

**DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CUENCA BAJA
DEL RÍO TULUÁ, MUNICIPIO DE TULUÁ, DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL
CAUCA, MEDIANTE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS CON
BASE EN LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS LLEVADAS A CABO DURANTE EL
PERIODO ABRIL-JUNIO DE 2021.**

**Daniela Bolívar Sánchez
Cesar Rubén Morera Barragán**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN ORDENAMIENTO Y GESTIÓN INTEGRAL DE
CUENCAS HIDROGRÁFICAS
BOGOTÁ
2022**



**DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CUENCA BAJA
DEL RÍO TULUÁ, MUNICIPIO DE TULUÁ, DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL
CAUCA, MEDIANTE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS CON
BASE EN LAS ACTIVIDADES ANTRÓPICAS LLEVADAS A CABO DURANTE EL
PERIODO ABRIL-JUNIO DE 2021.**

**Daniela Bolívar Sánchez
Cesar Rubén Morera Barragán**

**Director
Betsy Bello Novoa**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN ORDENAMIENTO Y GESTIÓN INTEGRAL DE
CUENCAS HIDROGRÁFICAS
BOGOTÁ
2022**

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	10
INTRODUCCIÓN.....	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
2. JUSTIFICACIÓN.....	17
3. OBJETIVOS.....	19
3.1. OBJETIVO GENERAL	19
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4. ANTECEDENTES.....	20
5. MARCO CONCEPTUAL.....	29
5.1. MARCO LEGAL	35
6. METODOLOGÍA.....	37
6.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	37
6.2. FASES DE INVESTIGACIÓN.....	38
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	47
8. CONCLUSIONES.....	91
9. RECOMENDACIONES.....	93

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ventajas y limitaciones de los Índices de calidad del agua.	33
Tabla 2. Normatividad aplicada a la investigación.....	35
Tabla 3. Muestras realizadas en la cuenca baja del río Tuluá.....	42
Tabla 4. Calificación de la calidad del agua según los valores el ICA.	44
Tabla 5. Áreas de drenaje alrededor de la fuente del río Tuluá.....	53
Tabla 6. Actividades observadas subcuenca 1.....	56
Tabla 7. Actividades observadas subcuenca 2.....	57
Tabla 8. Actividades observadas subcuenca 3.....	58
Tabla 9. Actividades observadas subcuenca 4.....	61
Tabla 10. Actividades observadas subcuenca 5.....	63
Tabla 11. Actividades observadas subcuenca 6.....	64
Tabla 12. Actividades observadas subcuenca 7.....	67
Tabla 13. Programa para el manejo de residuos sólidos.....	84
Tabla 14. Programa para el manejo de aguas residuales.	87
Tabla 15. Programa de educación ambiental.	89



LISTADO DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Datos fisicoquímicos y microbiológicos mes de abril.	72
Cuadro 2. Datos fisicoquímicos y microbiológicos mes de mayo.	72
Cuadro 3. Datos fisicoquímicos y microbiológicos mes de junio.	73
Cuadro 4. Valores subíndice de las variables propuestas por el IDEAM.....	81
Cuadro 5. Cálculo Índice de Calidad de Agua ICA.....	81
Cuadro 6. Promedio del ICA para el río Tuluá.....	81

LISTADO DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1. Localización captación del río Tuluá	68
Imagen 2. Recorrido Bocatoma – PTAP.....	69



LISTADO DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfico 1. Esquema descriptivo de la Cuenca del río Tuluá.....	48
Gráfico 2. Conductividad vs Temperatura.	76
Gráfico 3. Oxígeno Disuelto Vs Temperatura.....	77
Gráfico 4. DBO ₅ vs DQO	78
Gráfico 5. Sólidos Suspendidos Totales Vs Turbiedad.....	79
Gráfico 6. Coliformes Totales Vs Coliformes Fecales.	80

LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

Pág.

Fotografía 1. Localización toma de muestras.	69
Fotografía 2. Toma de muestras cuenca baja río Tuluá.	70
Fotografía 3. Toma de muestras de agua cuenca baja del río Tuluá.	71

LISTADO DE MAPAS

Pág.

Mapa 1. Ubicación del departamento del Valle del Cauca en Colombia y localización y división política de la cuenca del río Tuluá	37
Mapa 2. . Cuenca del río Tuluá, división zona productora y zona consumidora.....	49
Mapa 3. Áreas de drenaje de la cuenca hidrográfica de río Tuluá.....	52
Mapa 4. Recorrido de inspección ocular a las subcuencas que conforman las áreas de drenaje de la fuente del río Tuluá.	54
Mapa 5. Recorrido subcuenca 1. Zona media del río Tuluá.	55
Mapa 6. Recorrido 2. Río San Marcos.	56
Mapa 7. Recorrido 3. Zona Alta Río Tuluá.	58
Mapa 8. Recorrido Subcuenca 4. Quebrada San Antonio.....	60
Mapa 9. Recorrido Subcuenca 5. Quebrada Nogales.	62
Mapa 10. Recorrido Subcuenca 6. Rioloro.....	64
Mapa 11. Recorrido subcuenca 7. Rio Cofre.....	66

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo general determinar el índice de la calidad del agua de la cuenca baja de la cuenca hidrográfica del río Tuluá, mediante el estudio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos, teniendo en cuenta las actividades antrópicas que se generan en los recorridos de la cuenca, las cuales repercuten de manera negativa en las propiedades de la fuente. La caracterización de las actividades evidenció que la mayor demanda del recurso se encuentra en la zona plana del río Tuluá es decir la cuenca baja, zona en la cual la agricultura y los usos de químicos para esta, infraestructura industrial, comercial y residencial, vertimientos directos al río, entre otras actividades, son las prácticas que más afectan la calidad de agua de esta fuente hídrica. La determinación del Índice de Calidad de agua ICA, para la fuente hídrica del río Tuluá arrojó resultados regulares para los meses de abril y mayo, sin embargo en el mes de junio su resultado fue aceptable teniendo en cuenta los valores establecidos por el IDEAM para este índice, lo anterior puede deberse a la influencia de los valores de los parámetros de OD, DQO y conductividad y su variabilidad en cada uno de los meses; los análisis microbiológicos realizados de coliformes totales y coliformes fecales repercutieron de gran manera en el ICA pues presentaron valores entre 5.700 a 32.000 U.F.C/100 cm³ para los coliformes Totales y 600 a 3200 U.F.C/100 cm³ para el parámetro de coliformes fecales. Finalmente considerando la importancia que posee la cuenca hidrográfica del río Tuluá, que además es fuente abastecedora del acueducto de la zona urbana del municipio de Tuluá, se formularon programas ambientales tales como el programa para el manejo de residuos sólidos, programa para el manejo de aguas residuales y programa de educación ambiental, los cuales permiten el control y mitigación de las afectaciones de la calidad de agua de la cuenca baja del río Tuluá y por ende su preservación teniendo en cuenta la participación de la comunidad, los sectores productivos de las áreas de influencia, entes territoriales y demás, que logren incidir de manera positiva dicha cuenca.

Palabras Clave: Índice de calidad de agua ICA, cuenca hidrográfica, actividades antrópicas, análisis fisicoquímicos y microbiológicos, contaminación, programas, río Tuluá.

ABSTRACT

The general objective of this work was to determine the water quality index of the lower basin of the Tuluá River hydrographic basin, through the study of physicochemical and microbiological analyses, taking into account the anthropic activities that are generated in the routes of the Tuluá River. basin, which negatively affect the properties of the source. The characterization of the activities showed that the greatest demand for the resource is found in the flat area of the Tuluá River, that is, the lower basin, an area in which agriculture and the uses of chemicals for it, industrial, commercial and residential infrastructure, direct dumping to the river, among other activities, are the practices that will most improve the quality of the water from this water source. The determination of the ICA Water Quality Index, for the water source of the Tuluá River, yielded regular results for the months of April and May, however in the month of June its result was acceptable taking into account the values established by the IDEAM for this index, the above may be due to the influence of the values of the DO, COD and conductivity parameters and their acquisition in each of the months; The microbiological analyzes of total coliforms and fecal coliforms had a great impact on the ICA, since values between 5,700 to 32,000 CFU/100 cm³ appeared for Total coliforms and 600 to 3,200 CFU/100 cm³ for the fecal coliform parameter. Finally, considering the importance of the hydrographic basin of the Tuluá River, which is also a supply source for the aqueduct of the urban area of the municipality of Tuluá, environmental programs were formulated, such as the program for the management of solid waste, the program for the management of water residues and environmental education program, which allow the control and mitigation of the affectations of the water quality of the lower basin of the Tuluá River and therefore, they were taken into account taking into account the participation of the community, the productive sectors of the areas of influence, territorial entities and others, that manage to have a positive impact on said basin.

Key Words: ICA water quality index, hydrographic basin, anthropic activities, physicochemical and microbiological analysis, pollution, programs, Tuluá river.

INTRODUCCIÓN

El deterioro a la Calidad del Agua es una problemática a nivel mundial, principalmente por el crecimiento de la población, el cual va de la mano con el incremento de las actividades domésticas, agrícolas e industriales que generan grandes cantidades de aguas residuales debido a las descargas sin tratamiento previo en las fuentes superficiales y subterráneas, ocasionando impactos ambientales y contaminación a las fuentes hídricas que son suministro de agua de los sistemas de abastecimiento.

La propagación de enfermedades de origen hídrico pone en riesgo la salud de la población, contaminantes presentes en el agua como bacterias, virus, parásitos, fertilizantes, pesticidas, fármacos, nitratos, fosfatos, plásticos, desechos fecales, entre otras sustancias peligrosas son invisibles a los ojos del ser humano, por este motivo se debe recurrir a análisis químicos y microbiológicos que permitan conocer su calidad. (Generalí, 2021).

El municipio de Tuluá se encuentra ubicado en la región central del departamento del Valle del Cauca. Es un motor comercial, demográfico, cultural, industrial, financiero y agropecuario del centro del departamento. Es el cuarto municipio más poblado del Valle del Cauca; tiene una población de 214,081 habitantes, el agua consumida por los habitantes de este municipio proviene del río Tuluá el cual tiene un área de incidencia de 91.494 ha, y está conformado por 8 áreas de drenaje, definidas en el estudio del Plan de Ordenamiento de la Cuenca Hidrográfica del río Tuluá, POMCH del río Tuluá, de las 91.494 ha del río Tuluá, 78.801 ha, hacen parte de la fuente abastecedora de agua para el Acueducto del Municipio de Tuluá, lo que equivale al 86,13% del área de la Cuenca del río Tuluá. (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2011).

La presente investigación tuvo como objetivo realizar el análisis a la calidad de agua de la cuenca baja del río Tuluá, ubicado en el municipio de Tuluá, corregimiento del Valle

del Cauca, con el fin de conocer los riesgos presentes en esta zona de la fuente hídrica que tienen influencia en la salud de la población del municipio y así poder plantear proyectos, programas y/o alternativas que permitan mitigar o prevenirlos, en las cuales puedan participar tanto la comunidad, los sectores productivos de las áreas de influencia, entes territoriales, entre otros, y así lograr afectar de manera positiva la cuenca hidrográfica y a su vez generar conciencia en aquellas personas que directa o indirectamente se encuentran involucradas en el cuidado y preservación del río Tuluá.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia, un porcentaje considerable de la población se encuentra afectada por la contaminación del agua debido a que en muchos municipios no se realiza tratamiento alguno a las aguas residuales domésticas e industriales antes de ser vertidas a los ríos. Según la universidad de Yale y Columbia en el análisis del Indicador de Desempeño Ambiental – EPI para el año 2020, Colombia ocupa el puesto número 63 en relación con 180 países a nivel de saneamiento y agua potable indicador que mide el grado en que los países protegen la salud humana de los riesgos ambientales asociados al agua. (Muñoz y Gómez, 2020).

Las aguas residuales son el resultado de la utilización del agua para diferentes fines. Como efecto de este uso, el agua recoge sólidos suspendidos y disueltos que alteran sus propiedades. Dependiendo del tipo de utilización, las aguas residuales presentan características muy diferentes. En especial, existe una marcada diferencia entre las aguas residuales urbanas o domésticas, originadas en el uso del agua en las casas, y las aguas residuales industriales, provenientes de fábricas. (Díaz, Esteller y López, 2005).

Se puede definir la contaminación del agua como una transformación, habitualmente generada por el hombre, de la calidad del agua, haciéndola inadecuada y peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural. (Díaz et al., 2005, p.420).

Para el caso de estudio, el río Tuluá recibe vertimientos de aguas residuales domésticas no tratadas por la población realizando vertimientos puntuales ilegales, además de los vertimientos de actividades agrícolas, de ganadería, entre otras actividades que deterioran gradualmente la calidad del recurso hídrico.

En informe entregado por la contraloría general sobre el estado de los recursos naturales en el municipio de Tuluá se manifiesta que “La urbanización en sectores aledaños a los ríos, la ganadería, las cocheras, entre otras actividades, se convierten en agentes perturbadores del recurso hídrico, siendo factores fuertes de presión que producen alteraciones al equilibrio y composición del agua: Pérdida de condiciones de calidad y cantidad (alteración de condiciones físicas y químicas)” (Contraloría Municipal de Tuluá, 2006).

Para el año 2007 se publicó un estudio en el cual se evaluó la calidad del agua de los ríos Tuluá y Morales. Los resultados obtenidos arrojaron que la calidad del agua de los ríos va disminuyendo a medida que estos hacen su recorrido a través de la zona urbana, lo que corrobora que a medida que va recibiendo un mayor número de vertimientos de agua residual y residuos sólidos, la calidad del agua se ve cada vez más comprometida. (Contraloría Municipal de Tuluá, 2006, p. 10).

De acuerdo a este estudio el Índice de Calidad del Agua para el río Tuluá se califica como de mala calidad con un valor promedio de 48,6 siendo el valor máximo 100. (Contraloría Municipal de Tuluá, 2006, p. 11).

Es preciso mencionar que desde este estudio no se evidencian evaluaciones del índice de calidad de agua de la fuente hídrica del río Tuluá, por lo cual no existe información actualizada que permita reconocer y dar solución a los riesgos asociados de la contaminación de la misma.

Por otra parte de acuerdo a estudio realizado por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca sobre la demanda de agua del río Tuluá, la cuenca se divide en dos zonas que corresponden a zona productora y zona consumidora. La zona productora se extiende desde el nacimiento del río hasta el sitio donde se localiza la estación

limnigráfica Mateguadua, con un área aproximada de 76.798 ha. La zona consumidora comprende desde la estación Mateguadua hasta la desembocadura de la corriente en la margen derecha del río Cauca y cuenta con un área de 14.697 ha. (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2017)

Esta zona consumidora o cuenca baja del río es la que realiza la principal extracción del recurso; (el acueducto de la ciudad se abastece de una boca toma sobre el río con capacidad de 400 l/s. y de 5 pozos con capacidad de 40 l/s cada uno, además de la extracción existente para el uso agrícola e industrial. (Arias, 2005).

Por lo anterior surge la necesidad de determinar la calidad de agua del río Tuluá con la finalidad de generar proyectos y estrategias que permitan la conservación de este recurso natural vital para el municipio de Tuluá. Dicho análisis fue enfocado en la cuenca baja o zona consumidora de la cuenca, teniendo en cuenta que dicha zona posee una distribución porcentual del uso del suelo de cultivos permanentes con 59% del área total, pastos para ganadería con 18%, cultivos transitorios con 9%, infraestructura residencial con 7%, vegetación boscosa y de protección natural con 4%, cuerpos de agua con 2% e infraestructura industrial y comercial con 1%; además de esto las zonas media y alta de la cuenca no presentan mayores conflictos en el uso del agua, mientras que la zona plana tiene grandes demandantes tales como el sector agrícola con el 81% de la asignación reglamentada, el 12% corresponde a la generación de energía, y en menor proporción para uso humano e industrial, 5 y 2% respectivamente. (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2017)

Pregunta Problema

¿Cuál es el índice de la calidad del agua de la cuenca baja de la cuenca hidrográfica del río Tuluá, ubicada en el municipio de Tuluá, departamento del Valle del Cauca y que estrategias se pueden implementar para su mejora y preservación?

2. JUSTIFICACIÓN

El agua es un líquido vital que se requiere en todos los aspectos de la vida. El aprovechamiento de los recursos hídricos favorece la productividad económica y el bienestar social de las naciones; además, todas las actividades sociales y económicas descansan de manera importante en el suministro y la calidad del agua potable. Con el incremento de la población y de las actividades económicas, muchos países están llegando con rapidez a una situación en que el agua escasea y/o tiene una calidad deteriorada, por lo que su desarrollo económico se ve obstruido. (Díaz et al., 2005, p.417)

La agenda 21 señala que el objetivo general de la conservación y la gestión de los recursos hídricos es: “velar porque se mantenga un suministro suficiente de agua de buena calidad para toda la población del planeta y preservar al mismo tiempo las funciones hidrológicas, biológicas y químicas de los ecosistemas, adaptando las actividades humanas a los límites de la capacidad de la naturaleza y combatiendo los vectores de las enfermedades relacionadas con el agua. Es preciso contar con tecnologías innovadoras, entre ellas las tecnologías locales mejoradas para aprovechar plenamente los recursos hídricos limitados y protegerlos contra la contaminación” (Organización de las Naciones Unidas, 2020, p.383)

Además de esto es de gran importancia ya que en esta cuenca hidrográfica se encuentra diferentes áreas naturales de protección como lo es el Parque Nacional Natural Las Hermosas, una zona de protección cuyo objetivo es la conservación del ecosistema páramo en el Macizo colombiano, en las jurisdicciones de los departamentos del Valle del Cauca y Tolima. (Arbeláez, 2007).

La cuenca también hace parte de la Reserva Forestal Central (de carácter Nacional), la cual establece como limite la divisoria de aguas de la cordillera central y 15 km en línea recta hacia el occidente e involucra los municipios de Tuluá, Guadalajara de Buga,

Florida, Pradera, Palmira, El Cerrito y Sevilla del departamento del Valle del Cauca. (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2011)

En el río Tuluá se encuentran las reservas naturales de la sociedad civil, con un área de 3.253,14 ha, de las cuales 2.014,31 se encuentran distribuidas en el municipio de Tuluá. Entre otras áreas de protección. (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2011).

Dicho lo anterior y teniendo en cuenta lo descrito en la problemática, con esta investigación se realizó la caracterización de la calidad de agua del río Tuluá y se calculó el índice de la calidad de agua de la cuenca baja del mismo, con el fin de conocer cuáles son las actividades que tienen mayor repercusión en sus propiedades, las cuales afectan y generan riesgo tanto a la población como a su ecosistema, para así definir y generar estrategias, alternativas y/o proyectos en los que puedan participar diferentes actores y que permitan su preservación a corto, mediano y largo plazo teniendo en cuenta la gran importancia que posee esta cuenca hidrográfica.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el Índice de la Calidad del Agua de la cuenca baja del río Tuluá, municipio de Tuluá, departamento del Valle del Cauca, mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos con base en las actividades antrópicas llevadas a cabo durante el periodo abril-junio de 2021.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las actividades que afecten la calidad de agua de la cuenca baja del río Tuluá, departamento del Valle del Cauca.
- Determinar el Índice de la Calidad del Agua de la cuenca baja del río Tuluá, departamento del Valle del Cauca a través del análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.
- Formular estrategias de mejora para la protección y conservación de la cuenca baja del río Tuluá, departamento del Valle del Cauca.

