- Hoyos Osorio, L.F. ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA CAPTACIÓN, BOMBEO Y CONDUCCIÓN DE AGUA CRUDA DESDE SITIOS DE TOMA SOBRE LOS RÍOS COCORNÁ, SAN LORENZO Y GUARINÓ, HASTA EL ALTO DE BOQUERÓN – INFORME FINAL. El Carmen de Viboral. 209p.
- Hrivnák, R., O’ahel’ová, H., Gömöry, D. (2009). Seasonal dynamics of macrophyte abundance in two regulated streams. *Cent. Eur. J. Biol.* 4(2):241–249. DOI: 10.2478/s11535-009-0004-6.
- IANASa. (2019). Aspectos importantes relacionados con la Calidad del Agua. México. Red regional de Academias de Ciencias. 23-29. ISBN: 978-607-8379-33-0.
- IANASb. (2019). La calidad de agua en Colombia. México. Red regional de Academias de Ciencias. 202-238. ISBN: 978-607-8379-33-0.
- IDEAM. (2011). Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial. Bogotá. 10p.
- IDEAM (2016). PROTOCOLO DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO DEL AGUA. Bogotá D.C. 425p.
- IDEAM (2017). PROTOCOLO DE MONITOREO DEL AGUA. Bogotá, D.C. 587p.
- IDEAM (2019). Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá: Ideam: 452 pp



- Lagos-López, M.I., Sáenz-Jiménez, F.A., Morales-Puentes, M.E. (2008). Briófitos reófilos de tres quebradas del páramo de Mamapacha, Chinavita (Boyacá-Colombia). *Acta Biológica Colombiana*. 13(1):143-160. <http://dx.doi.org/10.15446/abc>.
- Lasso, C. A., Rial, A., Colonnello, G., Machado-Allison A., Trujillo, F., (Editores). (2014). XI. Humedales de la Orinoquia (Colombia- Venezuela). Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH)*. Bogotá, D.C., Colombia. 303p.
- Loriga, J. (2012). Diversidad, distribución geográfica y áreas prioritarias para la conservación del género *Elaphoglossum* (*Dryopteridaceae*) en Cuba. Tesis presentada en opción al Título Académico de Maestro en Ciencias. Universidad de la Habana. 107p.
- Maldonado, C. (2005). Las rubiáceas encontradas en el proyecto de inventario botánico de la región de Madidi. *Rev. Ecología en Bolivia*. 40(3):199-211.
- Manolaki, P., Papastergiadou, E. (2013). The impact of environmental factors on the distribution pattern of aquatic macrophytes in a middle-sized Mediterranean stream. *Aquatic Botany* 104: 34–46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2012.09.009>.
- Manolaki, P., Papastergiadou, E. (2015). Environmental factors influencing macrophytes assemblages in a middle-sized Mediterranean stream. *River res. Applic.* DOI: 10.1002/rra.2878.
- Martinez, L.F., Donato, J. (2003). efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Caldasia* 25(2): 337-354.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2015). Protocolo de muestreo y laboratorio de Macrófitos en ríos. España. 21p.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (a). (2017). Formulación del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Samaná Norte: Informe de la fase de formulación. Medellín. 208p.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (b). (2017). Formulación del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Samaná Norte: Informe de diagnóstico. Medellín. 706-848.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá D.C. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 124p.
- Ministerio de la Protección Social. (2007). Decreto 1575 de 2007. Bogotá D.C. Ministerio de la Protección Social. 14p.

- Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Resolución 2115 de 2007. Bogotá D.C. Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. 23p.
- Moreno, C.E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *M&T-Manuales y Tesis SEA*.1(1):1-84.
- Moreno, J.L., Navarro, C., De las Heras, J. (2006). Propuesta de un índice de vegetación acuática (IVAM) para la evaluación del estado trófico de los ríos de Castilla-La Mancha: Comparación con otros índices bióticos. *Limnetica*, 25 (3): 821-838. ISSN: 0213-8409.
- Naciones Unidas. (2018), La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Santiago. (LC/G.2681-P/Rev.3). 93p.
- Ollgaard, B. (1992). Neotropical Lycopodiaceae-An Overview. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 79(3): 687-717.
- OMS. (2011). Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera agenda. Ginebra. 636p. ISBN 978-92-4- 354995-8.
- Osorio, J. M. (2010). Proyecto de aprovechamiento múltiple quebrada Guarinó, río San Lorenzo y río Cocorná. Estudio de efecto ambiental para concesiones de agua. Envigado. 132p.
- Palau, A., Caputo, L. (2013). Caracterización limnológica de las masas de agua continentales de Huinay (X región de los lagos, Chile). 119p.
- Parra-O., C. 2014. Sinopsis de la familia Myrtaceae y clave para la identificación de los géneros nativos e introducidos en Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 38(148):261-277. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.128>.
- Pasquini, A.I., Lecomte, K.L., Depetris, P.J. (2004). Geoquímica de ríos de montaña en las Sierras Pampeanas: II. El río Los Reartes, sierra de Comenchingones, provincia de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 59 (1): 129-140.
- Pielou, G.A. (1998). Ecological Diversity. Wiley New York. 165p.
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. Caracas- Venezuela. *Interciencia*. 31(8):593-590.
- Ponce, M. (2007). Sinopsis de las Thelypteridaceae de Brasil central y Paraguay. *Rev. Hoehnea*. 34(3):283-333. <https://doi.org/10.1590/S2236-89062007000300003>
- Posada, J.A., & López, M.T. (2011). Plantas Acuáticas del Altiplano del Oriente Antioqueño. Medellín: Universidad Católica de Oriente. 119p.

