

	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>08-07-2021</b>	<b>B</b>
Dependencia	Aprobado		Pág.	
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>i(138)</b>	

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

<b>AUTORES</b>	<b>Elianis Sileth Morales Castrillo Jamer David Timoté León</b>		
<b>FACULTAD</b>	<b>Ciencias agrarias y del ambiente</b>		
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	<b>Ingeniería Ambiental</b>		
<b>DIRECTOR</b>	<b>Msc. Rocío Andrea Miranda Sanguino</b>		
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	<b>Evaluación de la calidad del agua de la microcuenca quebrada El Silencio del corregimiento de Otaré, municipio de Ocaña, Norte de Santander</b>		
<b>TITULO EN INGLES</b>	<b>Evaluation of water quality from the microcuenca El Silencio of small river in the Otaré township, Ocaña city, Norte de Santander</b>		
<b>RESUMEN</b> (70 palabras)			
<p>En la presente investigación se evalúa la calidad del agua de la quebrada El Silencio en el corregimiento de Otaré, municipio de Ocaña, a partir de la determinación del índice de calidad ICACOSU y los índices de contaminación (ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOPH) en cuatro (4) estaciones de monitoreo ubicadas en puntos estratégicos de la microcuenca; para la temporada de más lluvias y de menos lluvias en el primer semestre del 2021.</p>			
<b>RESUMEN EN INGLES</b>			
<p>In the current investigation the water quality is evaluated of the El Silencio small river in the Otaré township, Ocaña city, beginning with determination of quality index ICACOSU and contamination indexes (ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOPH) into four (4) monitoring stations located in strategic points of the small river; to the seasons with a lot of rain and a little rain during the first semester of 2021.</p>			
<b>PALABRAS CLAVES</b>	Agua, calidad, índice, monitoreo, muestra.		
<b>PALABRAS CLAVES EN INGLES</b>	Water, quality, index, monitoring, sample.		
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
<b>PÁGINAS: 138</b>	<b>PLANOS: 0</b>	<b>ILUSTRACIONES: 16</b>	<b>CD-ROM: 1</b>



EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA QUEBRADA EL  
SILENCIO DEL CORREGIMIENTO DE OTARÉ, MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE  
SANTANDER

Autores

ELIANIS SILETH MORALES CASTRILLO (161792)

JAMER DAVID TIMOTÉ LEÓN (161720)

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

Director:

Msc. ROCIO ANDREA MIRANDA SANGUINO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA.

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Ocaña, Colombia

septiembre 2020

## Dedicatoria

En primer lugar, dedico este proyecto de investigación a Dios por ser mi principal guía y motor en la culminación de manera exitosa de esta nueva etapa de mi vida. A toda mi familia y amigos, principalmente a mis padres Odelis Castrillo Ballesteros y Alfonso Morales Ospino que han sido el pilar fundamental en mi formación, por brindarme la confianza y oportunidad de recursos para lograrlo, a mis abuelos, a mis hermanos, en especial a mi hermana Eliana Morales Castrillo y a mi novio Jhan Carlos Peinado por creer siempre en mí y por brindarme su fuerza y apoyo incondicional en cada paso que realice para llegar hasta donde estoy hoy, y por ultimo a todos esos amigos con los que compartí todos estos años y que me apoyaron siempre.

*Elianis Sileth Morales Castrillo*

A Dios, por sostenerme, darme el regalo de la vida y con ella la oportunidad de concluir con éxito este proceso de formación. A mis padres; Marlene, por cada palabra de aliento y ser ese apoyo moral para lograr mis propósitos; David (*q.e.p.d*) que aun desde la eternidad sigue siendo mi modelo a seguir y recordándome el valor de la familia. A mis hermanas Johana y Yenny que son la alegría mi familia. Al señor Carlos Alirio Sanabria por ser ese amigo que me apoyo desde el primer día y a todos aquellos con los que compartí en esta etapa de mi vida.

*Jamer David Timoté León*

## Agradecimientos

Queremos agradecer en primera instancia a:

Nuestra directora temática Msc. Rocío Andrea Miranda sanguino quien de forma cariñosa nos impartió sus conocimientos, ideas y correcciones las cuales le dieron cauce a la investigación, además de brindarnos el tiempo necesario en todo el proceso.

A la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, por darnos la oportunidad de adquirir y enriquecernos de nuevos saberes, por facilitarnos las herramientas, los laboratorios y los medios necesarios para culminar de manera exitosa nuestro trabajo de investigación y este proceso de formación como profesionales.

A la docente Esp. María Alejandra Vergel Bermúdez por mostrarse siempre dispuesta ayudarnos a través del laboratorio en los resultados de los análisis.