4. ANTECEDENTES

En investigación realizada por (Gómez, Naranjo, Martínez y Gallego, 2007), se efectuó un diagnóstico preliminar del estado actual del recurso hídrico de la parte alta de las cuencas hídricas Juan Cojo y El Salado, ubicadas en la vertiente Noreste del Valle de Aburrá, en jurisdicción del municipio de Girardota, este estudio se efectuó mediante la realización de una campaña de muestreo y aforo durante 4 días, de acuerdo a esto se evaluaron treinta sitios perturbados y no perturbados por las actividades agropecuarias de la zona. Los resultados mostraron que todos los puntos, a excepción de uno, presentan contaminación microbiológica con coliformes totales y fecales, lo que evidenció la existencia de ciertas deficiencias locales en la forma de disposición de desechos líquidos de tipo doméstico y agropecuario. Para los análisis fisicoquímicos y el cálculo del Índice de Calidad del Agua –ICA–, se concluyó que las corrientes poseen características típicas de aguas pertenecientes a la parte baja de cuencas no intervenidas, es decir, aunque su grado de contaminación no es alarmante, no poseen las características propias de nacimientos y/o aguas ubicadas en las partes altas de una cuenca, encontrándose algunas estaciones de muestreo con condiciones meso-eutróficas.

Por otra parte, estudio llevado a cabo por (Tambo, 2015), presenta la construcción de un índice de calidad del agua (ICA) como una herramienta de gestión para los humedales capitalinos; este estudio propone una escala de clasificación de 0 a 100, que permitió establecer de una forma rápida la calidad de los cuerpos de agua de los ecosistemas de humedal de Bogotá; el índice considera diez parámetros relacionados con la conservación de flora y fauna, los parámetros fueron seleccionados teniendo en cuenta el decreto 1076 de 2015. Como herramienta de análisis tomaron los registros históricos de monitoreo de calidad del agua de los humedales, y fue realizado un análisis factorial de componentes principales en la selección de parámetros para evidenciar el nivel de correlación entre las variables. Finalmente se determina el índice (ICAHUMB) con el cual

se valora la calidad ambiental de los humedales. El índice (ICAHUMB) fue validado tomando los datos de los registros históricos de calidad obtenidos en el año 2013 para cuatro puntos de muestreo, dos de ellos en el humedal Córdoba y los otros dos en el humedal Juan Amarillo, los resultados evidenciaron que ambos humedales tienen una calidad del agua baja, para el caso del humedal Córdoba los dos puntos eran afluentes que presentaban un elevado nivel de contaminación posiblemente por la presencia de aguas residuales y el Humedal Juan Amarillo aunque obtuvo un valor aceptable de calidad presentó excesivas concentraciones de algunos parámetros.

Otro estudio que sirve de base para el presente proyecto, fue el planteado para evaluar la calidad del agua del humedal de Santa María del Lago mediante el uso de índices biológicos y fisicoquímicos para su implementación en otros humedales, la metodología utilizada consistió en tres muestreos hidrobiológicos y fisicoquímicos en cuatro puntos seleccionados, los cuales fueron: Entrada Humedal (EH), Salida Humedal (SH), Frente Administración (FA) e Intermedio Entrada–Salida (IES). Los resultados de estas muestras evidenciaron diferencias en composición y abundancia entre las comunidades hidrobiológicas y los atributos del hábitat representados en las variables fisicoquímicas (T° , pH, DBO, turbiedad entre otros) e hidrobiológicas (índices de Riqueza, Abundancia, Uniformidad, Diversidad, Predominio, Serie números de Hill, BMWP/Col.) consideradas. En el estudio se obtuvo para la comunidad fitoplanctónica, la mayor presencia por parte de la clase Chlorophyceae con un porcentaje de 31,61% y 55 individuos, destacando para esta clase el género *Oocystis*; en la comunidad zooplanctónica la clase Monogonta obtuvo un porcentaje de 26,32% con la presencia de 33 individuos, sobresaliendo el género *Lecane*; para los macroinvertebrados la clase que obtuvo mayor porcentaje fue la clase Insecta con un valor de 42,06% y la presencia de 45 individuos, destacándose la familia Chironomidae en su estadio larval. Con respecto a la caracterización fisicoquímica se encontró que los parámetros de Oxígeno disuelto, Coliformes Totales, Temperatura, y DBO_5 se hallan en límites de calidad mala a muy mala, con valores promedio 4,6 mg/L O_2 para oxígeno disuelto, 35.691,7 NMP/100mL para coliformes totales, 18,6 $^{\circ}C$ para

temperatura y 11,3 mg/L O₂ para DBO₅ siendo estos los parámetros responsables de que el índice de calidad de agua no alcance valores de excelente. Teniendo en cuenta lo anterior, se considera que el Humedal Santa María del Lago se encuentra en un estado de mesotrofia a eutrofia, así mismo se concluye que la calidad del agua es mala en relación a lo obtenido en los ICA, todo lo anterior mediante el análisis de bioindicación de cada una de las comunidades hidrobiológicas y los respectivos taxa más abundantes para cada caso. (Fierro y Caballero, 2015).

En la microcuenca Caño Grande localizada en el municipio de Villavicencio-Meta, se realizó evaluación de las condiciones de la calidad de agua. Para este estudio se realizaron visitas de campo para la recolección de información primaria e identificación de los vertimientos de aguas residuales domésticas realizadas sobre un tramo de cuatro kilómetros del afluente, en donde se obtuvieron un total de 81 descargas. Posteriormente, se establecieron cuatro puntos de muestreo a lo largo del tramo estudiado de Caño Grande, en donde se tomaron muestras puntuales y compuestas en periodos de tiempo diferentes (octubre y diciembre), con el fin de evaluar in situ y en laboratorio, nueve parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua (Oxígeno Disuelto, pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitratos, Fosfatos, Temperatura, Turbidez, Sólidos Disueltos y Coliformes Fecales) requeridos para aplicar el índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (ÍNSF). El resultado de estos parámetros, permitió identificar la presencia de Coliformes Fecales con valores superiores a los 24.000 UFC en 100ml de agua; otro de los parámetros evaluados que muestra contaminación es la Turbidez, con valores de hasta 19 NTU, con lo cual se dificultan procesos de fotosíntesis en el agua. El índice NSF de los distintos puntos de muestreo en las dos temporadas climáticas (Alta pluviosidad y Baja pluviosidad), se determinó que la calidad del agua del afluente es buena en todos los puntos, excepto en el punto de muestreo 4 en temporada de baja pluviosidad que presentó una calidad media. (Guerrero, 2018)

Otro estudio similar, fue el realizado por (Martínez y Barrero, 2018), en el que el objetivo principal fue evaluar las condiciones de calidad del agua de la microcuenca La Argentina, ubicada en la ciudad de Villavicencio, departamento del Meta con el fin de formular estrategias de aprovechamiento y conservación de esta. Para el cumplimiento de este objetivo inicialmente procedieron a identificar el uso del suelo dentro del área de estudio para así analizar el grado de afectación o variación en las condiciones de calidad del agua. La evaluación la llevaron a cabo mediante monitoreos In Situ y monitoreos Ex Situ durante temporada húmeda (octubre y noviembre de 2017) y seca (enero y febrero de 2018), para la interpretación de los resultados utilizaron índices tales como Índice de calidad del agua “ICA” e índices de contaminación “ICO’s, por mineralización “ICOMI” y materia orgánica “ICOMO”. En los resultados obtenidos las condiciones de calidad del agua de la microcuenca en temporada húmeda, para cuenca alta y baja, son aceptables (78,77 – 73,21), y cuenca media regular (69,06). Asimismo, para temporada seca, se encontraron condiciones de calidad del agua aceptables (76,29, 75,35, 72,98) en los tres tramos. Por otra parte, el índice de contaminación por mineralización no presento cambios considerables en el tiempo. Los valores obtenidos demuestran que la microcuenca presenta contaminación alta (0,758) por mineralización. Por el contrario, el ICOMO presento baja contaminación en los tres tramos (0,288), y temporadas evaluadas.

Además de lo anterior, en una investigación para determinar el efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del río Bogotá a lo largo del municipio de Villapinzón, Colombia, se midieron 26 variables fisicoquímicas y 4 microbiológicas en nueve estaciones de la parte alta del río Bogotá. Las variables químicas incluyeron cromo, plomo y mercurio y las microbiológicas Escherichia Coli, coliformes totales, Enterococcus faecalis y Pseudomona aeruginosa. En todas las estaciones las variables microbiológicas presentaron valores por encima del nivel saludable. La concentración de cromo total en la zona de influencia de las curtiembres supero el nivel máximo que tiene efecto adverso sobre la salud humana, encontrando un progresivo deterioro de la calidad del agua del río Bogotá, lo cual es ocasionado por las

actividades antrópicas que se realizan en Villapinzón concluyendo que posiblemente esta sea la causa de la alta prevalencia de enfermedades infecciosas y parasitarias del sistema digestivo en niños >5 años del municipio. (Díaz y Granada, 2018).

En investigación llevada a cabo por (Montoya, 2018), se determinó la calidad fisicoquímica del caño Pilatos en un tramo aguas arriba y aguas abajo de la descarga de las aguas de recambio de la piscícola El Manantial, ubicada en el municipio de Restrepo en el departamento del Meta”. Para alcanzar este resultado la metodología implementada inició con la identificación del proceso productivo piscícola desarrollado en el predio el Manantial con el fin de conocer el manejo del agua captada para la actividad, así como, su funcionamiento en cuanto a especies cultivadas, periodos de producción, entre otros; posteriormente, después de conocer los puntos donde se realizaban los vertimientos de las aguas de recambio de los estanques, se realizaron dos monitoreos de cantidad y de calidad, el primero en época de lluvia y el segundo en época seca, tanto en los vertimientos de la piscícola como en la fuente hídrica receptora. Los parámetros medidos correspondieron a color aparente, color real (436 nm, 525 nm y 620 nm), temperatura, pH, turbiedad, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos totales (SST), fósforo total (PT), nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, coliformes totales y coliformes fecales. Como resultado obtuvieron cargas contaminantes mayores en época seca para DBO_5 - 52,66 kg/día -, DQO - 115,53 kg/día -, SDT - 186,38 kg/día - y coliformes totales 211.205 NMP/100mL, mientras que para época de lluvia prevalecieron mayores los SST -129,75 kg/día-, PT -2,11 kg/día-, nitratos - 2,35 kg/día-, Nitrógeno amoniacal - 6,56 kg/día- y coliformes fecales 8.111 NMP/100mL. Las concentraciones reportadas para los parámetros fisicoquímicos de los vertimientos de la piscícola el Manantial cumplieron con los valores máximos permisibles en el artículo 15 de la resolución 0631 del 2015. Los parámetros que presentaron la situación más crítica para el estudio fueron DBO_5 , nitrógeno amoniacal y coliformes fecales y color, por esta razón propusieron como

acción de mejora la implementación de una laguna de oxidación para el tratamiento de los efluentes piscícolas.

Estudio desarrollado por (Otálora, 2019), en el cual desarrolló una estrategia de gestión de la calidad físicoquímica del agua tomando como estudio de caso las microcuencas quebradas Carbonera y Quijana en el municipio de la Mesa, Cundinamarca; esta investigación inició con una fase de diagnóstico teniendo en cuenta lo establecido en la metodología planteada en la Guía Metodológica para la Formulación de los Planes de Manejo Ambiental de Microcuencas PMAM, posteriormente se realizó la caracterización del componente físico (cartografía base, pendiente, hidrografía, morfometría, climatología, zonificación climática, hidrología, calidad del agua, cobertura y uso de la Tierra, suelos y su capacidad de uso), para la caracterización del agua el diseño de muestreo empleado fue un diseño estratificado en el cual se dividió la microcuenca en parte alta, media y baja, y se tomó una muestra por punto para los análisis físicoquímicos teniendo en cuenta la influencia de zonas agrícolas, urbanas o industriales, puntos de descarga de aguas residuales y accesibilidad al sitio, esta caracterización del agua permitió el cálculo del índice de calidad del agua ICACOSU concluyendo que para la quebrada Quijana el estado es muy malo desde la parte alta de la microcuenca y malo en la parte media y baja. Para la quebrada Carbonera se concluye que tiene un ICACOSU muy malo pocos metros abajo de su nacimiento, recuperándose en la microcuenca media con un ICACOSU regular, finalmente en relación a la fase de diseño de la estrategia de gestión de la calidad físico química del agua, la investigadora concluyo la importancia de identificar los actores claves de las microcuencas Carbonera y Quijana y hacerlos participes de una gestión integral del recurso hídrico de manera coordinada a través de la línea estratégica de gobernanza del agua y fortalecida a través de la educación ambiental y la comunicación.

Para el año 2019, fue desarrollada la formulación de un índice de calidad de aguas para cuencas rurales en zonas de montaña basado en un estudio de subcuencas de la

microcuenca Doña María del Valle de Aburrá. La investigación no sólo contempló la formulación del índice de calidad ambiental del agua, sino la construcción de los factores o coeficientes de ponderación (P_i) y los respectivos subíndices de calidad para cada parámetro (Q_i), así como la determinación de las variables realmente incidentes en este tipo de cuencas y para este tipo de uso ambiental: principalmente preservación de flora y fauna. El trabajo fue realizado con base en la revisión de los resultados y un re-análisis de los datos e información capturada en campo durante cerca de 10 años en el marco del programa de monitoreo en 18 subcuencas de la microcuenca Doña María. Se probaron varias versiones de ecuación (ajustando los valores de calidad - Q_i - y los valores de ponderación - P_i -) y se contrastaron con los valores de calidad obtenidos mediante la metodología Biological Monitoring Working Party para Colombia (BMWP/Col), la investigación permitió la construcción de curvas paramétricas, para cada variable incluida en el índice, ajustadas a las condiciones rurales de montaña y con énfasis en el uso del mantenimiento de la vida acuática y las funciones ecológicas de estos tipos de ecosistemas; la definición de los factores de ponderación (P_i) aplicados a este tipo de cuencas y la formulación del índice de calidad de aguas para cuencas rurales de montaña. De acuerdo con los resultados de esta investigación, la formulación de un índice de calidad ambiental de aguas para cuencas rurales en zonas de montaña debe contemplar por lo menos siete parámetros fundamentales: coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, turbidez, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales y porcentaje de saturación de oxígeno. (Uribe, 2019).

En proyecto efectuada por (Quiñones y Martínez, 2019), cuyo objetivo principal fue analizar la afectación en la calidad del agua del caño siete vueltas del municipio de Villavicencio por vertimientos de aguas residuales, como estrategia metodológica reconocieron el área de estudio e identificaron los puntos donde hay presencia de vertimientos de agua residual, de igual manera realizaron monitoreo in-situ y ex-situ a diferentes parámetros como: temperatura, caudal, conductividad, pH, dureza, alcalinidad, turbiedad, sólidos suspendidos totales, nitratos, fosforo, oxígeno disuelto , demanda

bioquímica de oxígeno (DBO_5), coliformes fecales y totales, la interpretación de estos datos físicos, químicos y microbiológicos esto teniendo en cuenta las condiciones climáticas precipitaciones altas y bajas en el primer semestre del año 2019 , de esta manera se reconocieron las características de las aguas vertidas al caño siete vueltas, y se determinó el tipo de vertimiento mediante la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible (MADS), la afectación sobre el cuerpo receptor mediante indicadores de calidad del agua (ICA) e índices de contaminación (ICO) y el grado de afectación de contaminación presente en el caño siete vueltas. Como resultado en la caracterización de las aguas residuales vertidas teniendo en cuenta la resolución 631 de 2015 se determinó que una de las principales causas de contaminación en el afluente, son los vertimientos no domésticos (ARnD), pues mostraban gran cantidad de contaminantes de tipo orgánico e inorgánico, presentando alta concentración de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) de hasta 313 mg/L, siendo esta superior al límite máximo permitido por la norma, obteniendo una calificación “regular” de este afluente. Esto se refleja en la calificación "regular" del afluente caño siete vueltas del municipio de Villavicencio. El resultado del índice de calidad del agua “ICA” y los índices de contaminación “ICO’s” arrojaron que los principales índices de contaminación, son el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) y el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) lo cual determino una alta contaminación en la microcuenca sobre todo en época de precipitaciones bajas.

En investigación realizada por (Mejía y Güiza, 2020), la cual tenía como objetivo evaluar la calidad del agua por medio de un análisis fisicoquímico a partir de las actividades antrópicas desarrolladas en el Caño Banderas en el municipio de Puerto López – Meta, dieron cumplimiento a este objetivo utilizando como estrategia metodológica 2 jornadas de recorrido de campo donde identificaron las actividades antrópicas y los vertimientos puntuales, posteriormente ejecutaron 47 encuestas a los habitantes que se encontraban dentro de la ronda hídrica del caño Banderas y seleccionaron 7 estaciones representativas para la toma de muestras de agua, durante cuatro meses, de agosto a

noviembre de 2019, con esta información se obtuvieron los datos tanto para la determinación del ICA como de la presión antrópica, con el fin de aplicar las ecuaciones de referencia para cada parámetro monitoreado y luego emplear la fórmula general del ICA, permitiendo evidenciar la calidad del agua. El índice de calidad del agua arrojó que el cuerpo de agua presentó una clasificación regular en las primeras cuatro estaciones de muestreo; mientras que las últimas tres estaciones reflejaron una clasificación mala; lo anterior puede obedecer a la influencia generada por los parámetros de DBO₅ y DQO, donde estos valores fueron los más altos, impactando el ICA. El estudio permitió evidenciar que el comportamiento sociodemográfico de los asentamientos irregulares en los cuales existen prácticas inadecuadas y desconocimiento sobre el uso y manejo del agua residual. Finalmente, a partir de la información obtenida la investigación permitió formular programas de prevención, control, corrección de las afectaciones a la calidad del agua del caño Banderas, con tres programas principales: el primero enfocado a la gestión de los residuos, el segundo dirigido al manejo de aguas residuales y por último un programa de educación ambiental.

5. MARCO CONCEPTUAL

Recurso Hídrico

El agua está presente en una gran proporción en todos los organismos vivos, sus características, composición y propiedades hacen posible la vida en la tierra y favorecen a la estabilidad de climas y ecosistemas. (Moreno et al., 2016)

Es uno de los principales recursos naturales y vitales para la vida humana, su importancia recae en que se utiliza en todas las actividades primordiales del hombre. (Moreno, Velasco y Torres, 2016)

El recurso hídrico es uno de los elementos centrales para la realización de la mayoría de los aspectos que tienen que ver con nuestra vida como personas, como sociedades y como especie. Está presente en todos los procesos productivos y es un factor de desarrollo en términos Económicos, Biológicos, Físicoquímicos, Ambientales, Sociales, Culturales y Políticos. (Comisión Nacional en Defensa del agua y de la Vida, s.f)

Este recurso es un bien económico y un bien social que debe distribuirse en primer lugar para satisfacer necesidades humanas básicas. (Moreno et al., 2016)

Cuenca Hidrográfica

La Gestión Integral del Recurso Hídrico define la cuenca hidrográfica como la unidad fundamental de análisis para el desarrollo de los procesos de planificación y administración (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s.f.).

Ramakrishna, (en Rodríguez, 2006), define la cuenca hidrográfica como “un área natural en la que el agua proveniente de la precipitación forma un curso principal de agua. La cuenca hidrográfica es la unidad fisiográfica conformada por el conjunto de los sistemas de cursos de agua definidos por el relieve. Los límites de la cuenca o ‘divisoria de aguas’ se definen naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra un río”.

La cuenca hidrográfica es la unidad territorial natural que capta la precipitación, por donde transita el escurrimiento y la escorrentía hasta un punto de salida en el cauce principal, o sea es un área delimitada por una divisoria topográfica (parte-agua) que drena a un cauce común. (FAO, 1993)

Sepúlveda y Rojas; Jouravlev, (en Rodríguez, 2006), afirman que en las cuencas hidrográficas se integran sistemas biofísicos, socioeconómicos y político-administrativos. Los distintos componentes de una cuenca interactúan entre sí, formando un gran sistema natural. Actualmente se les considera un excelente medio para diseñar e instrumentar políticas orientadas al desarrollo rural y al manejo integral y sostenible de los ecosistemas.

Calidad del agua

La calidad del agua es una condición general que permite que el agua se emplee para usos concretos. Esta calidad es determinada por la hidrología, la fisicoquímica y la biología de la masa de agua a que se refiera. Las características hidrológicas son importantes ya que indican el origen, cantidad del agua y el tiempo de permanencia. (Bautista y Ruiz, 2011).