- Prada, C., Rolleri, C.H., Pasarelli, L.M. 2008. Morfología, caracterización y distribución geográfica de *Blechnum cordatum* (Blechnaceae-Pteridophyta). *Acta Botánica Malacitana*. 33:29-46.
- Quiñonez Oquendo, L.E., & Wagner Vega, K. (2016). Inventario de Plantas Acuáticas y de Ribera Asociadas al Río Toro Negro, Tributario del Río Grande de Manatí. San Juan, Puerto Rico: Departamento de Recursos Naturales y Ambientales. 52p.
- Ramírez-Padilla, B.R. (2013). Riqueza y distribución de musgos en el departamento del Cauca, Colombia. (Popayán, Colombia). *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de historia natural* 17(2):17-37.
- Rial, A. 2014. Diversity, bioforms and abundance of aquatic plants in a wetland of the Orinoco floodplains (Venezuela). *Biota Colombiana* 15 (1): 1-9.
- Roldán, G., y Ramirez, J. J. (2008). Fundamentos de Limnología Neotropical. Medellín: Universidad de Antioquia. 442p.
- Segnini, S., Chacón, M. (2005). Caracterización fisicoquímica del hábitat interno y ribereño de ríos andinos en la cordillera de Mérida, Venezuela. *ECOTROPICOS* 18(1):38-61.
- Schmidt-Mumm, U., (1988). Vegetación acuática y palustre de la parte alta de la hoya del río Namay (Albán, Cundinamarca). *Perez-Arbelaezia*. 2(6-7) 9-41.
- Schmidt-Mumm, U. (1998). Vegetación Acuática y Palustre de la Sabana de Bogotá y Plano del Río Ubaté. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. 196p.
- Schneider, S., Melzer, A., (2003). The Trophic Index of Macrophytes (TIM) – a New Tool for Indicating the Trophic State of Running Waters. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 88(1): 49-67. <https://doi.org/10.1002/iroh.200390005>
- Schneider, S. (2007). Macrophyte trophic indicator values from a European perspective. *Limnologica*, 37, 281-289. DOI 10.1016/j.limno.2007.05.001.
- Schneider, B., Cunha, E.R., Espinola, L., Marchese, M., Thomaz, S.M. (2018). The importance of local environmental, hydrogeomorphological and spatial variables for beta diversity of macrophyte assemblages in a Neotropical floodplain (article accepted). *Journal of Vegetation Science*. doi: 10.1111/jvs.12707.
- Shannon, C.E., Weaver, W. (1949). The mathematical theory of communication. The University of Illinois Press. 117p.
- Simpson, E.H. (1949). Measurement of diversity. *Nature*. 163(4148): 688.

- Suárez, M.L., Mellado, A., Sanchez-Montoya, M.M., Vidal-Abarca, M. R. (2005). Propuesta de un índice de macrófitos (IM) para evaluar la calidad ecológica de los ríos de la cuenca del Segura. *Limnética*, 24(3-4), 305-318. ISSN: 0213-8409.
- Tognelli, M.F., Lasso, C.A., Bota-Sierra, C.A. (2016). Estado de Conservación y Distribución de la Biodiversidad de Agua Dulce en lo Andes Tropicales. Suiza: UICN, Gland, Suiza, Cambridge, UK y Arlington, USA. 214p.
- Tomás, P., Moreno, J.L., Aboal, M., Oscoz, J., Durán, C., Navarro, P. (2016). Evaluación del estado ecológico de los ríos de la cuenca del río Ebro mediante el índice trófico de macrófitos IVAM-G (Índice de Vegetación Acuática Macroscópica). *Limnetica*, 35(1): 219-234.
- U.S. EPA. (2002). Methods for Evaluating Wetland Condition: Using Vegetation to Assess Environmental Conditions in Wetlands. Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. EPA-822-R-02-020.
- Villamarín, C., Prat, N., Rieradevall, M. (2014). Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 42(5): 1072-1086. DOI: 10.3856/vol42-issue5-fulltext-12.
- Villareal Q., J.A., Carranza P., M.A., Estrada C., E., Rodríguez G., A. (2006). Flora riparia de los ríos Sabinas y San Rodrigo, Coahuila, México. *Acta Biológica Mexicana*. 75:1-20. DOI: 10.21829/abm75.2006.1012.
- Vukov, D., Ilić, M., Ćuk, M., Igić, R., Janauer, G.A. (2017). The relationship between habitat factors and aquatic macrophyte assemblages in the Danube river in Serbia. *Arch Biol Sci.* 69(3):427-37. <https://doi.org/10.2298/ABS160516116V>.
- Vukov, D., Ilić, M., Ćuk, M., Radulović, S., Igić, R., Janauer, G.A. (2018). Combined effects of physical environmental conditions and anthropogenic alterations are associated with macrophyte habitat fragmentation in rivers - Study of the Danube in Serbia. *Science of the Total Environment*. 634:780-790. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.367>.

## ANEXO A. Análisis de laboratorio variables fisicoquímicas – noviembre 2018

 <b>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA</b> Facultad de Ingeniería	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	 Acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025:2005. Resolución No. 0555 de marzo 24 de 2017
Código: F-GI-012	Versión: 01	Página 1 de 3

Informe de resultados: Radicado Nro. 163-18

Versión: 1

Fecha Informe: 16 de Noviembre de 2018

### 1. INFORMACIÓN DEL USUARIO

Cliente:	Universidad de Antioquia		
NIT/C.C.:	890980040		
Dirección:	Calle 67 # 53-108	Teléfono:	2198600
Solicitado por:	Fabio Vélez Macías	Dependencia / Cargo:	Grupo GEOLIMNA

### 2. IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS RECIBIDAS



Fecha de recepción:	2018-11-02	Hora:	09:30
---------------------	------------	-------	-------

Código de laboratorio	Tipo de muestra	Procedencia	Sitio/Lugar de muestreo	Muestreado por	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
163-18-1	Agua cruda superficial	Carmen de Viboral - Antioquia	San Lorenzo 1	Juan Pablo Serna	2018-11-01	17:00
163-18-2			San Lorenzo 2			16:00
163-18-3			Cocorna			14:00

### 3. RESULTADOS DE LABORATORIO

Parámetro	Código de laboratorio	Unidades	LDM*	Fecha de Análisis	Valor Obtenido
Alcalinidad Total	163-18-1	mg/L CaCO <sub>2</sub>	1,00	2018/11/02	6,96 ± Y*0,072
Coliformes Termotolerantes		NPM/100mL	1	2018/11/06 10:30	3 X 10 <sup>1</sup>
Color Aparente		UPC	5	2018/11/02	5
*Absorbancia a 436nm		m <sup>-1</sup>	0,001		0,148
*Absorbancia a 525nm					0,064
*Absorbancia a 620nm					0,038
Nitratos		mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	0,023	2018/11/06	0,105 ± Y*0,098
Nitritos		mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	0,015		0,025 ± Y*0,072
Nitrógeno Amoniacal		mg/L NH <sub>3</sub> -N	1,00	2018/11/06	< LDM
Nitrógeno Total Kjeldahl		mg/L N	1,00	2018/11/02	< LDM
Ortofosfatos		mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	0,050	2018/11/02	< LDM
Sólidos Suspendedos Totales		mg/L SST	5	2018/11/07	< LDM
Sólidos Totales		mg/L ST	25	2018/11/06 10:30	28 ± Y*0,136
Coliformes Totales		NMP/100mL	1	2018/11/06 10:30	157 X 10 <sup>1</sup>
E. coli					2 X 10 <sup>1</sup>