Al señor Alcides, por sacar siempre de su tiempo un espacio para enseñarnos su conocimiento sobre el trabajo de campo y toma de muestras, además de estar siempre pendiente de ayudarnos a resolver nuestras inquietudes.

Al señor José, fontanero de la PTAP, por brindarnos de su tiempo un espacio para darnos un recorrido por toda la microcuenca y así conocer las interacciones que en ella se presentan.

A nuestro compañero Yeison Lozano por apoyarnos en la realización de los muestreos.

Y a todas las demás personas que nos brindaron sus aportes para llevar a cabo la realización de dicho proyecto.

## Índice

<b>Capítulo 1. Titulo</b> .....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Formulación Del Problema.....	4
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General .....	4
1.3.2 Objetivo Específicos.....	5
1.4 Justificación.....	6
1.5 Delimitaciones.....	8
1.5.1 Delimitación geográfica .....	8
1.5.2 Delimitación temporal .....	9
1.5.3 Delimitación conceptual.....	9
1.5.4 Delimitación operativa .....	10
<b>Capítulo 2. Marcos de referencial</b> .....	11
2.1 Marco Histórico.....	11
2.2 Marco Contextual .....	16
2.3 Marco Conceptual .....	19
2.4 Marco Teórico .....	36
2.5 Marco Legal.....	41

<b>Capítulo 3. Diseño metodológico</b> .....	44
3.1 Tipo de investigación .....	44
3.2 Población y muestra .....	45
3.2.1 Población .....	45
3.2.2 Muestra .....	45
3.2.3 Variables .....	46
3.3 Técnica e instrumentos de recolección de información .....	46
3.3.1 Fase I. Recolección de información .....	46
3.3.2 Fase II. Caracterización morfométrica de la microcuenca .....	49
3.3.3 Fase III. Monitoreo de la calidad y oferta superficial de la microcuenca quebrada el silencio .....	50
3.3.3.1 Establecimiento de las estaciones de monitoreo .....	50
3.3.3.2 Georreferenciación .....	53
3.3.3.3 Procedimiento para foro de caudal .....	53
3.3.3.4 Procedimiento para toma de muestras y análisis de variables .....	53
3.3.4 Fase IV. Valoración y evaluación de la calidad del agua quebrada el silencio ..	55
3.3.5 Fase V. Tratamiento, triangulación y evaluación de la información .....	62
3.4 Cronograma de actividades .....	64
<b>Capítulo 4. Presentación de resultados</b> .....	66
4.1. Caracterización morfométrica de la microcuenca .....	66

4.2. Caracterización de recurso hídrico .....	71
4.2.1. Caudal.....	71
4.2.2. Caracterización Organoléptica del agua.....	74
4.2.3. Resultados de análisis físico-químicos.....	75
4.2.4. Resultados de análisis microbiológicos.....	81
4.3. Determinación de índice de calidad del agua en corrientes superficiales .....	84
4.4. Determinación de índice de contaminación del agua .....	86
4.5. Análisis de relación para variables físico-químicas y microbiológicas.....	88
4.5.1. Análisis de correlación lineal. ....	88
4.5.2. Análisis de regresión lineal. ....	91
<b>Capítulo 5. Conclusiones.....</b>	<b>98</b>
<b>Capítulo 6. Recomendaciones.....</b>	<b>101</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>103</b>
<b>Apéndices.....</b>	<b>114</b>

## Lista de tablas

Tabla 1. Parámetros evaluados por los índices de contaminación .....	35
Tabla 2. Tabla de atributos par las estaciones de monitoreo .....	51
Tabla 3. Variables del ICACOSU .....	57
Tabla 4. Descriptores de Calidad del ICACOSU .....	59
Tabla 5. Significancia de los índices de contaminación ICOs .....	62
Tabla 6. Cronograma de actividades .....	64
Tabla 7. Parámetros morfométricos de la microcuenca El Silencio.....	68
Tabla 8. Caudales en las cuatro estaciones de monitoreo en época de menos lluvia .....	71
Tabla 9. Caudales en las cuatro estaciones de monitoreo en época de más lluvia .....	72
Tabla 10. Estadísticos descriptivos para los datos de caudal .....	72
Tabla 11. Resultados de parámetros fisico-químicos de laboratorio UFPSO .....	75
Tabla 12. Resultados de parámetros fisico-químicos de laboratorio UPB.....	76
Tabla 13. Estadísticos descriptivos de parámetros fisico-químicos del laboratorio UFPSO .....	77
Tabla 14. Estadísticos descriptivos de parámetros microbiológicos.....	81
Tabla 15. Índice de calidad para las dos estaciones en los puntos de captación .....	84
Tabla 16. Índices de contaminación determinados para cada estación y épocas de estudio	86
Tabla 17. Análisis de regresión para la temperatura con pH y oxígeno disuelto .....	92
Tabla 18. Análisis de regresión para el pH con fluoruros y oxígeno disuelto.....	93
Tabla 19 Análisis de regresión para el caudal con conductividad y dureza total.....	95