La calidad de las aguas es una variable descriptora fundamental del medio hídrico, tanto desde el punto de vista de su caracterización ambiental, como desde la perspectiva de la

planificación y gestión hidrológica, ya que delimita la aptitud del agua para mantener los ecosistemas y atender las diferentes demandas. La calidad de las aguas puede verse modificada tanto por causas naturales como por factores externos. Cuando los factores externos que degradan la calidad natural del agua son ajenos al ciclo hidrológico, se habla de contaminación. (*Libro Blanco del Agua en España, 2000*)

Desde un punto de vista ambiental, la propuesta de Directiva Marco de las Aguas la define como aquellas condiciones que deben darse en el agua para que ésta mantenga un ecosistema equilibrado y para que cumpla unos determinados objetivos de calidad (calidad ecológica). O como el conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas que la definen, etc. (*Libro Blanco del Agua en España, 2000*)

Rodier, (en Montoya, 2018), dice que dentro de los parámetros asociados en la calidad del agua, se encuentran los fisicoquímicos, orgánicos y bacteriológicos. Las concentraciones en las que estas se deben presentar para no afectar la flora y fauna, se derivan de investigaciones y hechos científicos obtenidos en la experimentación o mediciones in situ.

Tambo, (en Martínez y Barrero, 2018), Afirma que la calidad del agua está vinculada con la capacidad del recurso para responder al uso que se le quiera destinar. La principal problemática del agua a nivel mundial está relacionada con la eutrofización, como resultado del aumento de nutrientes de fósforo y nitrógeno, generados por actividades agrícolas, aguas residuales domésticas e industriales y de incendios forestales.

La calidad del agua se mide de acuerdo con distintos parámetros mediante los cuales se cuantifica el grado de alteración de las cualidades naturales y se la clasifica para un uso determinado. (Castro et, al., 2014, p.114)

Índices de Calidad de Agua

Un índice de calidad de agua, consiste básicamente en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros, los cuales sirven como una medida de la calidad del agua. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color. (Universidad de Pamplona, s.f.).

Los índices definen una curva de gasto único para cada variable, por el que sus valores se interpretan mediante un cuestionario, en términos de unidades de calidad conceptuales, o algún conjunto de normas. Varios tipos de métodos aritméticos que se han utilizado han incluido la agregación de datos de monitoreo de la calidad para producir un índice general de calidad. (Castro, Almada, Ferrer y Díaz, 2014)

Los ICA se han convertido en un instrumento fundamental para transmitir información sobre la calidad del recurso hídrico a las autoridades competentes y al público en general. Es un indicador compuesto que integra información de varios parámetros de calidad del agua y presenta diferentes metodologías según su autor. (Castro et, al., 2014, p.114)

León, (en Martínez y Barrero, 2018). Nos dice que los índices de calidad del agua presentan una serie de usos que pueden destinarse a la caracterización de un determinado cuerpo de agua, pero a si mismo presenta limitaciones a la hora de ser empleados causando desventajas en la investigación o estudio que se esté llevando a cabo.

Tabla 1. Ventajas y limitaciones de los Índices de calidad del agua.

Ventajas	Limitaciones
<ul style="list-style-type: none"> • Permiten mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proporcionan un resumen de los datos.
<ul style="list-style-type: none"> • Útiles en la evaluación de la calidad del agua para usos generales. 	<ul style="list-style-type: none"> • No proporcionan información completa sobre la calidad del agua
<ul style="list-style-type: none"> • Permiten a los usuarios una fácil interpretación de los datos. 	<ul style="list-style-type: none"> • No pueden evaluar todos los riesgos presentes en el agua.
<ul style="list-style-type: none"> • Método simple, conciso y válido para expresar la importancia de los datos generados regularmente en el laboratorio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación
<ul style="list-style-type: none"> • Pueden identificar tendencias de la calidad del agua y áreas problemáticas. 	<ul style="list-style-type: none"> • No son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que presentan las cuencas de una región a otra.
<ul style="list-style-type: none"> • Mejoran la comunicación con el público y aumentan su conciencia sobre las condiciones de calidad del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se basan en generalizaciones conceptuales que no son de aplicación universal.
<ul style="list-style-type: none"> • Ayudan en la definición de prioridades con fines de gestión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algunos científicos y estadísticos tienden a rechazar y criticar su metodología, lo que afecta la credibilidad de los ICA como una herramienta para la gestión.

Fuente: Martínez y Barrero, 2018.

Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA)

El indicador refleja las condiciones fisicoquímicas generales de la calidad de una corriente de agua, y en alguna medida permite reconocer problemas de contaminación de manera ágil en un punto determinado en un intervalo de tiempo específico. Permite conceptuar respecto a las posibilidades o limitaciones del uso del agua para determinadas actividades. Su formulación permite evaluar una amplia cantidad de recursos hídricos en forma periódica. (IDEAM, 2013)

Aplicaciones básicas del ICA:

1. Análisis de tendencias: para determinar degradación o recuperación de la calidad hídrica a través de un período de tiempo.
 2. Agregar información: para mostrar de forma fácilmente comprensible las variaciones que presenta la calidad de las aguas superficiales.
 3. Cumplimiento de estándares
 4. Clasificación de sitios: pueden compararse las condiciones ambientales en diferentes áreas geográficas.
 5. Asignación de recursos: para ayudar a tomar decisiones en la asignación de fondos y determinación de prioridades.
 6. Información pública: para informar al público acerca de las condiciones del recurso.
- (IDEAM, 2013)

5.1. MARCO LEGAL

Para el objetivo de la investigación la normatividad que aplica es la mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 2. Normatividad aplicada a la investigación.

<p>Constitución Política de Colombia de 1991 (art 8, 49,79,80 y 95)</p>	<p>Con el artículo 8 y 95 mencionan el deber que el Estado les concede a los ciudadanos de velar por la protección de los recursos naturales. Así mismo en el artículo 49 describe que el Estado será el encargado de realizar medidas de saneamiento ambiental, con el fin de brindar mejores condiciones a la comunidad. En el artículo 79 se hace énfasis en el derecho de las personas de gozar de un ambiente sano, para lo cual en el artículo 80 señala que el estado garantizara la planificación y aprovechamiento de estos recursos naturales. (Congreso de Colombia, 1991)</p>
<p>Ley 99 de 1993</p>	<p>Describe las actividades que el sector público tendrá a su cargo para la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y organiza el sistema nacional ambiental SINA. (Congreso de Colombia, 1993)</p>
<p>Ley 388 de 1997 artículo 9 y 39</p>	<p>Establece la identificación de los planes de trabajo del municipio, comprendiendo que se deben analizar en función del Ordenamiento Territorial. (Congreso de Colombia, 1997)</p>
<p>Decreto Ley 2811 de 1974</p>	<p>Bajo este título se creó el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, con el fin de dar a conocer las directrices en materia de manejo de residuos, desechos y desperdicios que afectan el medio ambiente,</p>

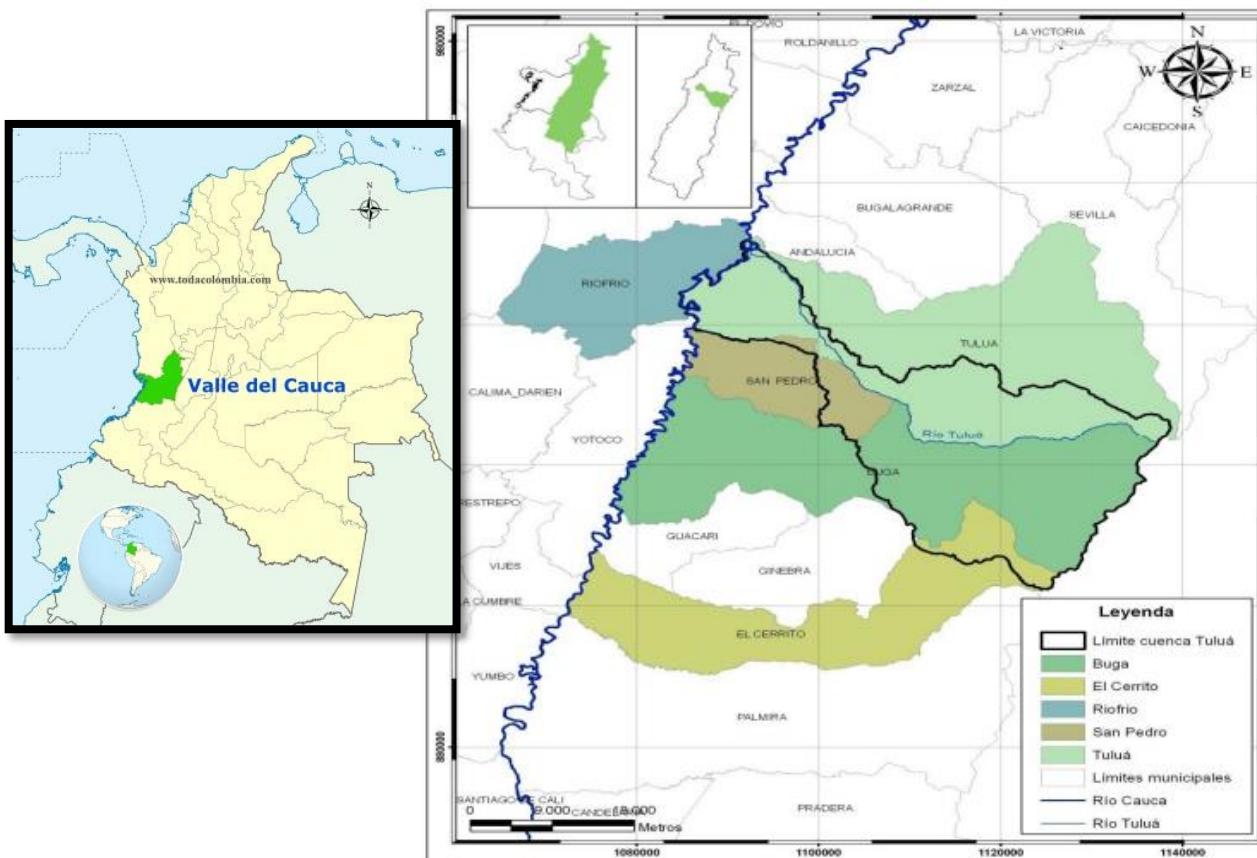
	comprendiendo que en el desarrollo de las actividades se propende por una planeación y manejo de la cuenca. (República de Colombia, 1974)
Decreto 1076 de 2015: en los artículos 2.2.3.3.1.1 al 2.2.3.3.9.1 y 2.2.3.2.20.5)	Se habla de usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al recurso hídrico o al alcantarillado, protección y conservación de los bosques. (Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015) Así mismo el artículo 2.2.3.3.9.10 que describe los criterios de calidad para preservación de flora y fauna aguas dulces, frías o cálidas. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)
Decreto 3930 de 2010:	El presente decreto establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.
Resolución 0631 de 2015:	Describe los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones” (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)

Fuente: Mejía y Güiza, 2020.

6. METODOLOGÍA

6.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Tuluá se encuentra ubicada en el centro del Departamento del Valle del Cauca, al occidente de la Cordillera Central y a la margen derecha del río Cauca, exactamente entre las coordenadas geográficas 902.500 – 954.700 norte y 1.091.600 – 1.138.600 este. El área total se estima en 91485 hectáreas; abarca parte de los municipios de Tuluá, Buga, San Pedro, Ginebra y El Cerrito. (Arias, 2005).



Mapa 1. Ubicación del departamento del Valle del Cauca en Colombia y localización y división política de la cuenca del río Tuluá

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Corporación Vallecaucana de Cuencas CORPOCUENCAS, 2011.

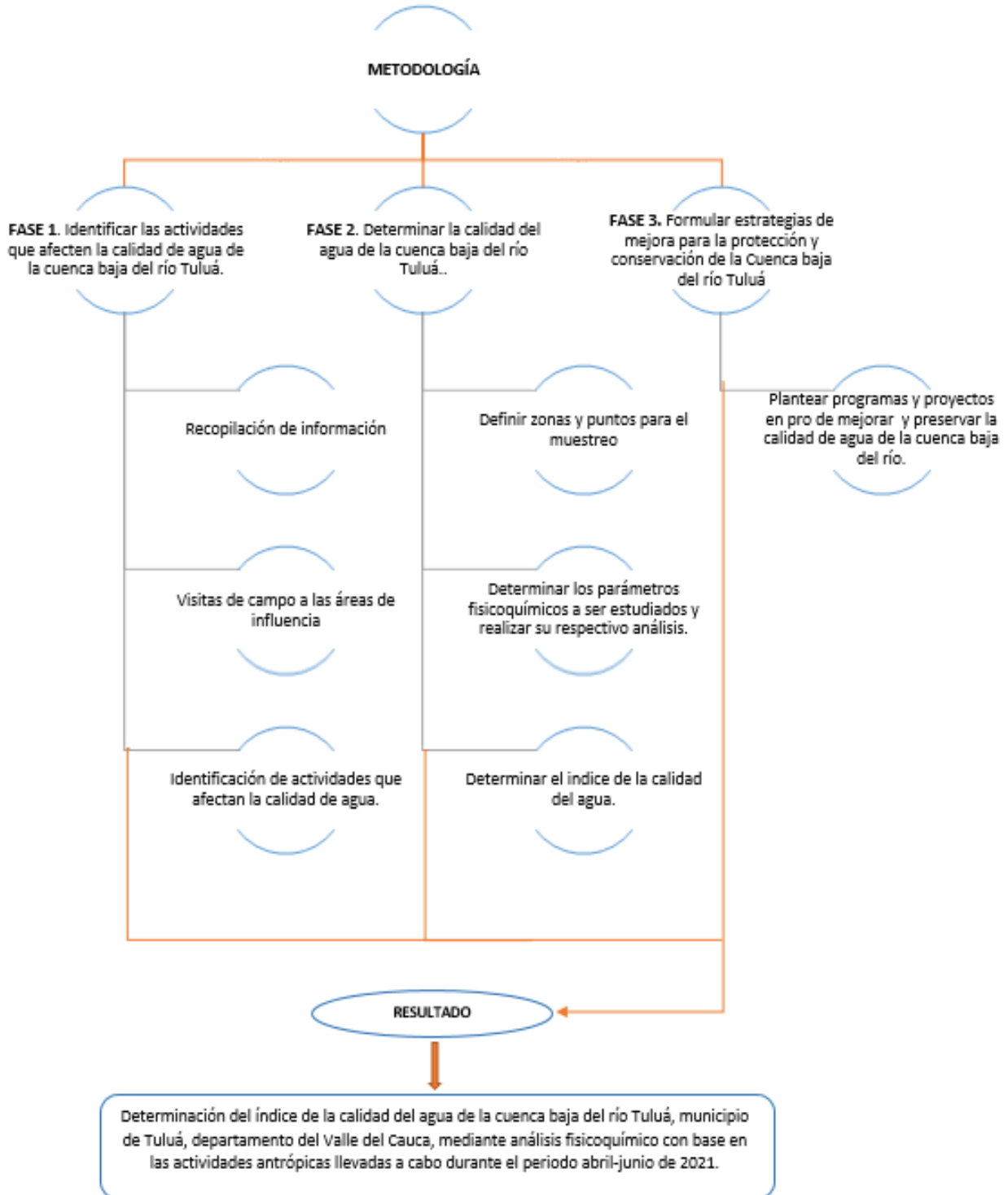
El río Tuluá nace en la parte alta de la cordillera central, en límites con el departamento del Tolima y se forma de las aguas que bajan de las lagunas de las Mellizas y de las Azules en su sitio equidistantes entre Barragán y Santa Lucía. Corre inicialmente de norte a sur hasta el sitio los banco donde recibe las aguas de los ríos Cofre y Loro, que bajan del municipio de Buga y gira hacia el occidente hasta el sitio el rumor, donde encuentra el Valle geográfico del Cauca y adopta una ruta diagonal a la cordillera Central de noroeste hasta su desembocadura en el río cauca La parte alta del río, entre su nacimiento y el cañón de Santa Lucía es actualmente zona ganadera y agrícola, la cual era anteriormente zona forestal. (Contraloría Municipal de Tuluá, 2016, p. 35)

Desde el Bosque hasta Mateguadua, el río baja por un cañón de roca basáltica, que le da un color grisáceo a sus aguas y que siempre han sido matorrales. Desde Mateguadua hasta el Rumor, se encuentran Guaduales y Bosques Naturales, residuos de épocas pasadas. Desde el Rumor hasta su desembocadura, el río pasa por el casco urbano de Tuluá, en su mayor parte canalizado, ampliándose después del barrio La Graciela y hasta el sitio donde le caen las aguas da la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del sistema de alcantarillado Municipal. De aquí hasta su desembocadura, el río avanza rodeado del relicto de Caña Brava y entre tierras explotadas agroindustrialmente. (Contraloría Municipal de Tuluá, 2016, p. 36).

6.2. FASES DE INVESTIGACIÓN.

La metodología se dividió en 3 fases como se presenta a continuación:

Imagen. Diagrama de flujo metodología.



Fuente: Autores.

Fase 1. Identificación de las actividades que afecten la calidad de agua de la cuenca baja del río Tuluá.

Actividad 1. Se llevó a cabo la recopilación de información primaria y secundaria a través de la investigación y análisis de la información de las entidades correspondientes tales como Alcaldía Municipal, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC y del Plan de Ordenamiento Territorial POT del Municipio.

Actividad 2. Se realizaron 3 visitas de campo a las diferentes áreas de la Cuenca del río Tuluá, y subcuencas que lo abastecen (zona alta, zona media y zona baja), ya que si bien el estudio se enfocó en la cuenca baja del río Tuluá, fue necesario reconocer las actividades antropogénicas, usos de suelo, existencia de zonas de preservación, vertimientos de residuos líquidos y disposición de residuos sólidos, entre otras actividades de todas las zonas en general, las cuales finalmente pudieran afectar la calidad del agua de la cuenca baja del río Tuluá.

Actividad 3. De acuerdo con lo observado en las 3 visitas de campo efectuadas se procedió a caracterizar las actividades antrópicas del área de influencia que afectan la calidad del agua de la cuenca baja del río.

Fase 2. Determinación del Índice de la Calidad del Agua de la cuenca baja del río Tuluá, a través del análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Actividad 1. La zona definida para el análisis de calidad de agua fue la cuenca baja del río Tuluá, la zona se definió teniendo en cuenta el estudio de campo realizado en la primera etapa metodológica, así como la bibliografía consultada de estudios anteriores llevados a cabo en la cuenca donde se evidenció que la zona plana es la que presenta más conflicto en el uso de agua.

Como se nombró en la descripción del problema la cuenca baja o zona consumidora comprende desde la estación Mateguadua hasta la desembocadura de la corriente en la margen derecha del río Cauca; por esta razón en trabajo conjunto con personal de Centroaguas S.A ESP acueducto de la zona urbana del municipio de Tuluá, el cual se surte de este río, por tal motivo se definió el punto de muestreo que se encuentra ubicado aguas arriba del canal de entrada a la planta de tratamiento sobre el río Tuluá, en el sector del Jardín Botánico, corregimiento de Mateguadua, en las coordenadas 04°01'13" N 76°10'13" W, a una altura de 1088 msnm, pues este se encuentra dentro del área definida como zona consumidora y es aquí donde el personal del Laboratorio de Calidad de agua de Centroaguas S.A ESP realiza el muestreo del agua cruda antes del ingreso a la planta de tratamiento.

Actividad 2. Se establecieron los parámetros teniendo en cuenta lo observado en las 3 visitas efectuadas, las afectaciones a la calidad de agua de las actividades y usos de acuerdo con lo observado, a su vez se tuvo en cuenta las variables del indicador ICA propuesto en la hoja metodológica para el cálculo del Índice de Calidad del Agua en corrientes superficiales (ICA) de acuerdo al IDEAM.