Alcalinidad Total	163-18-2	mg/L CaCO <sub>2</sub>	1,00	2018/11/02	7,24 ± Y*0,072
Coliformes Termotolerantes		NPM/100mL	1	2018/11/06 10:30	6 X 10 <sup>1</sup>
Color Aparente		UPC	5	2018/11/02	15

 <b>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA</b> Facultad de Ingeniería	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>		 Acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025:2005. Resolución No. 0555 de marzo 24 de 2017
	<b>LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b>		
Código: F-GI-012	Versión: 01	Página 2 de 3	

Parámetro	Código de laboratorio	Unidades	LDM*	Fecha de Análisis	Valor Obtenido	
*Absorbancia a 436nm	163-18-2	m <sup>-1</sup>	0,001	2018/11/02	0,321	
*Absorbancia a 525nm					0,144	
*Absorbancia a 620nm					0,076	
Nitratos		mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	0,023		2018/11/06	0,097 ± Y*0,098
Nitritos		mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	0,015			0,030 ± Y*0,072
Nitrógeno Amoniacal		mg/L NH <sub>2</sub> -N	1,00		2018/11/06	< LDM
Nitrógeno Total Kjeldahl		mg/L N	1,00			< LDM
Ortofosfatos		mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	0,050		2018/11/02	< LDM
Sólidos Suspendidos Totales		mg/L SST	5		2018/11/07	< LDM
Sólidos Totales		mg/L ST	25			32 ± Y*0,136
Coliformes Totales					2018/11/06	140 X 10 <sup>4</sup>
E. coli		NMP/100mL	1		10:30	6 X 10 <sup>4</sup>

Alcalinidad Total	163-18-3	mg/L CaCO <sub>2</sub>	1,00	2018/11/02	5,16 ± Y*0,072	
Coliformes Termotolerantes		NPM/100mL	1	2018/11/06 10:30	11	
Color Aparente		UPC	5	2018/11/02	10	
*Absorbancia a 436nm		m <sup>-1</sup>	0,001		0,408	
*Absorbancia a 525nm					0,178	
*Absorbancia a 620nm					0,102	
Nitratos		mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	0,023		2018/11/06	0,085 ± Y*0,098
Nitritos		mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	0,015			0,027 ± Y*0,072
Nitrógeno Amoniacal		mg/L NH <sub>2</sub> -N	1,00		2018/11/06	< LDM
Nitrógeno Total Kjeldahl		mg/L N	1,00			< LDM
Ortofosfatos		mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	0,050		2018/11/02	< LDM
Sólidos Suspendidos Totales		mg/L SST	5		2018/11/07	< LDM
Sólidos Totales	mg/L ST	25			25 ± Y*0,136	
Coliformes Totales				2018/11/06	326 X 10 <sup>4</sup>	
E. coli	NMP/100mL	1		10:30	9	

\*LDM: Límite de detección del método.

#### Métodos Analíticos:

Alcalinidad Total: Titulométrico (SM 2320-B)

Coliformes Termotolerantes: Sustrato enzimático (SM 9223 B Modificado)

Color Aparente: Comparación Visual (SM 2120-B)

Color Real (Medidas de absorbancia a 436nm, 525nm, 620nm): Espectrofotométrico (ISO 7887:2011)

Nitratos: Cromatografía Iónica (SM 4110-B)

Nitritos: Cromatografía Iónica (SM 4110-B)

Nitrógeno Amoniacal: Titulométrico - Destilación Preliminar (SM 4500-NH3-B, C)

Nitrógeno Total Kjeldahl: Titulométrico - Micro Kjeldahl (SM 4500-Norg-C)

Ortofosfatos: Espectrofotométrico - Ácido Ascórbico (SM 4500-P-E)

Sólidos Suspendidos Totales: Gravimétrico - Secado (103-105)°C (SM 2540-D)



Sólidos Totales: Gravimétrico - Secado (103-105)°C (SM 540-B)

Coliformes Totales: Sustrato enzimático (SM 9223-B)

E. coli: Sustrato enzimático (SM 9223-B)

#### 4. OBSERVACIONES

- A solicitud del cliente se realizaron las anteriores mediciones.
- Cuando no se detecta la presencia de los compuestos analizados no se reporta ND (No se Detecta) ni cero, sino <LDM (Menor del Límite de Detección del Método).

 <b>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA</b> Facultad de Ingeniería	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	 Acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025:2005. Resolución No. 0555 de marzo 24 de 2017
<b>LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b>		
Código: F-GI-012	Versión: 01	Página 1 de 3

**Informe de resultados:** Radicado Nro. 163-19  
**Versión:** 1  
**Fecha Informe:** 20 de Noviembre de 2018

### 1. INFORMACIÓN DEL USUARIO

<b>Cliente:</b>	Universidad de Antioquia		
<b>NIT/C.C.:</b>	890980040		
<b>Dirección:</b>	Calle 67 # 53-108	<b>Teléfono:</b>	2198600
<b>Solicitado por:</b>	Fabio Vélez Macías	<b>Dependencia / Cargo:</b>	Grupo GEOLIMNA

### 2. IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS RECIBIDAS

<b>Fecha de recepción:</b>	2018-11-06	<b>Hora:</b>	08:42
----------------------------	------------	--------------	-------

Código de laboratorio	Tipo de muestra	Procedencia	Sitio/Lugar de muestreo	Muestreado por	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
163-19-1	Agua cruda superficial	Carmen de Viboral - Antioquia	Guarinó	Cristian Botero Alvarez	2018-11-02	12:00

### 3. RESULTADOS DE LABORATORIO

Parámetro	Código de laboratorio	Unidades	LDM*	Fecha de Análisis	Valor Obtenido
Alcalinidad Total	163-19-1	mg/L CaCO <sub>2</sub>	1,00	2018/11/06	14,7 ± Y*0,072
Cotiformes Termotolerantes		NPM/100mL	1	2018/11/06 09:00	10
Color Aparente		UPC	5	2018/10/01	15
*Absorbancia a 436 nm		m <sup>-1</sup>	0,001	2018/11/02	0,291
*Absorbancia a 525 nm					0,100
*Absorbancia a 620nm					0,039
Nitratos		mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	0,023	2018/11/06	0,062 ± Y*0,098
Nitritos		mg/L NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	0,015		< LDM
Nitrógeno Amoniacal		mg/L NH <sub>3</sub> -N	1,00	2018/11/06	< LDM
Nitrógeno Total Kjeldahl		mg/L N	1,00	2018/11/06	< LDM
Ortofosfatos		mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	0,050	2018/11/02	< LDM
Sólidos Suspendidos Totales		mg/L SST	5	2018/11/07	< LDM
Sólidos Totales		mg/L ST	25		45 ± Y*0,136
Coliformes Totales		NMP/100mL	1	2018/11/06 09:00	176
E. coli					9

\*LDM: Límite de detección del método.