## Lista de figuras

Figura 1. Microcuenca El Silencio. ....	17
Figura 2. Área de estudio. ....	52
Figura 3. Morfometría de la microcuenca el Silencio. ....	67
Figura 4. Clasificación de pendientes de la microcuenca el Silencio. ....	68
Figura 5. Gráfico de dispersión de los caudales medidos en época de menos lluvia. ....	72
Figura 6. Gráfico de dispersión de los caudales medidos en época de más lluvia. ....	73
Figura 7. Gráfico Boxplot para resultados microbiológicos. ....	82
Figura 8. Índice de calidad para las dos estaciones en los puntos de captación. ....	84
Figura 9. Índice de contaminación para cada estación en las dos épocas de estudio. ....	86
Figura 10. Gráfica de los índices de correlación para las variables físico-químicas y microbiológicas. ....	89
Figura 11. Gráfica de regresión para temperatura y pH. ....	92
Figura 12. Gráfica de regresión para temperatura y oxígeno disuelto. ....	93
Figura 13. Gráfica de regresión para pH y fluoruros. ....	94
Figura 14. Gráfica de regresión para pH y oxígeno disuelto. ....	94
Figura 15. Gráfica de regresión para caudal y conductividad. ....	95
Figura 16. Gráfica de regresión para caudal y dureza total. ....	96

## Resumen del trabajo de grado

El presente proyecto de investigación se llevó a cabo en la vereda el Silencio del corregimiento de Otaré, Municipio de Ocaña, N.S; teniendo como objetivo evaluar la calidad del agua de la microcuenca el silencio a partir de la determinación del índice de calidad del agua para corrientes superficiales (ICACOSU) y de los índices de contaminación del agua (ICOMI, ICOMO, ICOSUS y ICO-pH) para lo cual se establecieron cuatro (4) estaciones en temporada de más lluvia y menos lluvia, realizando en cada uno muestreos con toma de muestras simples y aforos de caudal según lo establecido por la metodología del IDEAM (2018), posteriormente se realizaron los respectivos análisis físico-químicos y microbiológicos en el laboratorio de aguas de la UFPSO y el laboratorio de estudios ambientales de la UPB lo que permite concluir si la quebrada cumple con los estándares de calidad para aguas superficiales.

La metodología empleada durante la realización del proyecto es de carácter mixto con enfoque cuantitativo y cualitativo, además de abordar un alcance descriptivo e interpretativo que permite conocer el comportamiento del problema de estudio y sus componentes. Se tomaron muestras simples en cada estación para la evaluación de variables físico-químicos y microbiológicos según la metodología del IDEAM (2018). Se realizó análisis de correlación y regresión para determinar el grado de asociación de las variables en la quebrada el Silencio.

Todos los parámetros evaluados en las estaciones monitoreadas en los periodos de más y menos lluvias, no sobrepasaron los valores máximos permisibles establecidos por el decreto 1594/1984 y la resolución 631/2015.

Se encontró una “baja contaminación” por Mineralización (ICOMI), por sólidos suspendidos (ICOSUS) y por materia Orgánica (ICOMO) solo la estación dos (2) en temporada de más lluvia presentó un aumento en el grado de contaminación y el pH no presentó alteración en el agua (ICOpH) en ninguna de las estaciones para ambos periodos de muestreo. Para el índice de calidad (ICACOSU) se clasificó generalmente en aceptable en las dos estaciones monitoreadas; indicando que el cuerpo de agua presenta variabilidad y contaminación leve.

## Introducción

Las aguas superficiales son las principales fuentes de abastecimiento para el desarrollo de las comunidades que interactúan alrededor de las mismas, que de igual modo dependen para la satisfacción de sus necesidades diarias como consumo, riego de cultivos, agricultura, entre otros.

De igual forma la quebrada el Silencio es considerada como la principal y única fuente abastecedora de agua para consumo humano y para las diferentes actividades agrícolas realizadas en el corregimiento de Otaré, cuenta con una captación para el acueducto del corregimiento con alrededor de 155 suscriptores; sin embargo, en su área de influencia se desarrollan diversas actividades socioeconómicas que contribuyen a la alteración de la calidad del recurso y la composición del agua.