De acuerdo con lo dicho con anterioridad los parámetros analizados al agua cruda del río Tuluá fueron:

- ✓ Oxígeno Disuelto.
- ✓ Sólidos suspendidos Totales
- ✓ Demanda Química de Oxígeno.
- ✓ pH.
- ✓ Conductividad.
- ✓ Turbiedad.
- ✓ Temperatura.
- ✓ Coliformes totales.
- ✓ Coliformes Fecales.

Actividad 3. Toma y análisis de las muestras de agua.

La toma de muestras fue llevada a cabo por personal capacitado del Laboratorio de Control de Calidad de Agua de Centroaguas S.A ESP, quienes de igual manera analizaron cada una de las tomas realizadas en los meses de abril, mayo y junio. Se tuvo en cuenta que en los meses de abril y mayo se presentaron lluvias frecuentes mientras que para el mes de junio el periodo fue seco.

Tabla 3. Muestras realizadas en la cuenca baja del río Tuluá.

Muestras cuenca baja río Tuluá	
Mes	Cantidad
Abril	1
Mayo	1
Junio	1

Fuente: Autores.

Equipos y materiales utilizados en campo:

- ✓ Termo higrómetro
- ✓ Frascos de vidrio
- ✓ Envases plásticos

Equipos utilizados en Laboratorio:

- ✓ Espectrofotómetro UV-Visible
- ✓ Turbidímetro de mesa
- ✓ pH metro
- ✓ Conductímetro



- ✓ Horno de secado
- ✓ Bomba de vacío
- ✓ Desecador

Actividad 4. Determinación Índice de Calidad de Agua. ICA.

La determinación del Ica se realizó mediante la metodología propuesta por el IDEAM para calcular el Índice de Calidad del Agua en corrientes superficiales (ICA)

Ecuación 1. Fórmula de cálculo del ICA (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2013).

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i \cdot I_{ikjt} \right)$$

Donde:

ICAnjt: Es el Índice de Calidad del Agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t, evaluado con base en n variables.

Wi: Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i.

Iikjt: Es el valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo j, registrado durante la medición realizada k, del período de tiempo t.

n: Es el número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5 o 6 dependiendo de la medición del ICA que se seleccione.

Tabla 4. Calificación de la calidad del agua según los valores el ICA.

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta - Color
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: (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2013)

Cálculo del valor de cada variable.

Se procedió a realizar el cálculo del valor de cada variable el cual consistió en ingresar el resultado de la concentración de cada variable de calidad del agua analizada, en la curva funcional correspondiente y estimar el valor *Iikjt*. Cada curva indica en la ordenada el subíndice de la variable de calidad del agua en una escala de 0 a 1. Las ecuaciones de referencia para cada variable fueron las siguientes:

1. Oxígeno disuelto.

Ecuación 2. Formula oxígeno disuelto. (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2013)

$$PS_{OD} = \frac{Ox * 100}{C_p}$$

Donde:

Ox: Es el oxígeno disuelto medido en campo (mg/l) asociado a la elevación, caudal y capacidad de reoxigenación.

C_p: Es la concentración de equilibrio de oxígeno (mg/l), a la presión no estándar, es decir, oxígeno de saturación.

2. Sólidos suspendidos totales (SST):

Ecuación 3. Formula de sólidos suspendidos totales. IDEAM, 2013.

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 \cdot SST)$$

Si $SST \leq 4,5$, entonces $I_{SST} = 1$

Si $SST \geq 320$, entonces $I_{SST} = 0$

3. Demanda química de oxígeno (DQO):

Ecuación 4. Formulas demanda química de oxígeno según el valor (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2013).

Si $DQO \leq 20$, entonces $I_{DQO} = 0,91$

Si $20 < DQO \leq 25$, entonces $I_{DQO} = 0,71$

Si $25 < DQO \leq 40$, entonces $I_{DQO} = 0,51$

Si $40 < DQO \leq 80$, entonces $I_{DQO} = 0,26$

Si $DQO > 80$, entonces $I_{DQO} = 0,125$

4. Conductividad eléctrica (C.E.):

Ecuación 5. Formula conductividad eléctrica. (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2013).

$$I_{C.E.} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 \log_{10} C.E.)}$$

Cuando $I_{C.E.} < 0$, entonces $I_{C.E.} = 0$.

5. pH:

Ecuación 6. Formula pH según el valor. (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2013)



Si $pH < 4$, entonces $I_{pH} = 0,1$

Si $4 \leq pH \leq 7$, entonces $I_{pH} = 0,02628419 \cdot e^{(pH-0,520025)}$

Si $7 < pH \leq 8$, entonces $I_{pH} = 1$

Si $8 < pH \leq 11$, entonces $I_{pH} = 1 \cdot e^{[(pH-8) \cdot -5187742]}$

Si $pH > 11$, entonces $I_{pH} = 0,1$

Fase 3. Formular estrategias de mejora para la protección y conservación de la Cuenca Hidrográfica del Río Tuluá, especialmente la cuenca baja.

Actividad 1. Definir Alternativas de mejora de acuerdo con los resultados obtenidos del 1 y 2 objetivo.

Teniendo en cuenta los resultados arrojados en las fases anteriores se identificaron las problemáticas que se presentan con más frecuencia y que afectan la calidad del agua del río Tuluá.

Actividad 2. Planteamiento de programas ambientales.

A partir de las problemáticas identificadas se definieron las temáticas para el planteamiento de los programas, con el fin de mitigar y prevenir las afectaciones a la calidad del agua del río Tuluá.

7. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

- **Desarrollo Fase 1. Identificación de las actividades que afecten la calidad de agua de la cuenca baja del río Tuluá, departamento del Valle del Cauca.**

Actividad 1. Recopilación de información

Descripción Cuenca Hidrográfica.

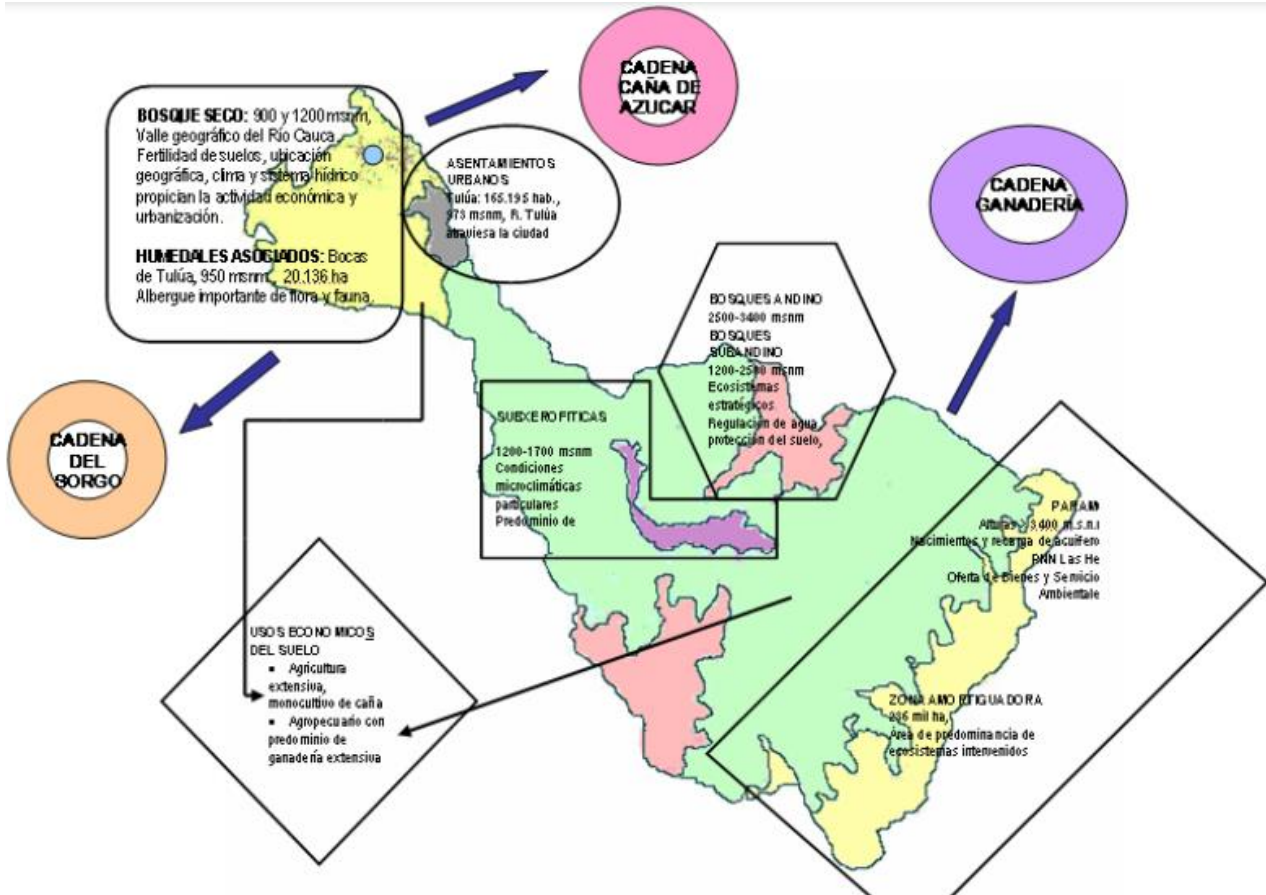
El páramo es el origen del río Tuluá y de dos de los principales afluentes de este: el río Cofre y el Río Loro. Los otros ríos que conforman la cuenca son: el río San Antonio, San Marcos y Nogales que nacen en la parte media. A los ríos de la cuenca drenan innumerables quebradas con coberturas boscosas buenas y medianas, y donde la población declara en general contar con suficiente agua para las actividades domésticas y agropecuarias.

Las principales aglomeraciones de población en la cuenca son: la zona urbana de Tuluá, Tres Esquinas y Aguaclara, Monteloro, Jicaramata y Santa Lucía, del lado de Tuluá; Los Bancos, El Placer y Mesa de Rioloro, en Buga; y Buenos Aires en San Pedro. (Arías, 2005)

Usos del suelo

El uso del suelo está representado principalmente por pasto cultivado para explotación ganadera distribuida en la parte alta y parte baja en el piedemonte con un área de 44.95%; le sigue el bosque natural denso de tierra firme con un 19.69%; herbazal natural abierto el 15.17%; cultivo de café el 1.04%; otros cultivos agrícolas y pasto de corte, 1.46%; árboles plantados, 0.15%; ríos, el 0.22%; siendo el resto en superficies de construcción y centros poblados. (Secretaría de Salud Municipal de Tuluá, 2020).

Gráfico 1. Esquema descriptivo de la Cuenca del río Tuluá.



Fuente: Ariás, 2005

Conforme con el informe del balance – oferta – demanda de agua cuenca del Río Tuluá (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2017). El uso del suelo se divide en zona productora y zona consumidora. La zona productora se extiende desde el nacimiento del río hasta el sitio donde se localiza la estación limnigráfica Mateguadua, con un área aproximada de 76.798 ha. La zona consumidora comprende desde la estación Mateguadua hasta la desembocadura de la corriente en la margen derecha del río Cauca, cuenta con un área de 14.697 ha. En la zona productora, está representada principalmente por pastos para ganadería con 51% del área total, vegetación boscosa y de protección natural con 47% y cultivos permanentes y semipermanentes con 1% cada uno. La zona consumidora tiene distribuido porcentualmente el uso del suelo así : cultivos

Hidroclimatología

La Climatología es variada desde el clima cálido en la zona de Mateguadua hasta frío y paramo en la zona al en el Parque Nacional Natural las Hermosas que tiene un área de 18.981 ha; las temperaturas oscilan en promedio de 24°C hasta 4°C. Las precipitaciones varían alternando dos periodos con niveles altos de precipitación y dos con niveles bajos. El primer periodo de lluvias altas corresponde a los meses de marzo, abril y mayo; el segundo se presenta en los meses de septiembre, octubre y noviembre. Alternando estos meses se hallan los meses de menor precipitación, los cuales corresponden a enero, febrero, junio, julio, agosto y diciembre, siendo los más secos julio y agosto.

De forma general para la cuenca se tiene que ésta presenta un régimen de lluvias medias anuales que oscila entre 1.035mm en la parte alta de la cuenca y 1.684mm en la parte media de la misma. En el corregimiento Los Bancos se presenta una zona de condiciones climáticas especiales subxerofítica, donde se registran precipitaciones anuales de 800mm que difieren de las condiciones medias de la cuenca. (Secretaría de Salud Municipal de Tuluá, 2020)

Hidrografía.

De acuerdo Mapa de Índice de Riesgo de Calidad de Agua IRCA para Consumo Humano del Acueducto del Municipio de Tuluá (Secretaria de Salud Municipal de Tuluá, 2020). La Hidrografía del Agua superficial se puede dividir en sub-cuencas debido a criterios morfométricos y de distribución de las corrientes de agua, con base en ello las sub-cuencas resultantes para la cuenca del río Tuluá en la zona abastecedora de agua para el Municipio de Tuluá son:

Sub-cuenca río Cofre: se localiza en la parte alta de la cuenca y recibe el nombre de la corriente principal de esa zona. Sus principales tributarios son las quebradas Los Alpes,

Pensil, río Rosario y río Cofrecito, también se encuentra la quebrada La Venta que tributa al río Tuluá pero se encuentra dentro de la sub-cuenca.

Sub-cuenca Ríoloro: se localiza en la parte alta de la cuenca y recibe el nombre de la corriente principal de esa zona el río Ríoloro que nace en la laguna La Rusia, en el Parque Nacional Natural de Las Hermosas. Sus principales tributarios son las quebradas Guayabal, La Meseta y Colamico, también se encuentra la quebrada Topacio que tributa al río Tuluá.

Sub-cuenca zona alta río Tuluá: se localiza en la parte alta de la cuenca y allí nace el río Tuluá en la laguna Las Mellizas, zona del Parque Nacional Natural de Las Hermosas. Sus principales tributarios son las quebradas La Vega, El Oso, La Fe, Santa Lucía, Yeguas, Las Hermosas, Palermo y La Meseta.

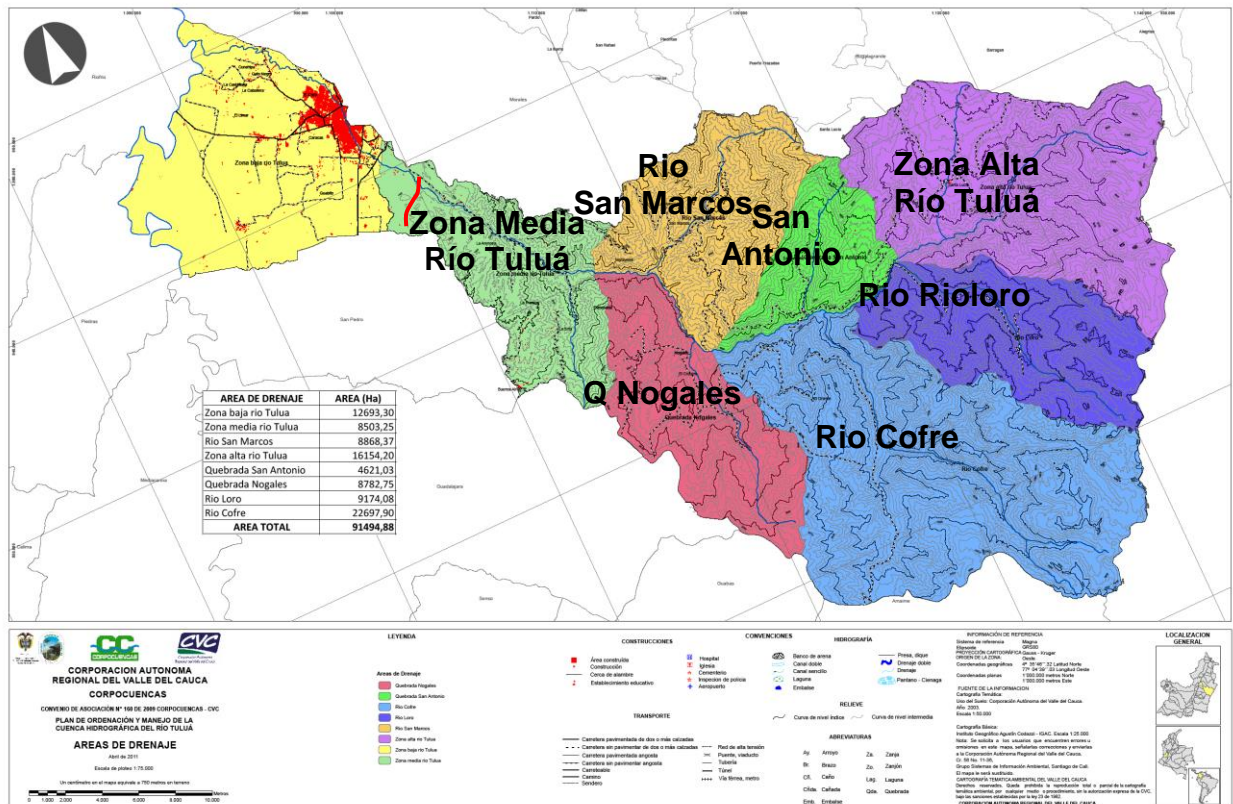
Sub-cuenca río San Antonio: se localiza en la parte media de la cuenca del río Tuluá y recibe el nombre de la corriente principal de esa zona, su principal tributario es la quebrada Carpato.

Sub-cuenca río San Marcos: se localiza en la parte media de la cuenca y recibe el nombre de la corriente principal de esa zona. Sus principales tributarios son las quebradas La Meseta, Las Minas y otras quebradas que no tienen nombre en la cartografía utilizada, también se encuentran las quebradas Alpes, Guaitara y La Culebra que tributan al río Tuluá pero se encuentra dentro de la sub-cuenca.

Sub-cuenca quebrada Nogales: se localiza en la parte media de la cuenca y recibe el nombre de la corriente principal de esa zona. Sus principales tributarios son las quebradas Bélgica, Negra, El Salado, Nogales, Nogalitos, y Frisoles.

Sub-cuenca zona media río Tuluá: Ubicada en la parte media baja de la cuenca

y colinda con la cabecera municipal de Tuluá, por esta zona transita el río Tuluá y recibe algunos afluentes como las quebradas Ventiadero, La Coca, Brasil, Mateguadua, Naranjal, El Rubí, Esmeralda, Arenosa y Platanares.



Mapa 3. Áreas de drenaje de la cuenca hidrográfica de río Tuluá. Fuente: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Corporación Vallecaucana de Cuencas CORPOCUENCAS, 2011.

Actividad 2 y 3. Visitas de campo y caracterización.

Con el fin de Identificar actividades agrícolas, pecuarias, usos de suelo, vertimientos y zonas de riesgo, se realizaron visitas al área de la fuente de agua, río Tuluá.