#### Métodos Analíticos:

**Alcalinidad Total:** Titulométrico (SM 2320-B)

**Coliformes Termotolerantes:** Sustrato enzimático (SM 9223 B Modificado)



## ANEXO B. Análisis de laboratorio variables fisicoquímicas – febrero 2019



### INFORME DE RESULTADOS

Código: F3-GE-PR-001-GDCON      Aprobó: JHOGG  
 Versión: 13      Informe: 19-0128  
 Fecha de emisión: 2018/10/26      Página: 1 de 3



NÚMERO DE INFORME: 19-0128

FECHA DE EMISIÓN: 2019-03-06

LABORATORIO: Grupo Diagnóstico y Control de la Contaminación - GDCON

TELÉFONO: (4) 2196571

DIRECCIÓN: Calle 62 #52-59 Torre 2. Laboratorio 232. Sede de Investigación Universitaria - SIU Universidad de Antioquia. Medellín, Antioquia

FECHA DE RECEPCIÓN: 13/02/2019

COTIZACIÓN: COT 0103

Aprueban este informe:

CARGO:	PROFESIONAL:	MATRÍCULA:
Coordinador Físicoquímica	Jhonnathan Guisao García	05254-361108 ANT
Coordinador Instrumental	Duvan Esteban Hoyos O.	PQ-4431
Coordinador Microbiología	Catalina Escobar Tovar.	Resolución N° 5-3060-13
Coordinador Muestreos	Jhon Edilson Castrillon C.	Acta de grado 88634 - UdeA
Director GDCON	Gustavo Peñuela M.	PQ-0316

FIRMA:

*Jhonnathan Guisao G.*  
 \_\_\_\_\_  
*Duvan E. Hoyos O.*  
 \_\_\_\_\_  
*Catalina Escobar T.*  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Notas:

- Los resultados consignados en el presente informe sólo están relacionados con el ítem ensayado.
- Este informe no deberá ser reproducido parcialmente sin aprobación escrita del GDCON.

#### INFORMACIÓN DEL CLIENTE

ENTIDAD:	Grupo de Investigación GEOLIMNA	TELÉFONO:	2198600
NIT:	ND	CONTACTO:	NESTOR AGUIRRE
DIRECCIÓN:	Calle 67 #53-108	EMAIL:	nestor.aguirre@udea.edu.co

#### INFORMACIÓN DE TOMA Y RECEPCIÓN DE LA MUESTRA

CÓDIGO DE MUESTREO:	N/A	FECHA DE MUESTREO:	N/A
PLAN DE MUESTREO:	N/A	PROCEDIMIENTO:	GE-PR-004-GDCON
LUGAR DE MUESTREO:	N/A		

Condiciones ambientales: N/A

Especificaciones de muestreo: N/A

Notas:

- La toma de la muestra no fue realizada por el laboratorio. El análisis partió de la muestra tal y como fue recibida.

INFORME DE RESULTADOS

Código: F3-GE-PR-001-GDCON

Aprobó: JHOGG

Versión: 13

Informe: 19-0128

Fecha de emisión: 2018/10/26

Página: 2 de 3

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO INTERNO	DESCRIPCIÓN/MUESTRA	PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA	RESULTADO	INCERTIDUMBRE	FECHA DE ANÁLISIS
19-0128-1	Río Cocorná-AC	- Coliformes totales*	SM 9223 B; Ed. 2017, Sustrato enzimático multicelda, 35°C/24h, Colilert	980,4 NMP/100mL	4,6553	13/02/2019
19-0128-1	Río Cocorná-AC	- E.coli*	SM 9223 B; Ed. 2017, Sustrato enzimático multicelda, 35°C/24h, Colilert	52,8 NMP/100mL	No reportada	13/02/2019
19-0128-1	Río Cocorná-AC	Color aparente (AC)*(AT-AP)**	Método Interno (basado en SM 2120 C; Ed. 2017)	67,1 UC'	2,8182	13/02/2019
19-0128-1	Río Cocorná-AC	Fósforo Total (AC-AR)*	SM 4500 P B; E; Ed. 2017	<0,100 mg P/L'	635,985	18/02/2019
19-0128-1	Río Cocorná-AC	Nitrógeno Total Kjeldahl (AC-AR)*	SM 4500 Norg B; Ed. 2012, SM 4500 NH3 B; C; Ed. 2012	< 5,000 mg N/L'	32,304	18/02/2019
19-0128-1	Río Cocorná-AC	Sólidos Suspendedos Totales (AC-AR)*	SM 2540 D; Ed. 2017	<25,0 mg/L'	349,287	14/02/2019
19-0128-1	Río Cocorná-AC	Sólidos Totales (AC-AR)*	SM 2540 B; Ed. 2017	<50,0 mg/L'	270,546	18/02/2019
19-0128-1	Río Cocorná-AC	Color Real (AR) Absorbancia a 436nm	ISO 7887:2011 (E)	1,64 m-1'	No reportada	13/02/2019
19-0128-1	Río Cocorná-AC	Color Real (AR) Absorbancia a 525nm	ISO 7887:2011 (E)	0,46 m-1'	No reportada	13/02/2019
19-0128-1	Río Cocorná-AC	Color Real (AR) Absorbancia a 620nm	ISO 7887:2011 (E)	0,16 m-1'	No reportada	13/02/2019
19-0128-1	Río Cocorná-AC	Coliformes Termotolerantes (AC-AR)	SM 9223 B; Ed. 2017 NMP Modificado, Enzima sustrato multicelda, 44.5°C/24h, Colilert	33,6 NMP/100mL'	No reportada	13/02/2019
19-0128-1	Río Cocorná-AC	Potencial Redox (ORP) (AC-AP-AT)	SM 2580 B; Ed. 23 de 2017	<220,00 mV'	361,4	13/02/2019
19-0128-2	Río San Lorenzo-AC	- Coliformes totales*	SM 9223 B; Ed. 2017, Sustrato enzimático multicelda, 35°C/24h, Colilert	2419,6 NMP/100mL	11,4892	13/02/2019
19-0128-2	Río San Lorenzo-AC	- E.coli*	SM 9223 B; Ed. 2017, Sustrato enzimático multicelda, 35°C/24h, Colilert	179,3 NMP/100mL	No reportada	13/02/2019

## INFORME DE RESULTADOS

Código: F3-GE-PR-001-GDCON  
Versión: 13

Aprobó: JHOGG  
Informe: 19-0128

Fecha de emisión: 2018/10/26

Página: 3 de 3

CÓDIGO INTERNO	DESCRIPCIÓN/MUESTRA	PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA	RESULTADO	INCERTIDUMBRE	FECHA DE ANÁLISIS
19-0128-2	Río San Lorenzo-AC	Color aparente (AC)*(AT-AP)**	Método Interno (basado en SM 2120 C; Ed. 2017)	27,5 UC'	1,155	13/02/2019
19-0128-2	Río San Lorenzo-AC	Fósforo Total (AC-AR)*	SM 4500 P B; E; Ed. 2017	<0,100 mg P/L'	635,985	18/02/2019
19-0128-2	Río San Lorenzo-AC	Nitrógeno Total Kjeldahl (AC-AR)*	SM 4500 Norg B; Ed. 2012, SM 4500 NH3 B; C; Ed. 2012	< 5,000 mg N/L'	32,304	18/02/2019
19-0128-2	Río San Lorenzo-AC	Sólidos Suspendidos Totales (AC-AR)*	SM 2540 D; Ed. 2017	<25,0 mg/L'	4,325	14/02/2019
19-0128-2	Río San Lorenzo-AC	Sólidos Totales (AC-AR)*	SM 2540 B; Ed. 2017	<50,0 mg/L'	6,7	18/02/2019
19-0128-2	Río San Lorenzo-AC	Color Real (AR) Absorbancia a 436nm	ISO 7887:2011 (E)	0,4 m-1'	No reportada	13/02/2019
19-0128-2	Río San Lorenzo-AC	Color Real (AR) Absorbancia a 525nm	ISO 7887:2011 (E)	0,12 m-1'	No reportada	13/02/2019
19-0128-2	Río San Lorenzo-AC	Color Real (AR) Absorbancia a 620nm	ISO 7887:2011 (E)	<0,1 m-1'	No reportada	13/02/2019
19-0128-2	Río San Lorenzo-AC	Coliformes Termotolerantes (AC-AR)	SM 9223 B; Ed. 2017 NMP Modificado, Enzima sustrato multicelda, 44.5°C/24h, Colilert	130,9 NMP/100mL'	No reportada	13/02/2019
19-0128-2	Río San Lorenzo-AC	Potencial Redox (ORP) (AC-AP-AT)	SM 2580 B; Ed. 23 de 2017	<220,00 mV'	324,3	13/02/2019

\*Acreditado por el IDEAM. | \*\*Acreditado por el ONAC. | \*\*\*Acreditado por el IDEAM y el ONAC. | Los Parámetros sin asterisco NO se encuentran acreditados.  
ND: No disponible. | NA: No Aplica. | Se utiliza la coma (,) como separado decimal.

### OBSERVACIONES, OPINIONES E INTERPRETACIONES

N/A

— FINAL DEL INFORME DE RESULTADOS 19-0128 —

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO INTERNO	DESCRIPCIÓN/MUESTRA	PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA	RESULTADO	INCERTIDUMBRE	FECHA DE ANÁLISIS
19-0134-1	Río Guarinó-AC	- Coliformes totales*	SM 9223 B; Ed. 2017, Sustrato enzimático multicelda, 35°C/24h, Colilert	54.5*10 <sup>6</sup> NMP/100mL	No reportado	14/02/2019
19-0134-1	Río Guarinó-AC	- E.coli*	SM 9223 B; Ed. 2017, Sustrato enzimático multicelda, 35°C/24h, Colilert	10.9*10 <sup>6</sup> NMP/100mL	No reportado	14/02/2019
19-0134-1	Río Guarinó-AC	Color aparente (AC)*(AT-AP)**	Método Interno (basado en SM 2120 C; Ed. 2017)	No reportado, Turbiedad >3,48NTU	No reportado	14/02/2019
19-0134-1	Río Guarinó-AC	Fósforo Total (AC-AR)*	SM 4500 P B; E; Ed. 2017	<0,100 mg P/L'	No reportado	18/02/2019
19-0134-1	Río Guarinó-AC	Nitrógeno Total Kjeldahl (AC-AR)*	SM 4500 Norg B; Ed. 2012, SM 4500 NH3 B; C; Ed. 2012	< 5,000 mg N/L'	No reportado	18/02/2019
19-0134-1	Río Guarinó-AC	Sólidos Suspendedos Totales (AC-AR)*	SM 2540 D; Ed. 2017	<25,0 mg/L'	No reportado	14/02/2019
19-0134-1	Río Guarinó-AC	Sólidos Totales (AC-AR)*	SM 2540 B; Ed. 2017	64,0 mg/L'	No reportado	18/02/2019
19-0134-1	Río Guarinó-AC	Color Real (AR) Absorbancia a 436nm	ISO 7887:2011 (E)	0,36 m-1'	No reportado	14/02/2019
19-0134-1	Río Guarinó-AC	Color Real (AR) Absorbancia a 525nm	ISO 7887:2011 (E)	0,12 m-1'	No reportado	14/02/2019
19-0134-1	Río Guarinó-AC	Color Real (AR) Absorbancia a 620nm	ISO 7887:2011 (E)	<0,1 m-1'	No reportado	14/02/2019
19-0134-1	Río Guarinó-AC	Coliformes Termotolerantes (AC-AR)	SM 9223 B; Ed. 2017 NMP Modificado, Enzima sustrato multicelda, 44.5°C/24h, Colilert	1732.9 NMP/100mL'	No reportado	14/02/2019
19-0134-1	Río Guarinó-AC	Potencial Redox (ORP) (AC-AP-AT)	SM 2580 B; Ed. 23 de 2017	271,4mV'	No reportado	14/02/2019



\*Acreditado por el IDEAM. | \*\*Acreditado por el ONAC. | \*\*\*Acreditado por el IDEAM y el ONAC. | Los Parámetros sin asterisco NO se encuentran acreditados.  
ND: No disponible. | NA: No Aplica. | Se utiliza la coma (,) como separado decimal.