El área que drena alrededor de la fuente del río Tuluá, es de 78.801 has. Por ser un área muy grande, se presenta el recorrido, teniendo en cuenta la división de áreas de drenaje que propone la (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, y la

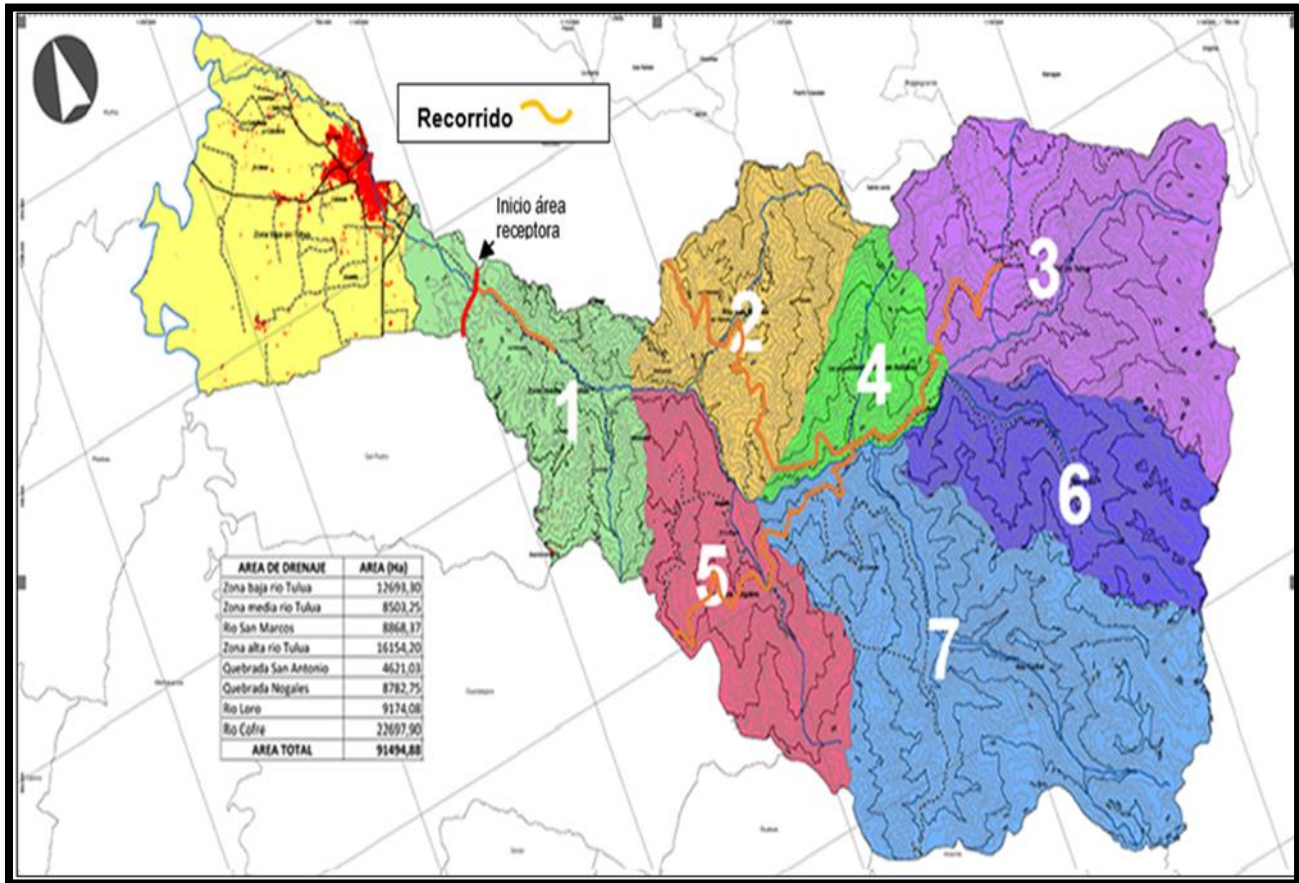
Corporación Vallecaucana de Cuencas CORPOCUENCAS, 2011), de la Gobernación del Valle del Cauca en el documento Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Tuluá, POMCH río Tuluá.

Tabla 5. Áreas de drenaje alrededor de la fuente del río Tuluá.

SUBCUENCAS ALREDEDOR DE LA FUENTE DE CAPTACION DEL ACUEDUCTO DE TULUA			
No	SUBCUENCA	AREA (HA)	PORCENTAJE (%)
1	Zona media río Tuluá	8.503.25	10.80
2	Río San Marcos	8.868.37	11.25
3	Zona Alta río Tuluá	16.154.20	20.50
4	Quebrada San Antonio	4.621.03	5.86
5	Quebrada Nogales	8.782.75	11.15
6	Rioloro	9.174.08	11.64
7	Río Cofre	22.697.90	28.80
TOTAL		78.801.58	100.00

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Corporación Vallecaucana de Cuencas CORPOCUENCAS, 2011.

Los recorridos se realizaron con apoyo cartográfico, y, apoyo de información primaria y secundaria.

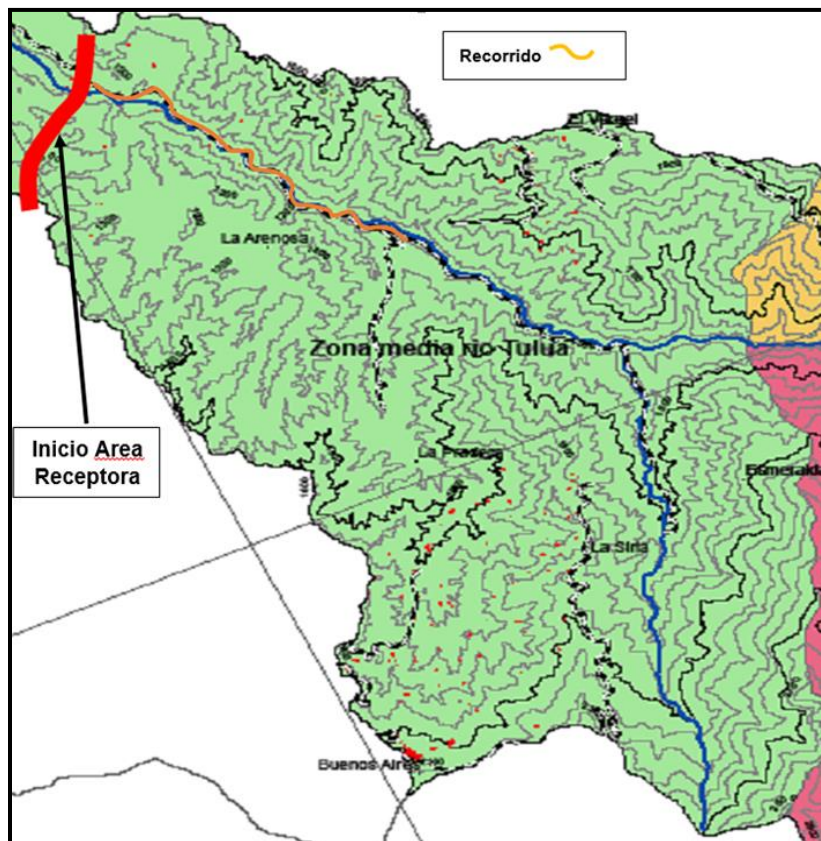


Mapa 4. Recorrido de inspección ocular a las subcuencas que conforman las áreas de drenaje de la fuente del río Tuluá. Fuente: Adaptado de Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Corporación Vallecaucana de Cuencas CORPOCUENCAS. (2011)



Recorridos:

Recorrido 1: Recorrido Subcuenca 1, Zona Media del Río Tuluá.



Mapa 5. Recorrido subcuenca 1. Zona media del río Tuluá. Fuente: Adaptado de Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Corporación Vallecaucana de Cuencas CORPOCUENCAS. (2011).

Municipio de San Pedro: La Arenosa-Platanares-Naranjal-La Siria-La Esmeralda.

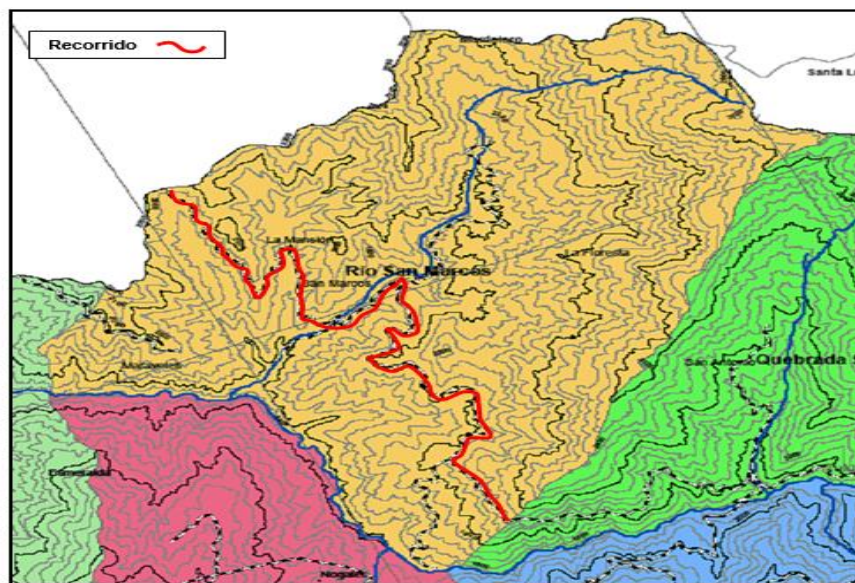
Área: 8.503.25 ha, equivale al 10.80% del área de la fuente abastecedora

Tabla 6. Actividades observadas subcuenca 1.

Actividades observadas	
Agrícolas	Cultivo de café y plátano, en zonas cafeteras de Platanares, Naranjal, La Siria, La Esmeralda.
Pecuarías	En menor escala, pastos para ganadería.
Bosques Naturales	Especialmente en la quebrada La Esmeralda.
Vertimientos	Viviendas dispersas, de acuerdo a información brindada por la población aproximadamente solo un 20% de las viviendas poseen Sistemas de Tratamiento de aguas residuales utilizando campos de infiltración.
Zonas de riesgo	Por vertimientos de viviendas, centro poblado, y uso de químicos para pastos.

Fuente: Autores.

Recorrido 2: Subcuenca 2. Río San Marcos.



Mapa 6. Recorrido 2. Río San Marcos. Fuente: Adaptado de Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Corporación Vallecaucana de Cuencas CORPOCUENCAS. (2011).

Municipio de Tuluá: Tuluá-Divisoria El Paraíso-La Garza-La Diadema-La Mansión-San Marcos-Monteloro-Piedritas-Santa Helena.

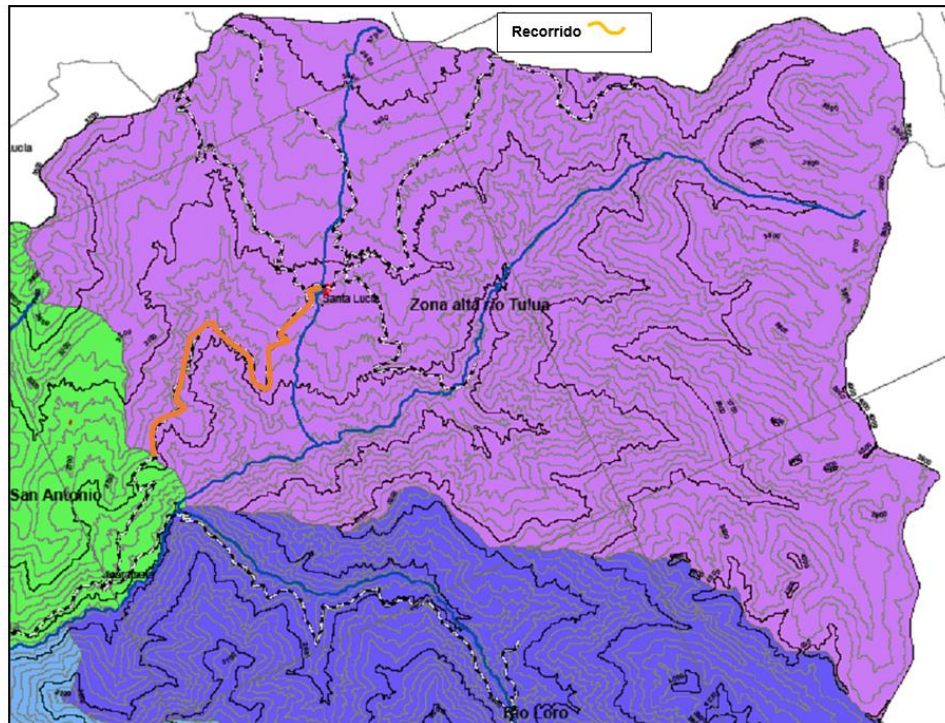
Área: 8.868.37 ha, equivale al 11.25% del área de la fuente abastecedora

Tabla 7. Actividades observadas subcuenca 2.

Actividades observadas	
Agrícolas	Zona importante para el cultivo de café y plátano, pequeñas extensiones en cultivos frutales.
Pecuarías	Cultivos de pastos para ganadería en menor escala.
Bosques Naturales	Especialmente en la parte alta de la quebrada San Marcos, así, como zonas de La Floresta y Las Mirlas, que limitan con la Cuenca Bugalagrande.
Vertimientos	Viviendas dispersas, de acuerdo a información brindada por la población aproximadamente solo un 20% de las viviendas poseen Sistemas de Tratamiento de aguas residuales utilizando campos de infiltración.
Zonas de riesgo	Por vertimientos de viviendas, centro poblado, y uso de químicos para agricultura y pastos.
Centro Poblado	Corregimiento de Monteloro, dispone de Sistema de tratamiento para agua potable, y de aguas Residuales, operando normalmente.
Fuentes principales que drenan a la subcuenca:	Quebradas El Paraíso, La Mansión, Río San Marcos, quebrada Piedritas. Con característica de presentar los caudales más altos en la oferta para la fuente de captación.

Fuente: Autores.

Recorrido 3: Subcuenca 3. Zona alta río Tuluá.



Mapa 7. Recorrido 3. Zona Alta Río Tuluá. Fuente: Adaptado de Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Corporación Vallecaucana de Cuencas CORPOCUENCAS. (2011).

Municipio de Tuluá, Municipio de Buga: San Antonio-Jicaramata-La Cabaña-Santa Lucía-El Veque-Paramo de Barragán-Vía Roncesvalles-Tolima, Laguna las mellizas.

Área: 16.154.20 ha, equivale al 20.50% del área de la fuente abastecedora

Tabla 8. Actividades observadas subcuenca 3.

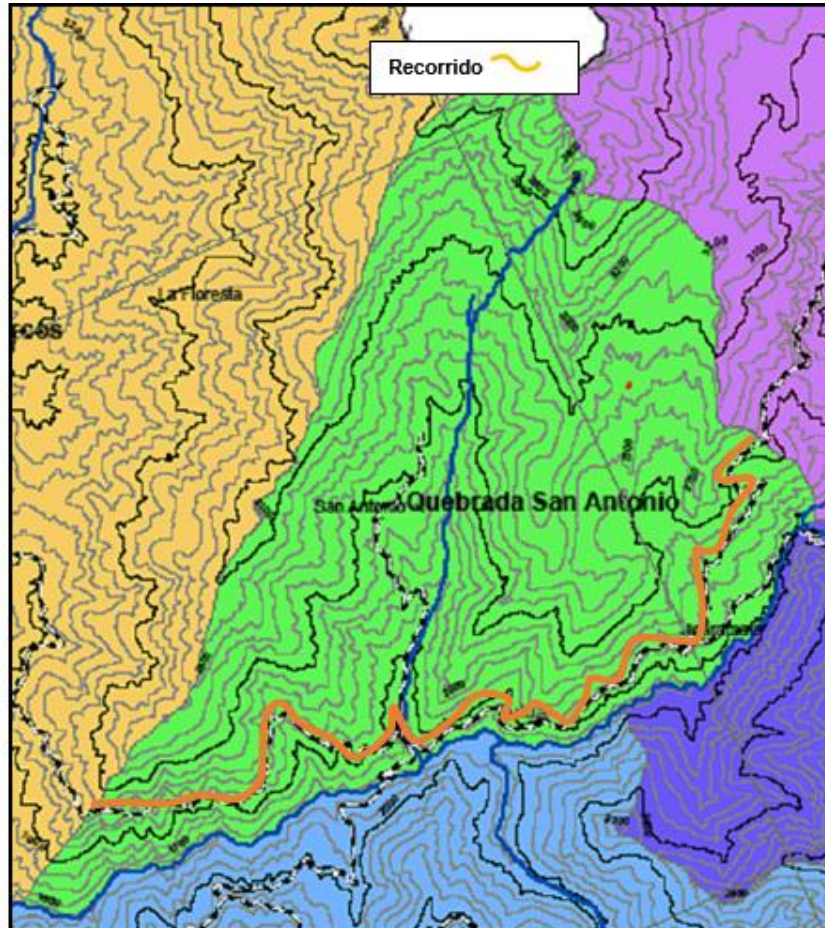
Actividades observadas	
Agrícolas	Cultivo de frutales en pequeña escala. Cultivo de papa y cereales en la zona alta
Pecuarías	Cultivos de pastos para ganadería en extensiones grandes.



Bosques Naturales	Relictos de bosques en la partes altas de las microcuencas y en las zonas forestales protectora de las quebradas.
Parques Naturales	Parque Nacional natural Las hermosas en límites con el Departamento del Tolima; paramo de Barragán lindando con la cuenca del río Bugalagrande, hacia el norte.
Vertimientos	Viviendas dispersas, de acuerdo a información brindada por la población aproximadamente solo un 20% de las viviendas poseen Sistemas de Tratamiento de aguas residuales utilizando campos de infiltración.
Zonas de riesgo	Por vertimientos de viviendas, y uso de químicos para agricultura y pastos.
Centro Poblado	Corregimiento de Santa Lucia, dispone de Sistema de tratamiento para agua potable, y de aguas Residuales, operando normalmente.
Fuentes principales que drenan a la subcuenca	Por el área del Municipio de Tuluá, quebradas Jicaramata, Yeguas, La Fe, Santa Lucía, El Jazmín, Las Vegas, La Campiña, El Oso, Las Azules, Por el área del Municipio de Guadalajara de Buga, quebradas La Meseta, Palermo, Las Hermosas (Nacimiento Laguna Las Mellizas). Presenta caudales altos en la oferta para la fuente de captación.
Nacimiento río Tuluá	Se encuentra uno de los nacimientos importantes en la zona de páramo, la laguna Las Mellizas, que forma la quebrada Las Hermosas, afluente del río Tuluá en el Parque Nacional Natural Las Hermosas

Fuente: Autores.

Recorrido 4. Subcuenca 4. Quebrada San Antonio.



Mapa 8. Recorrido Subcuenca 4. Quebrada San Antonio. Fuente: Adaptado de Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Corporación Vallecaucana de Cuencas CORPOCUENCAS. (2011).

Municipio de Tuluá: Cañón de Guaitara-Quebrada San Antonio-Jicaramata.

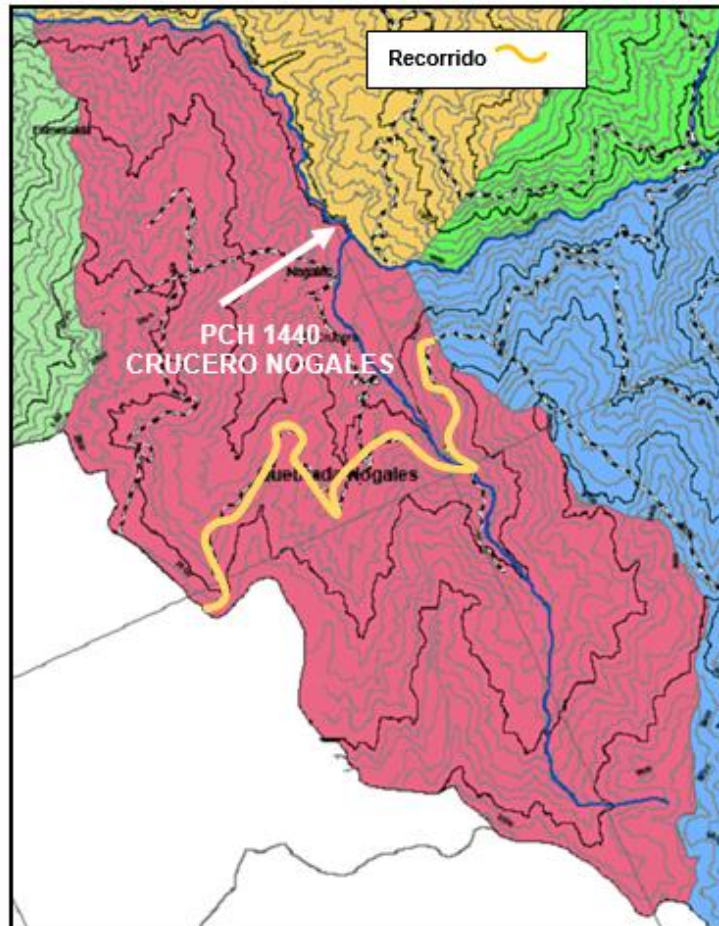
Área: 4.621.20 ha, equivale al 5.86% del área de la fuente abastecedora.