OBSERVACIONES, OPINIONES E INTERPRETACIONES

Teniendo en cuenta las interferencias presentadas en la muestra 19-0134-1, en la cual se obtuvo una turbiedad superior a 3.48NTU, se informa que el resultado de color aparente 50,16UC es de carácter informativo y se hace descargo de responsabilidad al cliente en el uso de esta información.

— FINAL DEL INFORME DE RESULTADOS 19-0134 —

## ANEXO C. Análisis de laboratorio variables fisicoquímicas – marzo 2019

 <b>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA</b> Facultad de Ingeniería	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	 <b>IDEAM</b> Instituto Departamental de Estudios Ambientales Acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025:2005. Resolución No. 0555 de marzo 24 de 2017
<b>LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b>		
Código: F-GI-012	Versión: 01	Página 1 de 3

Informe de resultados: Radicado Nro. 373-1

Versión: 1

Fecha Informe: 8 de Abril de 2019

### 1. INFORMACIÓN DEL USUARIO

<b>Cliente:</b>	Universidad de Antioquia		
<b>NIT/C.C.:</b>	890980040		
<b>Dirección:</b>	Calle 67 # 53-108	<b>Teléfono:</b>	2198600
<b>Solicitado por:</b>	Fabio Vélez Macías	<b>Dependencia / Cargo:</b>	Grupo GEOLIMNA

### 2. IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS RECIBIDAS

<b>Fecha de recepción:</b>	2019-03-27	<b>Hora:</b>	11:12
----------------------------	------------	--------------	-------



  

Código de laboratorio	Tipo de muestra	Procedencia	Sitio/Lugar de muestreo	Muestreado por	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
373-1-1	Agua cruda superficial	Cocorná - Antioquia	Río Cocorná	Cristian Botero	2019-03-26	13:00
373-1-2		Carmen de Viboral	Río San Lorenzo			16:00

### 3. RESULTADOS DE LABORATORIO

Parámetro	Código de laboratorio	Unidades	LCM*	Fecha de Análisis	Valor Obtenido
Alcalinidad Total	373-1-1	mg/L CaCO <sub>2</sub>	1,00	2019-03-27	3,02
Color Aparente		UPC	5	2019-03-27	25
Color Verdadero		UPC	5,00	2019-03-28	21,2
Fósforo Total		mg/L P	0,050	2019-04-02	<LCM
Nitrógeno Kjeldahl		mg/L N	1,00	2019-04-01	1,17
Sólidos Suspendidos Totales		mg/L SST	5	2019-03-29	<LCM
Sólidos Totales		mg/L ST	25	2019-03-29	30
Coliformes Termotolerantes		NPM/100mL	1	2019-03-27 13:30	17
Coliformes Totales		NMP/100mL	1	2019-03-27 13:30	1733
<i>E. coli</i>		NMP/100mL	1	2019-03-27 13:30	96

\*LCM: Límite de detección del método.

 <b>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA</b> Facultad de Ingeniería	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	 Acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025:2005. Resolución No. 0555 de marzo 24 de 2017
<b>LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b>		
Código: F-GI-012	Versión: 01	Página 2 de 3

Parámetro	Código de laboratorio	Unidades	LCM*	Fecha de Análisis	Valor Obtenido
Alcalinidad Total	373-1-2	mg/L CaCO <sub>2</sub>	1,00	2019-03-27	7,30
Color Aparente		UPC	5	2019-03-27	15
Color Verdadero		UPC	5,00	2019-03-28	7,83
Fósforo Total		mg/L P	0,050	2019-04-02	<LCM
Nitrógeno Kjeldahl		mg/L N	1,00	2019-04-01	<LCM
Sólidos Suspendedos Totales		mg/L SST	5	2019-03-29	<LCM
Sólidos Totales		mg/L ST	25	2019-03-29	32
Coliformes Termotolerantes		NPM/100mL	1	2019-03-27 13:30	1300
Coliformes Totales		NMP/100mL	1	2019-03-27 13:30	548 X10 <sup>*1</sup>
<i>E. coli</i>		NMP/100mL	1	2019-03-27 13:30	65 X10 <sup>*1</sup>

\*LCM: Límite de detección del método.

#### Métodos Analíticos:

**Alcalinidad Total:** Titulométrico (SM 2320-B). Expresión de incertidumbre: Y\*0,072

**Color Aparente:** Comparación Visual (SM 2120-B)

**Color Verdadero:** Espectrofotométrico (SM 2120-C). Expresión de incertidumbre: Y\*0,116

**Fósforo Total:** Espectrofotométrico - Ácido Ascórbico (SM 4500-P-B,E). Expresión de incertidumbre: Y\*0,086

**Nitrógeno Kjeldahl:** Titulométrico - Micro Kjeldahl (SM 4500-Norg-C). Expresión de incertidumbre: Y\*0,094

**Sólidos Suspendedos Totales:** Gravimétrico - Secado (103-105)°C (SM 2540-D). Expresión de incertidumbre: Y\*0,106

**Sólidos Totales:** Gravimétrico - Secado (103-105)°C (SM 540-B). Expresión de incertidumbre: Y\*0,050



**Coliformes Termotolerantes:** Sustrato enzimático (SM 9223 B Modificado)

**Coliformes Totales:** Sustrato enzimático (SM 9223-B)

***E. coli*:** Sustrato enzimático (SM 9223-B)

#### 4. OBSERVACIONES

- A solicitud del cliente se realizaron las anteriores mediciones.
- Cuando no se detecta la presencia de los compuestos analizados no se reporta ND (No se Detecta) ni cero, sino <LCM (Menor del Límite de Cuantificación del Método).
- Cuando no se detecta la presencia de microorganismos en 100 mL se reporta (<1) que equivale a que no hubo recuperación de microorganismos en 100mL de muestra.
- Las muestras serán descartadas por el laboratorio 8 días después de generado el informe de resultados.
- Y\*f: expresión para estimar la incertidumbre de la medición, donde Y corresponde a la concentración reportada para el analista y f es el factor asociado a la incertidumbre del parámetro.
- El Laboratorio de Estudios Ambientales se encuentra autorizado por el Instituto Nacional de Salud de la Republica de Colombia, para la ejecución de análisis microbiológicos y fisicoquímicos en agua potable, ya que cumple con todos los requisitos exigidos en el Artículo 27 del Decreto 1575 de 2007 del Ministerio de la Protección Social.
- El Laboratorio de Estudios Ambientales se encuentra acreditado bajo la Norma ISO/IEC 17025:2005 por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM para producir información cuantitativa, física y química para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades

 <b>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA</b> Facultad de Ingeniería	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	 <b>IDEAM</b> <small>Instituto Departamental de Estadística y Censos</small> Acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025:2005. Resolución No. 0555 de marzo 24 de 2017
<b>LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b>		
Código: F-GI-012	Versión: 01	Página 1 de 3

Informe de resultados: Radicado Nro. 373-2  
 Versión: 1  
 Fecha Informe: 8 de Abril de 2019

### 1. INFORMACIÓN DEL USUARIO

<b>Cliente:</b>	Universidad de Antioquia		
<b>NIT/C.C.:</b>	890980040		
<b>Dirección:</b>	Calle 67 # 53-108	<b>Teléfono:</b>	2198600
<b>Solicitado por:</b>	Fabio Vélez Macías	<b>Dependencia / Cargo:</b>	Grupo GEOLIMNA

### 2. IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS RECIBIDAS

<b>Fecha de recepción:</b>	2019-03-28	<b>Hora:</b>	10:13
----------------------------	------------	--------------	-------

Código de laboratorio	Tipo de muestra	Procedencia	Sitio/Lugar de muestreo	Muestreado por	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
373-2-1	Agua cruda superficial	Carmen de Viboral - Antioquia	Río Guarinó	Cristian Botero	2019-03-27	10:30

### 3. RESULTADOS DE LABORATORIO

Parámetro	Código de laboratorio	Unidades	LCM*	Fecha de Análisis	Valor Obtenido
Alcalinidad Total	373-2-1	mg/L CaCO <sub>3</sub>	1,00	2019-03-28	17,0
Color Aparente		UPC	5	2019-03-28	25
Color Verdadero		UPC	5,00	2019-03-28	9,41
Fósforo Total		mg/L P	0,050	2019-04-02	<LCM
Nitrógeno Kjeldahl		mg/L N	1,00	2019-04-01	<LCM
Sólidos Suspendedos Totales		mg/L SST	5	2019-03-29	14
Sólidos Totales		mg/L ST	25	2019-03-29	71
Coliformes Termotolerantes		NPM/100mL	1	2019-03-28 12:00	172
Coliformes Totales		NMP/100mL	1	2019-03-28 12:00	201 X10 <sup>1</sup>
<i>E. coli</i>		NMP/100mL	1	2019-03-28 12:00	3 X10 <sup>1</sup>

\*LCM: Límite de detección del método.



#### Métodos Analíticos:

**Alcalinidad Total:** Titulométrico (SM 2320-B). Expresión de incertidumbre: Y\*0,072

**Color Aparente:** Comparación Visual (SM 2120-B)

**Color Verdadero:** Espectrofotométrico (SM 2120-C). Expresión de incertidumbre: Y\*0,116

## ANEXO D. Análisis de laboratorio variables fisicoquímicas – mayo 2019

 <b>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA</b> Facultad de Ingeniería	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	 <b>IDEAM</b> <small>INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES</small> Acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025:2005. Resolución No. 0555 de marzo 24 de 2017
<b>LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b>		
Código: F-GI-012	Versión: 01	Página 1 de 3

**Informe de resultados:** Radicado Nro. 373-3

**Versión:** 1

**Fecha Informe:** 24 de Mayo de 2019

### 1. INFORMACIÓN DEL USUARIO

<b>Cliente:</b>	Universidad de Antioquia		
<b>NIT/C.C.:</b>	890980040		
<b>Dirección:</b>	Calle 67 # 53-108	<b>Teléfono:</b>	2198600
<b>Solicitado por:</b>	Fabio Vélez Macías	<b>Dependencia / Cargo:</b>	Grupo GEOLIMNA

### 2. IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS RECIBIDAS

<b>Fecha de recepción:</b>	2019-05-15	<b>Hora:</b>	12:00
----------------------------	------------	--------------	-------

Código de laboratorio	Tipo de muestra	Procedencia	Sitio/Lugar de muestreo	Muestreado por	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
373-3-1	Agua cruda superficial	El Carmen de Viboral - Antioquia	Río Cocorná	Cristian Botero Alvarez	2019-05-14	12:45
373-3-2			Río San Lorenzo	Cristian Botero Alvarez		16:50



### 3. RESULTADOS DE LABORATORIO

Parámetro	Código de laboratorio	Unidades	LCM*	Fecha de Análisis	Valor Obtenido
Alcalinidad Total	373-3-1	mg/L CaCO <sub>2</sub>	1,00	2019-05-15	< LCM
Coliformes Termotolerantes		NPM/100mL	1	2019-05-15 13:40	20
Color Aparente		UPC	5	2019-05-15	55
Color Verdadero		UPC	5,00		54,4
Fósforo Total		mg/L P	0,050	2019-05-21	< LCM
Nitrógeno Kjeldahl		mg/L N	1,00		1,22
Sólidos Suspendidos Totales		mg/L SST	5	2019-05-17	< LCM
Sólidos Totales		mg/L ST	25		26
Coliformes Totales		NMP/100mL	1	2019-05-15 13:40	203 X10 <sup>1</sup>
<i>E. coli</i>					11

Alcalinidad Total	373-3-2	mg/L CaCO <sub>2</sub>	1,00	2019-05-15	5,86
Coliformes Termotolerantes		NPM/100mL	1	2019-05-16 09:00	10 X10 <sup>1</sup>
Color Aparente		UPC	5	2019-05-15	15
Color Verdadero		UPC	5,00		12,6
Fósforo Total		mg/L P	0,050	2019-05-21	< LCM
Nitrógeno Kjeldahl		mg/L N	1,00		< LCM
Sólidos Suspendidos Totales		mg/L SST	5	2019-05-17	< LCM
Sólidos Totales		mg/L ST	25		< LCM
Coliformes Totales		NMP/100mL	1	2019-05-16 09:00	52 X10 <sup>2</sup>
<i>E. coli</i>					5 X10 <sup>1</sup>

Ciudad Universitaria. Calle 67 No. 53-108, bloque 20, laboratorio 20-240/244/215 · Teléfonos 219 5512 -219 5507  
 Correo electrónico: [laboratoriosstudiosambientales@udea.edu.co](mailto:laboratoriosstudiosambientales@udea.edu.co) · Medellín - Colombia