Tabla 9. Actividades observadas subcuenca 4.

Actividades observadas	
Agrícolas	No se observaron.
Pecuarías	Ganadería, pastos para ganadería.
Bosques Naturales	Manchones en zonas protectoras, muy escasos.
Vertimientos	Viviendas dispersas, de acuerdo a información brindada por la población aproximadamente solo un 20% de las viviendas poseen Sistemas de Tratamiento de aguas residuales utilizando campos de infiltración.
Zonas de riesgo	Por vertimientos de viviendas, y uso para pastos.
Centro Poblado	No posee.
Fuentes principales que drenan a la subcuenca	Quebradas Carpatos y San Antonio. Presenta caudales regulares como oferta para la fuente de captación

Fuente: Autores.

Recorrido 5. Subcuenca 5. Quebrada Nogales.



Mapa 9. Recorrido Subcuenca 5. Quebrada Nogales. Fuente: Adaptado de Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Corporación Vallecaucana de Cuencas CORPOCUENCAS. (2011).

Municipio Guadalajara de Buga: El Placer Nogales-El Crucero Nogales-Frisoles (cartográficamente).

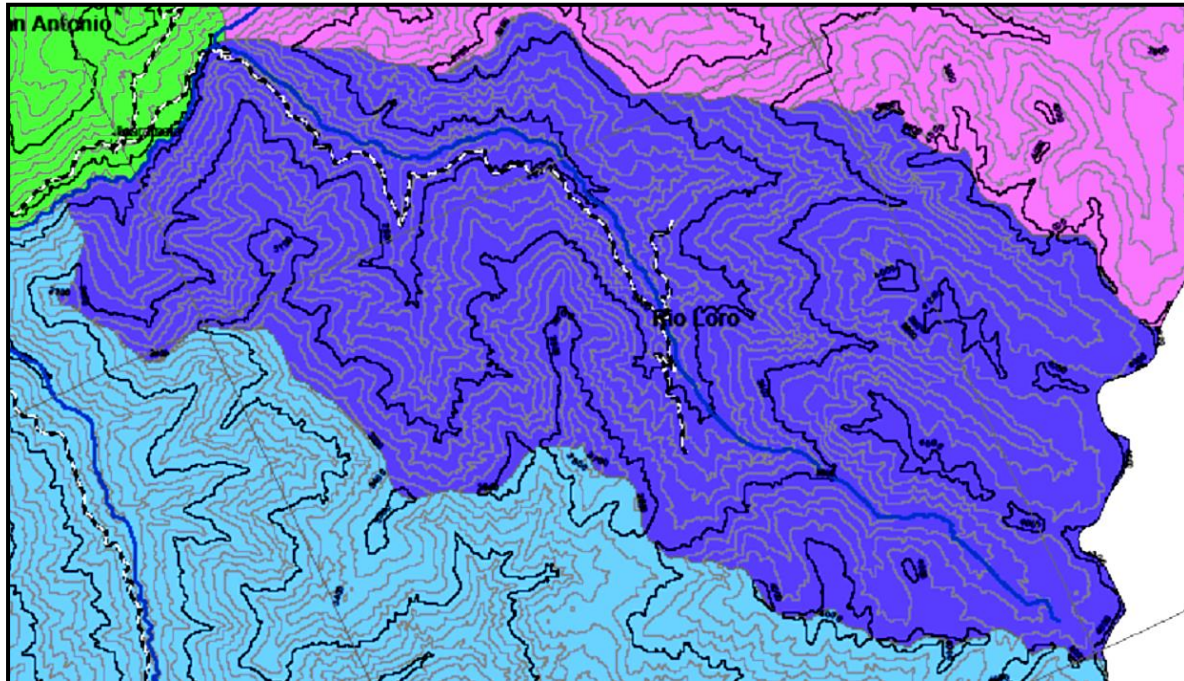
Área: 8.782.75 ha, equivale al 11.15% del área de la fuente abastecedora.

Tabla 10. Actividades observadas subcuenca 5.

Actividades observadas	
Agrícolas	Zona importante para el cultivo de café y plátano, en la parte baja de la subcuenca, pequeñas extensiones en frutales. Zona El Crucero de Nogales.
Pecuarías	Cultivos de pastos para ganadería en menor escala, en la zona alta de la subcuenca, zona El Placer Nogales.
Bosques Naturales	Especialmente en la parte alta de la quebrada Nogales, Nogalitos y Frisoles.
Vertimientos	Viviendas dispersas, de acuerdo a información brindada por la población aproximadamente solo un 20% de las viviendas poseen Sistemas de Tratamiento de aguas residuales utilizando campos de infiltración.
Zonas de riesgo	Por vertimientos de viviendas, centros poblados, y uso de químicos para agricultura y pastos.
Centro Poblado	Corregimientos El Placer Nogales y El Crucero Nogales, dispone de Sistema de tratamiento para agua potable, y de aguas Residuales, operando normalmente.
Fuentes principales que drenan a la subcuenca	Quebradas Nogales, Nogalitos, Frisoles. Presenta caudales importantes en la oferta para la fuente de captación.
Pequeña central hidroeléctrica 1440:	Ubicada en el Crucero Nogales, aguas abajo de la desembocadura de la quebrada Nogales.

Fuente: Autores

Recorrido 6. Subcuenca 6. Rioloro.



Mapa 10. Recorrido Subcuenca 6. Rioloro. Fuente: Adaptado de Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Corporación Vallecaucana de Cuencas CORPOCUENCAS. (2011).

Municipio Guadalajara de Buga: La Mesa Rioloro, La playa del Buey.

Área: 9.174.08 ha, equivale al 10.03% del área de la fuente abastecedora.

Tabla 11. Actividades observadas subcuenca 6.

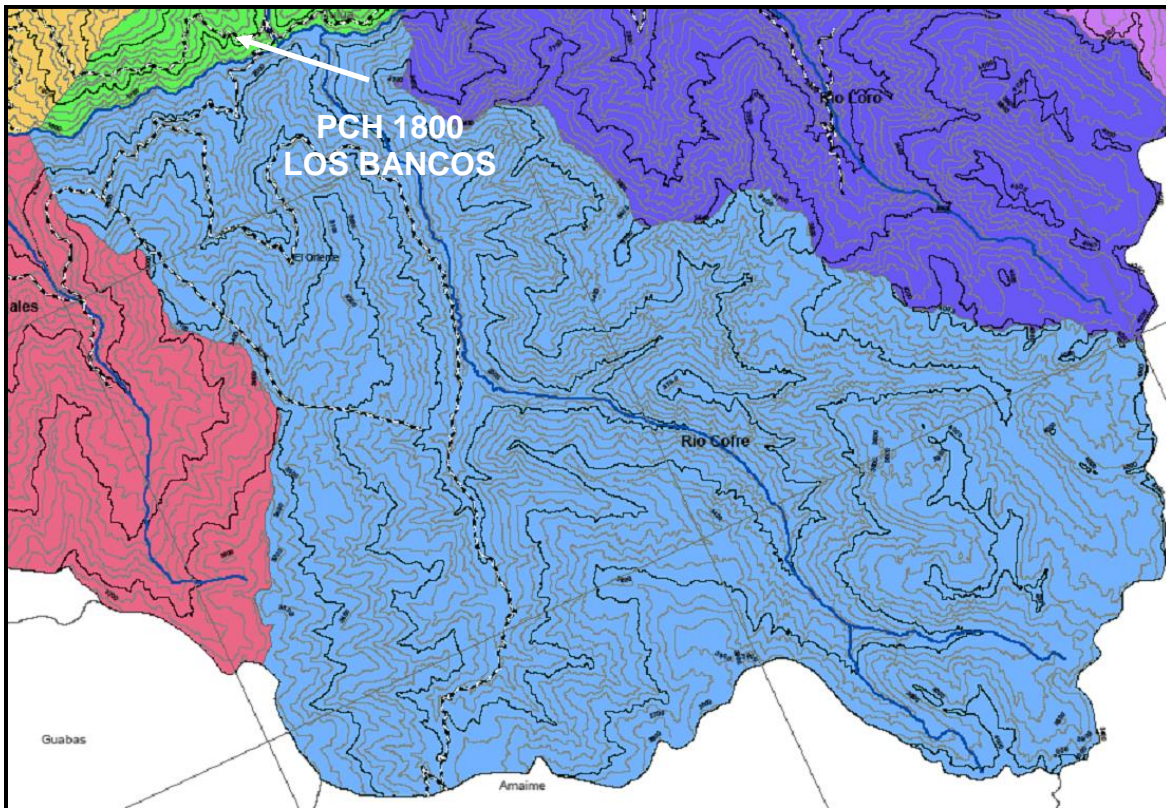
Actividades observadas	
Agrícolas	Cultivo de papa y cereales en la zona alta, en pequeña escala.
Pecuarías	Cultivos de pastos para ganadería en extensiones grandes.
Bosques Naturales	Relictos de bosques en la partes altas de las microcuencas y en las zonas forestales protectora de las quebradas.

Parques Naturales	Parque Nacional Natural Las hermosas en límites con el Departamento del Tolima.
Vertimientos	Viviendas dispersas, de acuerdo a información brindada por la población aproximadamente solo un 20% de las viviendas poseen Sistemas de Tratamiento de aguas residuales utilizando campos de infiltración.
Zonas de riesgo	Por vertimientos de viviendas, centro poblado, y uso en pastos
Centro Poblado	Corregimiento Rioloro, no dispone de Sistema de tratamiento para agua potable, y no dispone de aguas Residuales.
Fuentes principales que drenan a la subcuenca	Río Rioloro, Quebradas El Topacio, La Sonora, Las Nieves, Bosconia, Colademico. Presenta caudales importantes en la oferta para la fuente de captación.
Lagunas	Presenta gran número de lagunas en forma de estrella fluvial, sobresaliendo la Laguna La Rusia donde nace el Río Rioloro.

Fuente: Autores



Recorrido 7. Subcuenca 7. Rio cofre.



Mapa 11. Recorrido subcuenca 7. Rio Cofre.

Fuente: Adaptado de Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y Corporación Vallecaucana de Cuencas CORPOCUENCAS. (2011).

Es la microcuenca más grande que tiene la fuente abastecedora del acueducto de Tuluá.

Municipio Guadalajara de Buga: El Rosario, El Salado, Los Bancos.

Municipio El Cerrito: Los Andes, El Cofrecito.

Área: 22.697.90 ha, equivale al 28.80% del área de la fuente abastecedora.

Tabla 12. Actividades observadas subcuenca 7.

Actividades observadas	
Agrícolas	Cultivo de papa y cereales en la zona alta, en pequeña escala.
Pecuarías	Cultivos de pastos para ganadería en extensiones grandes.
Bosques Naturales	Relictos de bosques en la partes altas de las microcuencas y en las zonas forestales protectora de las quebradas.
Parques Naturales	Parque Nacional Natural Las hermosas en límites con el Departamento del Tolima.
Vertimientos	Viviendas dispersas, de acuerdo a información brindada por la población aproximadamente solo un 20% de las viviendas poseen Sistemas de Tratamiento de aguas residuales utilizando campos de infiltración.
Zonas de riesgo	Por vertimientos de viviendas, centro poblado, y uso en pastos
Centro Poblado	Corregimientos El Salado, El Rosario, dispersos, no dispone de Sistema de tratamiento para agua potable, y no dispone de aguas Residuales.
Pequeña central hidroeléctrica 1800	Ubicada en los Bancos, aguas abajo de la desembocadura de la quebrada San Antonio al río Tuluá.
Fuentes principales que drenan a la subcuenca	Río Cofre, Quebradas El Rosario, Los Bancos, Los Alpes. Presentan caudales importantes en la oferta para la fuente de captación.

Lagunas	Se encuentra la Laguna tres Américas en el Municipio de Cerrito, donde tiene uno de los nacimientos principales del río Cofre.
----------------	--

Fuente: Autores

Desarrollo Fase 2. Determinar el Índice de la Calidad del Agua de la cuenca baja del río Tuluá, departamento del valle del Cauca a través del análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Definido el punto de muestreo el cual se muestra en las imágenes 1 y 2. Se procedió a determinar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a través de la recolección de muestras de agua, estas muestras fueron tomadas en los meses de abril, mayo y junio, una muestra por cada mes respectivamente, dichas muestras fueron tomadas y analizadas por personal capacitado del laboratorio de control de calidad de agua de Centroaguas S.A ESP.

Imagen 1. Localización captación del río Tuluá



. Fuente: Google Earth, 2021

Imagen 2. Recorrido Bocatoma – PTAP.



Fuente: Google Earth, 2021, Interpretación equipo de trabajo.

Fotografía 1. Localización toma de muestras.



Fuente: Autores.

Fotografía 2. Toma de muestras cuenca baja río Tuluá.



Fuente: Autores.

Fotografía 3. Toma de muestras de agua cuenca baja del río Tuluá.



Fuente: Autores.

A partir de los valores obtenidos, se realizaron los análisis estadísticos para poder determinar el ICA. La información de estos análisis se presenta en los Cuadros 1, 2 y 3 a continuación.

Cuadro 1. Datos fisicoquímicos y microbiológicos mes de abril.

Muestra mes de abril.	
Parámetro	Valor obtenido
Oxígeno Disuelto mg/L	7,09 / 18,1 °C
Conductividad μ S/cm	141,6
pH unidades	7,94
Turbiedad (U.N.T)	700
DQO mg/L O ₂	40
DBO ₅ mg/L	1,4
Solidos suspendidos mg	1.402
T °C	18,1
Coliformes totales (U.F.C/100 cm ³)	32.200
Coliformes fecales (U.F.C/100 cm ³)	3.200

Fuente: Autores.

Cuadro 2. Datos fisicoquímicos y microbiológicos mes de mayo.

Muestra mes de mayo.	
Parámetro	Valor obtenido
Oxígeno Disuelto mg/L	8,94 / 17,1 °C
Conductividad μ S/cm	133,0
pH unidades	8,00
Turbiedad (U.N.T)	500
DQO mg/L O ₂	32
DBO ₅ mg/L	1,4
Solidos suspendidos mg	1.200
T °C	17,5
Coliformes totales (U.F.C/100 cm ³)	8600
Coliformes fecales (U.F.C/100 cm ³)	100

Fuente: Autores.

Cuadro 3. Datos fisicoquímicos y microbiológicos mes de junio.

Muestra mes de junio.	
Parámetro	Valor obtenido
Oxígeno Disuelto mg/L	8,23 / 18°C
Conductividad $\mu\text{S/cm}$	163,5
pH unidades	7,99
Turbiedad (U.N.T)	120
DQO mg/L O ₂	41
DBO ₅ mg/L	2,0
Solidos suspendidos mg	150
T °C	17,8
Coliformes totales (U.F.C/100 cm ³)	5.700
Coliformes fecales (U.F.C/100 cm ³)	600

Fuente: Autores.

Análisis de los parámetros identificados y analizados durante los meses de abril, mayo y junio:

- **Oxígeno Disuelto:** Teniendo en cuenta lo nombrado por Roldan (como se citó en CORTOLIMA 2009) el oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua y los valores normales varían entre los 7.0 y 8.0 mg/L esto quiere decir que el río Tuluá solo para el mes de abril estuvo dentro del rango aceptable sin embargo en los meses de mayo y junio sobrepaso el límite de dichos valores, presentando valores de 8,94 y 8,23 mg/L.
- **Conductividad:** Se determinó que la conductividad estuvo por debajo de los 200 $\mu\text{S/cm}$ en todos los meses, lo cual quiere decir que se encuentra dentro de los valores permisibles de acuerdo a la Resolución 2115 de 2007 en la cual dice que el valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 microsiemens/cm. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2007).

- **pH:** El agua de un río no contaminado posee valores de pH que varían entre 6,0–8,5. La determinación de este parámetro es importante, ya que presenta una gran influencia en muchos sistemas biológicos. Valores superiores o inferiores a este ámbito producen limitaciones en el desarrollo y fisiología de los organismos acuáticos y en la biota en general. (Beita y Barahona, 2010).
Dicho lo anterior el agua del río Tuluá obtuvo valores entre 7 y 8 unidades de potencial de hidrogeno con lo cual se puede deducir que el agua de esta zona del río Tuluá posee un buen balance de los químicos presentes en el agua y de sus contaminantes.
- **Turbiedad:** Los niveles de turbiedad obtenidos durante los 3 muestreos para los meses de abril, mayo y junio fueron elevados estando muy por encima del valor máximo permisible indicado por la normatividad Colombiana el cual es 2 UNT (Unidades nefelométricas de turbiedad). Se observa que en los periodos de lluvia la turbiedad fue mucho mayor con valores de 700 y 500 UNT para los meses de abril y mayo respectivamente, mientras que en el mes de junio presento un valor de 120 UNT, estos valores se asocian al cambio de clima, teniendo en cuenta que en junio el periodo fue seco.
- **DQO:** Teniendo en cuenta que la Demanda química de oxígeno se refiere a la cantidad de oxígeno necesaria que permite oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO₂ y H₂O, se pueden observar valores bajos de DQO los cuales se encuentran entre 32 a 41 mg/L O₂ en la cuenca baja del río Tuluá, por lo cual se deduce que es un agua con contaminación baja debido a que a mayor DQO existe mayor contaminación.
- **DBO₅:** La DBO se encuentra relacionada con la DQO y también se utiliza para medir el grado de contaminación del agua. Un incremento de la DBO conlleva mayor carga bacteriana (patógenos), que produce efectos adversos en la salud de la población por consumo directo del agua o indirecto a través del consumo de alimentos cuyo riego

agrícola se ha realizado con agua contaminada. (Orjuela et al., 2010, p. 231). Para el caso del río Tuluá la DBO se encuentra entre 1,4 y 2,0 mg/L.

- **Sólidos suspendidos:** Los sólidos suspendidos en la cuenca baja del río Tuluá al igual que la turbiedad presentaron valores más altos en los meses de abril y mayo, los cuales fueron periodos lluviosos a diferencia del mes de los valores presentados en el mes junio, los sólidos que se encuentran en suspensión disminuyen la transparencia del agua, dichos sólidos pueden estar asociados a procesos de remoción de tierra por arrastre, vertimientos industriales y/o urbanos, esta situación puede afectar a los organismos presentes en la cuenca baja del río Tuluá en cuanto a la producción por fotosíntesis, visibilidad y capacidad de alimentarse.
- **Temperatura:** La temperatura del agua de la cuenca baja del río Tuluá se encuentra entre los 17°C a 18 °C, tanto para la temporada de lluvia (abril y mayo), como para el periodo seco (junio), dicho valor se encuentra dentro de los valores aceptables (< 35 °C) establecido para los ecosistemas acuáticos, los valores de temperatura afectan directamente la cantidad de oxígeno que puede transportar el agua , por lo cual se puede considerar que las especies que habitan en la zona baja del río Tuluá poseen buen ambiente acuático en cuanto a este parámetro.
- **Coliformes Totales:** Los coliformes totales en la cuenca baja del río Tuluá oscilaron entre 32.200, 8.600 y 5.700 para los meses de abril, mayo y junio respectivamente con lo cual nos muestra una alta contaminación microbológica, de acuerdo a (Gualdrón Durán, 2016, p. 45). “Los coliformes totales (CT) se utilizan para identificar posibles cambios en la localidad biológica del agua, indicando que el cuerpo de agua ha sido contaminado con materia orgánica de origen fecal, tanto animal como humana, viéndose acelerada la productividad primaria de los cuerpos loticos”
- **Coliformes Fecales:** Se evidencian altos niveles de coliformes fecales en la cuenca baja del río Tuluá, lo cual indica que el agua aquí presente no es apta para el consumo

humano. La presencia de coliformes fecales se encuentra asociada a los vertimientos de aguas residuales de uso industrial o doméstico los cuales afectan de manera directa la calidad del agua pues cabe mencionar que sea un agua apta no debe haber presencia de este parámetro es decir su resultado debe ser 0.

A continuación se comparan algunos parámetros con la ayuda de gráficos con el fin de brindar una mayor comprensión y relación entre los valores obtenidos.

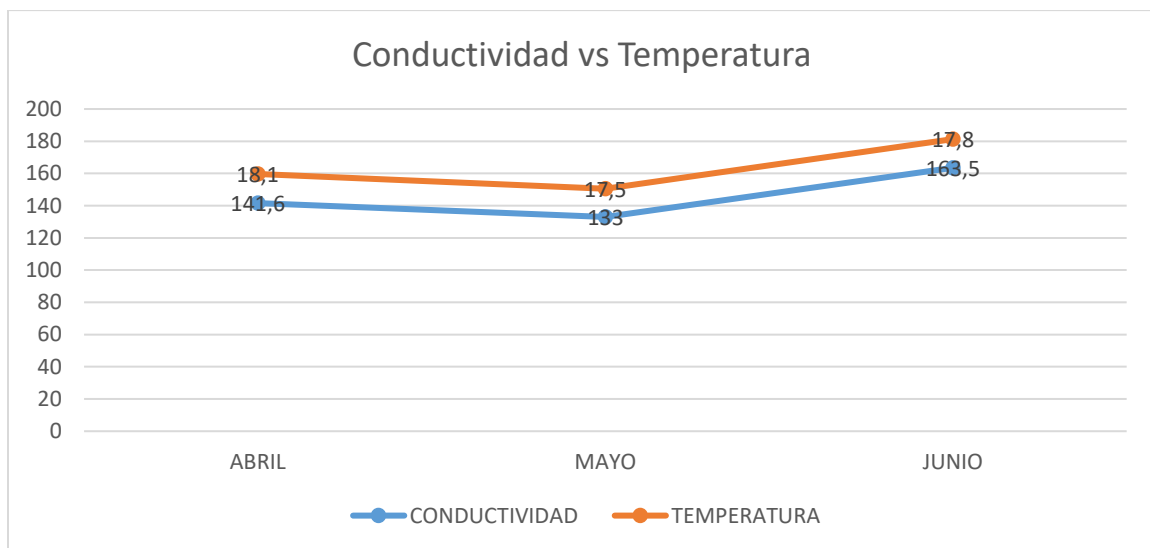


Gráfico 2. Conductividad vs Temperatura. Fuente: Autores.

De acuerdo con lo observado en el gráfico 2, los resultados obtenidos en los meses de abril, mayo y junio en relación a la conductividad y la temperatura se observa la relación existente entre ambos parámetros al ser directamente proporcionales pues a menor temperatura la conductividad disminuye y a mayor temperatura esta tiende a aumentar. Teniendo en cuenta la normatividad colombiana vigente la conductividad se encuentra dentro de los valores permisibles. También se puede deducir de acuerdo a esto que la cuenca baja del río Tuluá no presenta altos contenidos de sólidos disueltos pues dichos parámetros se encuentran relacionados de acuerdo a dicha resolución.

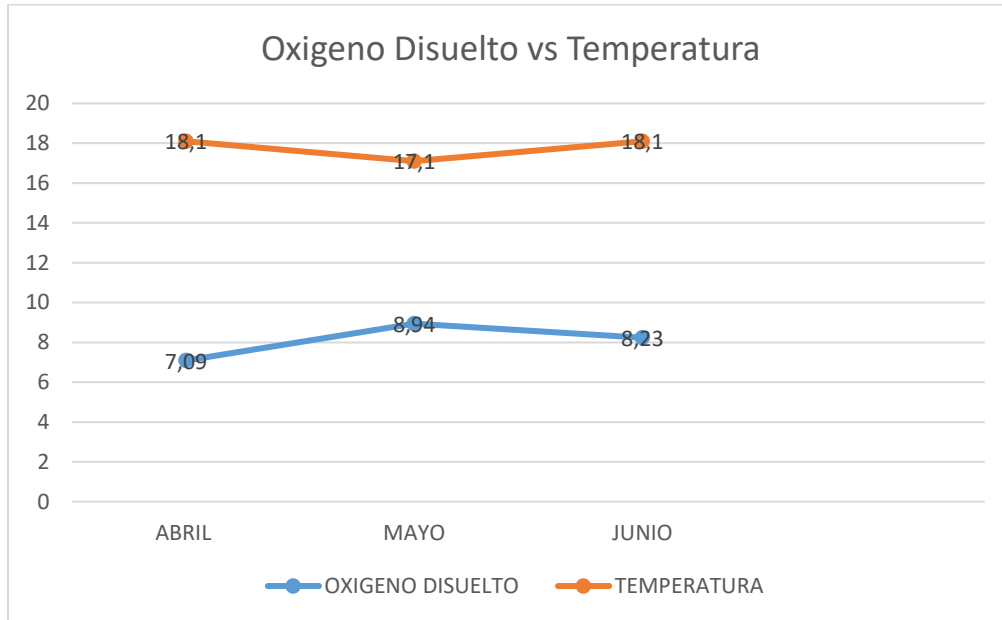


Gráfico 3. Oxígeno Disuelto Vs Temperatura. Fuente: Autores.

En el gráfico 3 se observa la relación que existe entre el oxígeno disuelto y la temperatura, se puede evidenciar que a menor temperatura el oxígeno disuelto aumenta, como sucede en el caso de la muestra realizada en el mes de mayo la cual presentó el mayor valor de este parámetro.

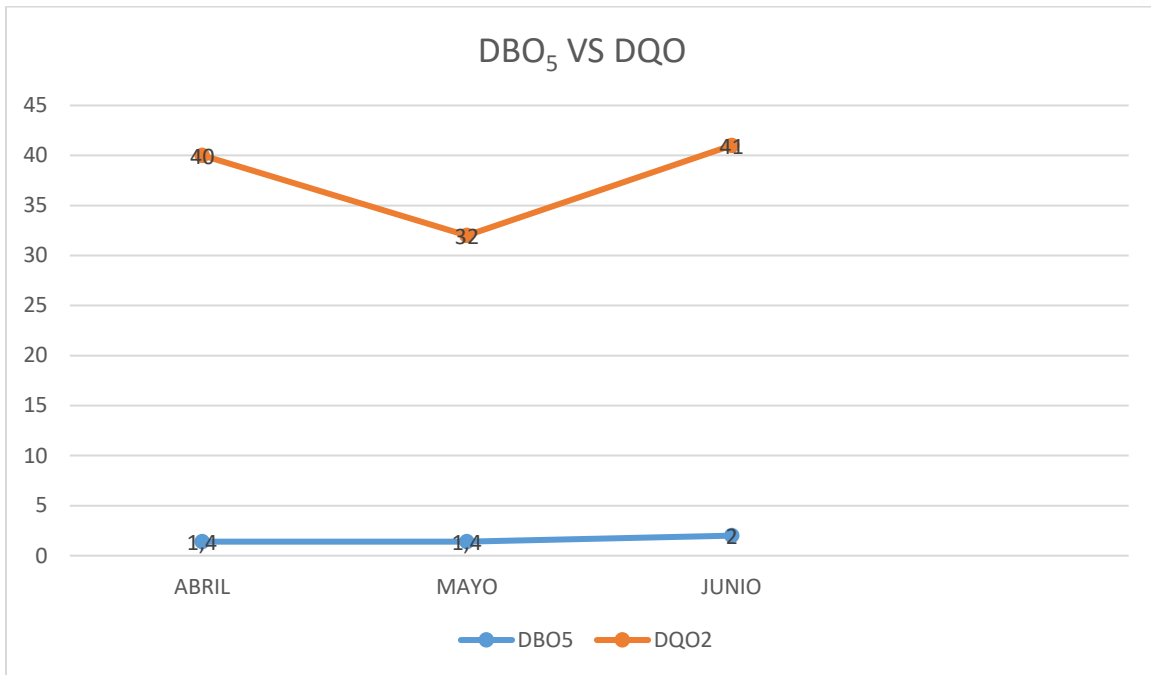


Gráfico 4. DBO₅ vs DQO. Fuente: Autores.

El gráfico 4, proporciona la comparación entre los parámetros de demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno, evidenciando que los valores de DQO son mayores que los valores presentados de DBO₅, lo anterior se debe a que el oxidante químico posee la capacidad de reaccionar con sustancias de compleja biodegradación para los microorganismos (Mejía y Güiza, 2020)

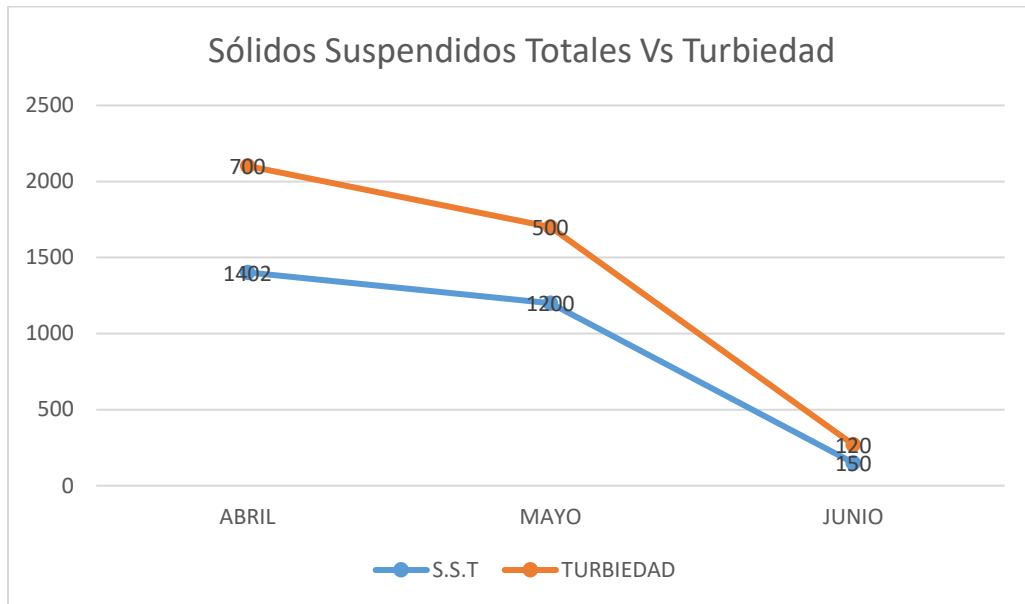


Gráfico 5. Sólidos Suspendidos Totales Vs Turbiedad. Fuente: Autores.

En el gráfico 5, se encuentran plasmados los valores de turbiedad y solidos totales, se observa la relación existente entre ambos parámetros y se evidencia un valor más alto de ambos en los meses de abril y mayo, sin embargo en el mes de junio disminuyó en gran escala, esto puede ser debido a que en los meses de abril y mayo las lluvias fueron más frecuentes y fuertes a diferencia del mes de junio que fue un periodo con clima seco. La turbiedad se encuentra fuera de los valores permisibles los cuales son 2 UNT ya que presento valores de 700, 500 y 120 UNT, siendo el mes de abril el valor más alto para este parámetro.

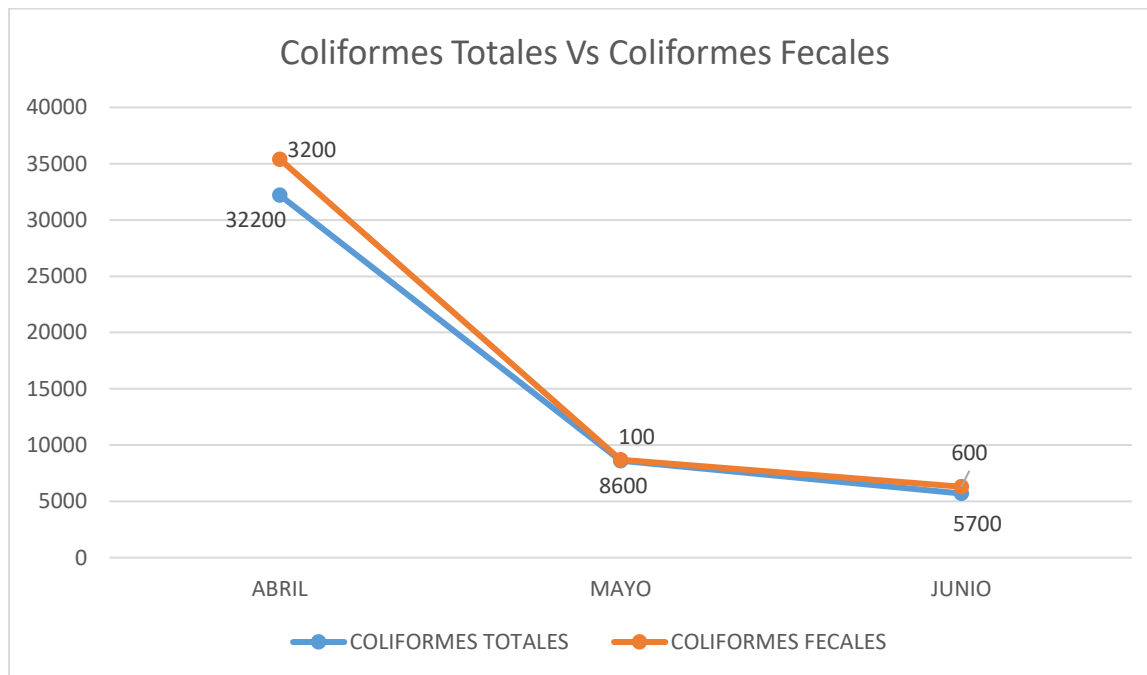


Gráfico 6. Coliformes Totales Vs Coliformes Fecales. Fuente: Autores.

En cuanto a los coliformes totales y los coliformes fecales en el gráfico se determina que el mes de abril fue el más crítico y que presentó valores más altos en comparación con los posteriores meses, cabe mencionar que de acuerdo a la normatividad vigente el agua para ser apta para el consumo humano no debe presentar valores de coliformes totales ni fecales es decir debe ser igual a 0, estos valores evidencian la falta de sistemas de tratamientos de agua residual en los corregimientos de la zona rural alta del municipio de Tuluá, pues las viviendas realizan el vertimiento directo a la fuente hídrica.

Determinación Índice de Calidad de Agua. ICA.

Como siguiente paso se procedió a determinar los valores del subíndice I. para cada variable de acuerdo a la ecuación propuesta en la metodología del IDEAM para hallar el Índice de Calidad de Agua.

Cuadro 4. Valores subíndice de las variables propuestas por el IDEAM.

Mes muestreo	O.D mg/L	I O.D	S.S.T mg	I S.S.T	DQO mg/L	I DQO	pH unidades	I pH	Conductividad	I Conductividad
Abril	7,09 / 18,1 °C	0,739	1402	0	40	0,51	7,94	1	141,6	0,581
Mayo	8,94 / 17,1 °C	0,922	1200	0	32	0,51	8,00	1	133	0,615
Junio	8,23 / 18,1 °C	0,857	150	1	41	0,26	7,99	1	163,5	0,999

Fuente: Autores.

Conociendo los valores del subíndice se procedió a determinar el ICA para la fuente hídrica del río Tuluá.

Cuadro 5. Cálculo Índice de Calidad de Agua ICA

Mes Muestra	I.W de O.D	I.W de S.S.T	I.W de DQO	I.W de pH	I.W de Conductividad	Sumatoria Variables
Abril	0,148	0	0,102	0,2	0,116	0,57
Mayo	0,184	0	0,102	0,2	0,123	0,61
Junio	0,171	0,2	0,052	0,2	0,199	0,82

Fuente: Autores

Cuadro 6. Promedio del ICA para el río Tuluá.

Mes muestra	Promedio del ICA	Descriptor del ICA
Abril	0,57	REGULAR
Mayo	0,61	REGULAR
Junio	0,82	ACEPTABLE

Fuente: Autores

Los datos evidenciados de acuerdo al valor del ICA calculado para la cuenca baja del río Tuluá, en los meses de abril y mayo obtuvo un índice de calidad de agua regular, mientras que para el mes de junio el índice de calidad de agua fue aceptable. Como primera anotación es necesario mencionar que para los meses de abril y mayo la temporada fue lluviosa, mientras que para el mes de junio la temporada fue seca por lo cual esta variable incide directamente en el resultado obtenido del ICA pues valores de parámetros tales como los sólidos suspendidos los cuales están relacionados con la temperatura, conductividad y turbiedad, presentan valores mucho más altos en los meses muestreados con periodo de lluvia. A su vez los valores determinados de OD y DQO, fueron los parámetros que presentaron más variabilidad influyendo en los valores del ICA, pues ambos parámetros muestran directamente la contaminación de un río debido a que a mayor concentración de ellos, mayor es el grado de contaminación presente en el agua analizada. Con la demanda química de oxígeno y la demanda biológica de oxígeno es posible estimar la contaminación orgánica y aunque para la cuenca baja del río Tuluá ambos parámetros dieron resultados bajos, de igual manera influyeron de manera significativa en el resultado del ICA obtenido en los diferentes meses de muestreo.

El estudio llevado a cabo en el 2007 sobre la calidad de agua del río Tuluá en la zona urbana arrojó valores de alta contaminación, dando como resultado un ICA no aceptable, mientras que en el estudio actual los valores del ICA mejoraron significativamente obteniendo valores regulares y aceptables, por lo tanto, se evidencia, que la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales, ha sido clave en el momento de disminuir

la carga orgánica contaminante del río Tuluá en la cuenca baja, ya que dicho estudio se realizó antes de que la PTAR Municipal entrara en funcionamiento.

Desarrollo Fase 3. Formular estrategias de mejora para la protección y conservación de la Cuenca Hidrográfica del Río Tuluá.

En esta última fase se llevó a cabo el estudio de los resultados que fueron obtenidos en la primera y segunda fase, con el fin de identificar y seleccionar las temáticas más importantes para la formulación de los programas de educación ambiental que permitan la mitigación de las afectaciones a la calidad del agua del río Tuluá, como siguiente paso se procedió a realizar el planteamiento de los programas ambientales como se muestra a continuación.

Planteamiento programas ambientales.

Programa para el manejo de residuos sólidos.

El programa para la gestión de residuos sólidos se escogió a partir de lo observado durante el recorrido de campo en donde se evidenció que existe un mal manejo de los residuos sólidos, pues en muchos de los corregimientos la empresa recolectora no llega hasta estas zonas, provocando que la comunidad disponga los residuos a cielo abierto en zonas cercanas a las corrientes de agua que desembocan en el río Tuluá generando contaminación y malos olores.

Tabla 13. Programa para el manejo de residuos sólidos.

PROGRAMA PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS
1.OBJETIVO DEL PROGRAMA
Diseñar una estrategia que permita la recuperación de residuos sólidos reciclables en las comunidades aledañas al río Tuluá, con el fin de disminuir la cantidad de residuos que se disponen.
2. METAS AMBIENTALES
Reducción del 5% de los residuos sólidos que son dispuestos en las zonas cercanas a las corrientes de la cuenca baja del río Tuluá.
3. JUSTIFICACIÓN
En las visitas de campo llevadas a cabo una de las principales problemáticas evidenciada fue la mala disposición de los residuos sólidos existente dentro de la ronda hídrica del río Tuluá, lo cual incrementa su contaminación, por esta razón con el programa para el manejo de residuos sólidos se desea generar estrategias que promuevan acciones tales como separación en la fuente, manejo adecuado de los residuos, sistemas de aprovechamiento de materia orgánica, entre otras actividades que permitan la reducción de la contaminación no solo en la fuente hídrica del río Tuluá sino también en el suelo y aire.
3.DEFINICIONES
APROVECHAMIENTO: Es la actividad complementaria del servicio público de aseo que comprende la recolección de residuos aprovechables separados en la fuente por los usuarios, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación y

aprovechamiento o hasta la planta de aprovechamiento, así como su clasificación y pesaje.