 <b>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA</b> Facultad de Ingeniería	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	 <b>IDEAM</b> <small>INSTRUMENTACIÓN Y SISTEMAS DE MONITOREO AMBIENTAL</small> Acreditado bajo la norma ISO/IEC 17025:2005. Resolución No. 0555 de marzo 24 de 2017.
<b>LABORATORIO DE ESTUDIOS AMBIENTALES</b>		
Código: F-GI-012	Versión: 01	Página 1 de 2

Informe de resultados: Radicado Nro. 373-4  
 Versión: 1  
 Fecha Informe: 24 de Mayo de 2019

### 1. INFORMACIÓN DEL USUARIO

<b>Cliente:</b>	Universidad de Antioquia		
<b>NIT/C.C.:</b>	890980040		
<b>Dirección:</b>	Calle 67 # 53-108	<b>Teléfono:</b>	2198600
<b>Solicitado por:</b>	Fabio Vélez Macías	<b>Dependencia / Cargo:</b>	Grupo GEOLIMNA

### 2. IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS RECIBIDAS

<b>Fecha de recepción:</b>	2019-05-16	<b>Hora:</b>	08:30
----------------------------	------------	--------------	-------

Código de laboratorio	Tipo de muestra	Procedencia	Sitio/Lugar de muestreo	Muestreado por	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
373-4-1	Agua cruda superficial	El Carmen de Viboral - Antioquia	Río Guarinó	Cristian Botero Alvarez	2019-05-15	11:20

### 3. RESULTADOS DE LABORATORIO

Parámetro	Código de laboratorio	Unidades	LCM*	Fecha de Análisis	Valor Obtenido
Alcalinidad Total	373-4-1	mg/L CaCO <sub>2</sub>	1,00	2019-05-16	10,0
Coliformes Termotolerantes		NPM/100mL	1	2019-05-16 09:00	10 X 10 <sup>1</sup>
Color Aparente		UPC	5	2019-05-16	40
Color Verdadero		UPC	5,00		23,2
Fósforo Total		mg/L P	0,050	2019-05-21	0,056
Nitrógeno Kjeldahl		mg/L N	1,00		< LCM
Sólidos Suspendidos Totales		mg/L SST	5	2019-05-17	13
Sólidos Totales		mg/L ST	25		44
Coliformes Totales		NMP/100mL	1	2019-05-16 09:00	52 X 10 <sup>2</sup>
<i>E. coli</i>					5 X 10 <sup>1</sup>

\*LCM: Límite de cuantificación del método.

#### Métodos Analíticos:

**Alcalinidad Total:** Titulométrico (SM 2320-B). Expresión de incertidumbre: Y\*0,072

**Coliformes Termotolerantes:** Sustrato enzimático (SM 9223 B Modificado)

**Color Aparente:** Comparación Visual (SM 2120-B)

**Color Verdadero:** Espectrofotométrico (SM 2120-C). Expresión de incertidumbre: Y\*0,116

**Fósforo Total:** Espectrofotométrico - Ácido Ascórbico (SM 4500-P-B,E). Expresión de incertidumbre: Y\*0,086

**Nitrógeno Kjeldahl:** Titulométrico - Micro Kjeldahl (SM 4500-Norg-C). Expresión de incertidumbre: Y\*0,094

**Sólidos Suspendidos Totales:** Gravimétrico - Secado (103-105)°C (SM 2540-D). Expresión de incertidumbre: Y\*0,106

**Sólidos Totales:** Gravimétrico - Secado (103-105)°C (SM 540-B). Expresión de incertidumbre: Y\*0,050

**Coliformes Totales:** Sustrato enzimático (SM 9223-B)

***E. coli*:** Sustrato enzimático (SM 9223-B)

## ANEXO E. Pesos de las variables sobre los componentes del RDA

Tabla 20. Pesos de las variables sobre los componentes del RDA

Pesos	RDA1	RDA2
Caudal medio (m <sup>3</sup> /s)	0,522	0,678
pH (Unidades de pH)	-0,401	-0,479
Temperatura del Agua (°C)	-0,969	-0,209
Conductividad eléctrica (µS/cm)	-0,887	-0,218
Turbiedad (UNT)	-0,791	-0,132
Fosforo total (mg/L P)	-0,684	-0,206
Ortofosfatos (mg/L PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> P)	0,329	-0,350
Nitrógeno total soluble (mg/L N)	0,059	0,058
Diversidad	0,237	-1,148
Riqueza	1,067	-0,186
Número total individuos	0,704	0,937
Biomasa total	1,007	-0,187
Cocorná (Muestreo 2)	0,838	0,705
San Lorenzo (Muestreo 2)	0,174	-1,044
Guarinó (Muestreo 2)	-1,376	0,566
Cocorná (Muestreo 3)	0,662	0,859
San Lorenzo (Muestreo 3)	0,591	-0,930
Guarinó (Muestreo 3)	-0,861	0,225
Cocorná (Muestreo 4)	0,559	0,993
San Lorenzo (Muestreo 4)	0,421	-0,976
Guarinó (Muestreo 4)	-1,007	-0,398

La Tabla 20 proporcionan los pesos de las variables sobre cada componente del RDA, así, los valores cercanos a 1,0 o -1,0 son los que mayor influencia tuvieron sobre cada línea del componente.

### Ecuación 1:

$$\begin{aligned}
 &0,522 * \text{Caudal medio} - 0,401 * \text{pH} - 0,969 * \text{Temperatura} - 0,887 * \text{Conductividad} \\
 &\quad - 0,791 * \text{Turbiedad} - 0,684 * \text{Fósforo Total} + 0,329 * \text{Ortofosfatos} \\
 &\quad + 0,059 * \text{Nitrógeno total soluble} \\
 &= 0,237 * \text{diversidad} + 1,067 * \text{Riqueza} + 0,704 \\
 &\quad * \text{Número total de individuos} + 1,007 * \text{Biomasa}
 \end{aligned}$$

**Ecuación 2:**

$$\begin{aligned} &0,678 * \text{Caudalmedio} - 0,479 * \text{pH} - 0,209 * \text{Temperatura} - 0,218 * \text{Conductividad} \\ &- 0,132 * \text{Turbiedad} - 0,206 * \text{FósforoTotal} - 0,350 * \text{Ortofosfatos} \\ &+ 0,058 * \text{Nitrógenototalsoluble} \\ &= -1,148 * \text{diversidad} - 0,186 * \text{Riqueza} + 0,937 \\ &* \text{Número total de individuos} - 0,187 * \text{Biomasa} \end{aligned}$$