BOTADERO: Es el sitio de disposición a cielo abierto de los residuos sólidos. Es un sitio de acumulación de residuos sólidos que no cumple con las disposiciones vigentes y crea riesgos para la salud humana y para el ambiente en general.

GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS: Es el conjunto de actividades encaminadas a reducir la generación de residuos, a realizar el aprovechamiento teniendo en cuenta sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento con fines de valorización energética, posibilidades de aprovechamiento y comercialización. También incluye el tratamiento y disposición final de los residuos no aprovechables.

RECICLAJE: Proceso mediante el cual se aprovechan y transforman los residuos sólidos recuperados y se devuelven a los materiales sus potencialidades de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos.

RESIDUO SÓLIDO: Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento principalmente sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador presenta para su recolección por parte de la persona prestadora del servicio público de aseo. Igualmente, se considera como residuo sólido, aquel proveniente del barrido y limpieza de áreas y vías públicas, corte de césped y poda de árboles. Los residuos sólidos que no tienen características de peligrosidad se dividen en aprovechables y no aprovechables.

RESIDUO SÓLIDO APROVECHABLE: Es cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso para quien lo genere, pero que es susceptible de aprovechamiento para su reincorporación a un proceso productivo.

RESIDUO SÓLIDO ESPECIAL: Es todo residuo sólido que por su naturaleza, composición, tamaño, volumen y peso, necesidades de transporte, condiciones de almacenaje y compactación, no puede ser recolectado, manejado, tratado o dispuesto normalmente por la persona prestadora del servicio público de aseo.

SEPARACIÓN EN LA FUENTE: Es la clasificación de los residuos sólidos, en aprovechables y no aprovechables por parte de los usuarios en el sitio donde se generan, de acuerdo con lo establecido en el PGIRS, para ser presentados para su recolección y transporte a las estaciones de clasificación y aprovechamiento, o de disposición final de los mismos, según sea el caso.

4.DESAROLLO

4.1.DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

- Realizar serie de campañas de sensibilización en cuanto al manejo, uso y disposición final de los residuos sólidos dirigida a la comunidad aledaña del río Tuluá.
- Identificar los puntos de disposición a cielo abierto con el fin de implementar allí puntos de recolección y clasificación de los residuos.
- Implementar sistemas de aprovechamiento de materia orgánica.
- Realizar jornadas de limpieza sobre la fuente hídrica.

5.RESPONSABLES

- Comunidad aledaña al río Tuluá.
- Acueducto Centroaguas S.A ESP.
- Secretaría de Asistencia Agropecuaria y Medio Ambiente – SEDAMA
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.

- Empresas Municipales de Tuluá.

Fuente: Autores.

Programa para el manejo de aguas residuales

El programa para el manejo de vertimientos fue planteado debido a que se evidenció que las viviendas aledañas al río Tuluá en la zona rural alta no poseen sistemas de tratamiento de aguas residuales, muy pocas solo utilizan campos de infiltración para tratar los vertimientos que generan.

Tabla 14. Programa para el manejo de aguas residuales.

PROGRAMA PARA EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES
1.OBJETIVO DEL PROGRAMA
Disminuir el número de vertimientos, con el fin de reducir los niveles de contaminación por los vertimientos de agua residual doméstica que desembocan en el río Tuluá.
2. METAS AMBIENTALES
Reducción del 5% de los vertimientos puntuales que son generados en el río Tuluá.
3. JUSTIFICACIÓN
El programa para el manejo de aguas residuales es esencial para la disminución de la contaminación del río Tuluá, especialmente para reducir parámetros tales como coliformes fecales y totales los cuales presentaron un alto valor pues fue evidenciado que en la mayoría de los corregimientos zona rural del municipio de Tuluá por donde hace su recorrido el Río Tuluá no poseen sistema de tratamiento de aguas residuales por lo que hacen el vertimiento de manera directa incrementando el nivel de riesgo para la comunidad que consume este agua sin un tratamiento previo.
3.DEFINICIONES



- **AGUAS RESIDUALES:** Se consideran Aguas Residuales a los líquidos que han sido utilizados en las actividades diarias domésticas, comerciales, industriales y de servicios).
- **AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (ARD):** Son las provenientes de las actividades domésticas de la vida diaria como lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza, etc. Estos desechos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas. Su composición varía según los hábitos de la población que los genera.
- **COLIFORMES:** Bacterias Gram Negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO₂) en un plazo de 24 a 48 horas. Se clasifican como aerobias o anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de la b galactosidasa. Es un indicador de contaminación microbiológica del agua para consumo humano.
- **VERTIMIENTO:** Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido.

4.DESAROLLO

4.1.DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

- Llevar a cabo revisión de los sistemas de tratamiento de agua residual existentes.
- Efectuar limpieza y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de agua residual existentes (campos de filtración y pozos sépticos).
- Impulsar la construcción de pozos sépticos en las viviendas que están ubicadas en la ronda hídrica del río Tuluá.

<ul style="list-style-type: none"> • Llevar a cabo análisis a la calidad de agua tanto fisicoquímicos como microbiológicos.
5.RESPONSABLES
<ul style="list-style-type: none"> • Comunidad aledaña al río Tuluá. • Acueducto Centroaguas S.A ESP. • Secretaría de Asistencia Agropecuaria y Medio Ambiente – SEDAMA • Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca • Empresas Municipales de Tuluá.

Fuente: Autores.

Programa de educación ambiental.

Uno de los problemas identificados fue la falta de educación ambiental frente a temas relacionados con el recurso hídrico, parte fundamental de un cambio verdadero que permita la mejora y disminución de la contaminación es la conciencia ambiental de cada persona, por tal motivo el programa se llevó a cabo el planteamiento del programa de educación ambiental.

Tabla 15. Programa de educación ambiental.

PROGRAMA DE EDUCACIÓN AMBIENTAL
1.OBJETIVO DEL PROGRAMA
Sensibilizar a la comunidad que interviene de diferentes maneras en el río Tuluá fomentado el cuidado del medio ambiente y las fuentes hídricas.
2. METAS AMBIENTALES
Capacitar en un 5% de la comunidad aledaña al río Tuluá en temas relacionados al recurso hídrico, manejo de residuos, vertimientos entre otros temas.
2. JUSTIFICACIÓN
Teniendo en cuenta las problemáticas observadas en el recorrido del río Tuluá, es necesario que la comunidad tome conciencia de las actividades que viene

realizando las cuales repercuten no solo en la calidad de agua de este río sino en la del medio ambiente en general y así mejore su relación con el medio que lo rodea, reconociendo la importancia de conservar los recursos naturales.

3. DEFINICIONES

AMBIENTE: El entorno, incluyendo el agua, el aire y el suelo, y su interrelación, así como las relaciones entre estos elementos y cualesquiera organismos vivos.

CONSERVACIÓN: Acción y efecto de mantener un ecosistema en un buen estado y gestión de la utilización de la biosfera por el ser humano, de tal suerte que produzca el mayor y sostenido beneficio para las generaciones actuales, pero que mantengan su potencialidad para satisfacer las necesidades de las generaciones futuras.

ECOSISTEMA: Sistema natural resultante de la reunión de elementos de mutua interacción, compuesto por organismos vivos y el ambiente físico en que se desarrollan.

RECURSOS NATURALES: Elementos de la naturaleza que el hombre puede aprovechar para satisfacer sus necesidades. Son el agua, el suelo, la flora, la fauna y el aire.

4. DESAROLLO

4.1. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

- Efectuar campañas de sensibilización dirigida a la comunidad acerca de la necesidad de conservación y cuidado de los recursos naturales.
- Impartir talleres dirigidos a los colegios sobre educación ambiental
- Realizar con la comunidad actividades de recolección de residuos sólidos, reciclaje, uso racional del agua, entre otras.

5. RESPONSABLES

- Comunidad aledaña al río Tuluá.
- Acueducto Centroaguas S.A ESP.

- Secretaría de Asistencia Agropecuaria y Medio Ambiente – SEDAMA
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
- Empresas Municipales de Tuluá.

Fuente: Autores.

8. CONCLUSIONES.

- La identificación y análisis de las variables que pueden afectar y modificar la calidad de agua de una fuente hídrica permiten detectar como las actividades antrópicas, agrícolas o en algunos casos industriales repercuten en el nivel de su contaminación. Para el caso de estudio, en la cuenca baja del río Tuluá se observaron actividades que inciden en su calidad tales como: el manejo y la disposición de residuos sólidos ya que la mayoría de los asentamientos que se encuentran en los corregimientos y veredas existentes durante el recorrido de la fuente estudiada efectúan la disposición de residuos a cielo abierto, otra actividad que altera en gran manera la calidad de agua son los vertimientos de aguas residuales domésticas y agrícolas de manera directa pues en la zona rural la mayoría de viviendas no poseen sistemas de tratamiento agua residual.
- De acuerdo a los resultados obtenidos del índice de calidad de agua – ICA para la cuenca baja del río Tuluá oscilo entre valores regulares para los meses abril y mayo en los cuales se presentó periodo lluvioso y aceptable para el mes de junio el cual presento periodo seco.
- La calidad del agua de la cuenca baja del río Tuluá evidencia contaminación derivada de las actividades antrópicas que ocurren a lo largo de su recorrido, sin

embargo se mantuvo entre valores regulares y aceptables. Uno de los valores que incidió de manera significativa en el resultado ICA fue el parámetro de demanda química de oxígeno con el cual se puede calcular los efectos que poseen las descargas de aguas residuales en la fuente que la recibe y para el caso de la fuente hídrica estudiada los valores oscilaron entre 32 a 41 mg/L O₂ por tal motivo se encuentra dentro de los valores máximos permitidos de acuerdo a la resolución 0631 de 2015 es cual es 200 mg/L. (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2015)

- En cuanto a la calidad microbiológica del agua se observó un índice alto de coliformes totales y coliformes fecales, cabe mencionar que de acuerdo a la normatividad vigente estos parámetros deben ser 0 para que sea un agua apta para consumo humano, por lo cual no es recomendable que sea ingerida antes de un debido tratamiento, ni utilizada para preparar alimentos y demás actividades de aseo.
- El trabajo de campo permitió entender que existe poca conciencia a nivel ambiental por parte de la comunidad sobre todo en temas del recurso hídrico, pues la mayoría de las personas no dimensionan la repercusión en la contaminación del agua por las actividades que realizan, por tal motivo uno de los programas formulados fue el programa de educación ambiental el cual involucra a la comunidad, sectores productivos de las áreas de influencia, entes territoriales, entre otros.

9. RECOMENDACIONES

- Es necesario que las entidades que poseen competencia en las actividades de recuperación y conservación del río Tuluá, como la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, la Secretaría de asistencia agropecuaria y medio ambiente, el acueducto del municipio de Tuluá Centroaguas S.A ESP el cual se surte de este río, entre otras entidades, tomen acciones que permitan la disminución de la contaminación de dicha fuente hídrica y así mejorar la calidad de vida de las comunidades que se encuentran en la zona rural alta, ya que las personas asentadas allí en la mayoría de los casos no tienen acceso al agua potable y consumen esta agua de manera directa pudiendo tener afectaciones en su salud.
- Con el fin de obtener mayor información y verificar los resultados del proyecto llevado a cabo se recomienda definir otros puntos de muestreo incluyendo análisis en la parte alta y media del río Tuluá.
- Se recomienda que sea realizado monitoreo periódico al río Tuluá lo cual permitirá tener mayor control de los aspectos físicos, químicos y microbiológicos que permitan reaccionar a tiempo en el control y disminución de la contaminación de manera gradual del recurso hídrico.

REFERENCIAS

- ✚ Arias Arbeláez, Fabio Alberto. (2005). Evaluación del desarrollo sostenible en la cuenca del río Tuluá: a propósito de los planes de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas en Colombia. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/colombia/cidse/doc97.pdf>

- ✚ Beita-Sandí, Wilson y Barahona-Palomo, Marco (2011). Físico-química de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón, Península de Osa, Costa Rica. Revista de Investigación UNED / Cuadernos de Investigación UNED, 2 (2), 157-179. ISSN: 1659-4266. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=515651982004>

- ✚ Castro, Mario. Almadia, Juniel. Ferrer, Julio y Díaz, Daissy. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global”. Ingeniería Solidaria, vol. 10, n.º 17, pp. 111-124. doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.811>

- ✚ Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2011). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Tuluá, Departamento del Valle del Cauca. Colombia. Recuperado de https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_Cuencas_Hidrografica/Tulua/POMCH%20TULUA_1.pdf

- ✚ Comisión Nacional en Defensa del Agua y de la Vida. (s.f.). Recursos hídricos. Recuperado de http://www.ffose.org.uy/aguayvida/web/content/recursoshidricos_importancia.html

- ✚ Contraloría Municipal de Tuluá. (2016) Informe del estado de los recursos naturales, municipio de Tuluá, 2016. Recuperado de <http://www.contraloriatuluá.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/INFORME-ESTADO-RECURSOS-NATURALES-2016.pdf>

- ✚ Corporación Autónoma Regional del Tolima.(2009). Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Anamichú – Tolima. Recuperado de https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/POMCAS/POMCA_ANAMICHU/CAPITULO_2._DESCIPCION_DE_LA_CUENCA/1._SUBSISTEMA_FISICOBIOTICO/1.7_CALIDAD_DE_AGUAS.pdf

- ✚ Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2017). Balance Oferta – Demanda de Agua Cuenca del Río Tuluá. Recuperado de https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2018-09/Balance_Tuluá_0.pdf

- ✚ Díaz Delgado, Carlos; Esteller Alberich, María Vicenta y López Vera, Fernando. (2005). Recursos Hídricos Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica. Recuperado de <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/rh01/rh01.pdf>

- ✚ Díaz Martínez, Jorge Alberto, y Granada Torres, Carlos Arturo. (2018). Efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del río Bogotá a lo largo del municipio de Villapinzón, Colombia. Revista de la Facultad de Medicina, 66(1), 45-52. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.59728>

- ✚ Generali. 2021. Cómo afecta el medioambiente a nuestra salud. Recuperado de <https://www.generalis.es/blog/tuasesorsalud/como-afecta-el-medio-ambiente-a-nuestra-salud/>

- ✚ Fierro Ortiz, Erika Y Caballero Rodríguez, Luis Enrique. (2015). Evaluación de la calidad del agua del humedal de Santa María del Lago mediante el uso de índices biológicos y fisicoquímicos para su implementación en otros humedales. Recuperado de <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/1700/2015luiscaballero.pdf?sequence=8&isAllowed=y>
- ✚ Guerrero Trujillo, Jenifer. (2018). Evaluación de las condiciones de calidad del agua de Caño Grande localizado en el municipio de Villavicencio. Recuperado de <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13626/2018jeniferguerrero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ✚ Gómez Marín, Ana María. Naranjo Fernández, Darío. Martínez, Andrés Alfonso Y Gallego Suárez, Darío de Jesús. (2007). Calidad del Agua en la parte alta de las cuencas calidad del agua en la parte alta de las cuencas Juan Cojo Juan Cojo y El Salado (Girardota – Antioquia Antioquia, Colombia). Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v60n1/a08v60n1.pdf>
- ✚ Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2013). Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA). Recuperado de http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21_HM_Indice_calidad_agua_3_Fl.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031
- ✚ Libro Blanco Del Agua En España. (2000). La Situación Actual y los Problemas Existentes y Previsibles. Recuperado de https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan%20de%20Recuperacion%20del%20J%20C%20Bacar/Cap.3_part2._Libro_blanco_del_agua.pdf

- ✚ Mejía Torres, Diego y Güiza Salcedo Diana Carolina. (2020). Evaluación de la calidad del agua por medio de un análisis fisicoquímico a partir de las actividades antrópicas desarrolladas en el Caño Banderas, municipio de Puerto López - Meta. Recuperado de

- ✚ Martínez Ortiz, Santiago Sebastián Y Barrero Arias, Ingrid Jasbleidy. (2018). Evaluación de las condiciones de Calidad del Agua, para la formulación de estrategias de aprovechamiento y conservación de la microcuenca quebrada La Argentina, Villavicencio – Meta. Recuperado de <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12064/2018santiagomartinez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- ✚ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f). Demanda del agua. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/administracion-del-recurso-hidrico/demanda>

- ✚ Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015) .Resolución 631 de 2015. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf

- ✚ Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2007) .Resolución 2115 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Recuperado de

https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislacion_del_agua/Resolucion_2115.pdf

- ✚ Montoya Delgadillo, Carol Viviana, (2018). Determinación de la calidad físicoquímica del Caño Pilatos en un tramo aguas arriba y aguas abajo de la descarga de las aguas de recambio de la piscícola el manantial, Restrepo-Meta. Recuperado de <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13800/2018carolmontoya.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ✚ Moreno Avendaño, Julita. Velasco, Miguel Andrés. Torres Valdez, Julio. (2016). El Cambio Climático En Una Comunidad Originaria Estudio de caso en Cuilapam de Guerrero, Oaxaca, México. Recuperado de <http://www.eumed.net/libros-gratis/2016/1523/recursos.htm>
- ✚ Muñoz, Javier Andrés Esteban y Gómez Aguilar, Dora Luz. (2020). Generalidades del EPI 2020 y análisis de los indicadores del Objetivo de Salud Ambiental para el caso de Colombia. Recuperado de <http://19096-Texto%20del%20artículo-112114-1-10-20220216.pdf>
- ✚ Organización de las Naciones Unidas. (2000). Agenda 21. Capítulo 18. Protección de la calidad y el suministro de los recursos de agua dulce: Aplicación de criterios integrados para el aprovechamiento, ordenación y uso de los recursos de agua dulce. Recuperado de <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/recursos/224844/Contenido/H%20programas/23%20Agenda%2021.pdf>
- ✚ Orjuela Luz Consuelo, Saldarriaga Gabriel, García Martha y Wilches Hernando. (2010). Calidad del agua superficial en Colombia. Capítulo 6. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP6.pdf>

- ✚ Otálora Viracachá, Mildred Carolina. (2019). Estrategia de gestión de la calidad fisicoquímica del agua, estudio de caso: Microcuencas quebradas carbonera y Quijana en el municipio de la Mesa, Cundinamarca. Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/18707>

- ✚ Quiñones Valbuena, Jessica Y Martínez Urrea, Leidy Lorena. (2019). Análisis de la afectación en la calidad del agua del Caño Siete Vueltas del municipio de Villavicencio por vertimientos de aguas residuales. Recuperado de <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/19535/2019lorenamartinez?sequence=6&isAllowed=y>

- ✚ Ramírez Quirós, Francisco. Control De Calidad En Las Aguas De Consumo Humano. (s.f). Recuperado de <http://www.elaguapotable.com/CONTROL%20DE%20CALIDAD%20DEL%20AGUA%20DESTINADA%20AL%20CONSUMO%20HUMANO.pdf>

- ✚ Rodríguez Barrientos, Francisco. 2006. Cuencas hidrográficas, descentralización y desarrollo regional participativo. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/666/66612867008.pdf>

- ✚ Secretaría de Salud Municipal de Tuluá. 2020. Mapa de Índice de Riesgo de Calidad de Agua IRCA para Consumo Humano del Acueducto del Municipio de Tuluá.

- ✚ Sistema de Información del Recurso Hídrico. (s.f). Demanda. Recuperado de <http://capacitacion.sirh.ideam.gov.co/homeSIRH/HOME/demanda-n3.html>

- ✚ Tambo Lopez, Cristian Stiven. (2015). Propuesta de un índice de calidad del agua como herramienta de gestión para los humedales capitalinos. Recuperado de

<http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2582/2015cristiantambo.pdf?sequence=8&isAllowed=y>

- ✚ Uribe García, Carlos Mario. (2019). Formulación de un índice de calidad de aguas para cuencas rurales en zonas de montaña basado en un estudio de subcuencas de la microcuenca Doña María del Valle de Aburrá. Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/18682>

- ✚ Universidad de Pamplona. Indicadores de la calidad del agua. Generalidades. Recuperado de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo2.pdf