Por tal razón es de gran importancia conocer la calidad del agua debido a que es un factor determinante en la sostenibilidad del ecosistema, que permite comprender el estado actual del cuerpo de agua y sus respectivos usos en el campo social y económico de las regiones.

En respuesta a lo anterior, se pretende evaluar la calidad del agua en cuatro (4) estaciones de monitoreo en puntos estratégicos de la fuente superficial, mediante parámetros físico-químicos y microbiológicos que permitan la determinación del índice de calidad del agua en

corrientes superficiales (ICACOSU) publicado por IDEAM (2009) y de los Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI), Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO), Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS) y Índice de Contaminación por pH (ICOPH) desarrolladas por Ramírez y Viña (1997).

## **Capítulo 1. Título**

**Evaluación de la calidad del agua de la microcuenca quebrada el Silencio del corregimiento de Otaré, municipio de Ocaña, Norte de Santander.**

### **1.1 Planteamiento del problema**

Las fuentes de agua superficial son un elemento esencial para la vida, por ser las principales fuentes de desarrollo y abastecimiento para las diferentes actividades socioeconómicas llevadas a cabo por la población humana, las cuales son utilizadas básicamente y fundamentalmente para satisfacer las necesidades diarias de la población como consumo, riego de cultivos, agricultura, industrias, recreación, entre otros; no obstante, estas actividades causan deterioro y alteración de las mismas ya sea por escorrentía agrícola, descargas de aguas residuales, efluentes de procesos industriales al igual que pueden verse afectadas por condiciones naturales como arrastre de material, presencia de materia orgánica natural, por tal motivo se deben conocer las condiciones y calidad de las mismas ya que esta varía dependiendo de su origen, posición geográfica y hábitos de los pobladores (Sierra, 2011).

La quebrada el Silencio se encuentra localizada en una zona muy montañosa con pendientes altas; debido a su diversidad de formaciones vegetales y la matriz del paisaje posibilita el desarrollo de diversos tipos de actividades socioeconómicas, por lo cual es considerada por sus pobladores como la principal y única fuente abastecedora de agua para

consumo humano y para las diferentes actividades realizadas (cultivos de café, lulo, cebollín, aguacate, frijol, maíz, etc.) en el corregimiento de Otaré, distribuidas en diferentes zonas del afluente, cuenta con una captación de agua en la parte alta para el acueducto del corregimiento con alrededor de 155 suscriptores, los cuales se han organizado en un acueducto comunitario y presentan captaciones no convencionales que han generado conflictos en el uso del recurso.

Cabe resaltar que la quebrada el Silencio se ha visto afecta por la tala de árboles generada por los propietarios de hectáreas aledañas a la misma con el fin de presionar a los pobladores para la compra y conservación del recurso; por otro lado, está la actividad agropecuaria la cual revista en el exceso de pastoreo que ocasiona pérdida de la capacidad de retención del agua contribuyendo a la reducción del recurso, la expansión de terrenos para la realización de sus actividades que trae consigo la tala de árboles para la siembra de cultivos y crear pastos para ganado, así mismo el uso de productos químicos tóxicos para el control y protección de los cultivos de plagas, malezas y enfermedades que por escorrentía van a parar a la fuente superficial contaminando y disminuyendo la calidad del recurso, alteran ecosistemas, reduce la biodiversidad por afectación a la fauna y flora generando la baja disponibilidad de alimentos para otras especies y eleva los costos de tratamiento de las aguas para el consumo; de igual manera, cabe mencionar que la poca participación de la comunidad y de las autoridades también se han visto reflejada como un factor negativo en el desarrollo de la quebrada.

Mediante un taller realizado con líderes del corregimiento el cual se tituló “Taller participativo de análisis situacional de la microcuenca, quebrada el Silencio” con el objetivo de generar un análisis situacional participativo del contexto de la quebrada el Silencio como insumo para la definición de un plan de trabajo comunitario en pro de la microcuenca; se logró identificar las problemáticas y necesidades relacionadas con los usos que se han estado realizando en el área de influencia de la misma; a partir de la información obtenida por los líderes se desarrolló una matriz de marco lógico denominada matriz Vester con el fin de identificar la problemática de mayor impacto, en la cual se identificó como problema central “la contaminación por escorrentía de actividades agropecuarias” como resultado de los sistemas productivos que se desarrollan a partir de una agricultura migratoria que revista en una fuerte demanda sobre el recurso para uso agropecuario y por el uso indiscriminado de productos químicos (agroquímicos, productos veterinarios, plaguicidas, pesticidas, fertilizantes artificiales) que no solo contaminan la zona donde son aplicados, si no que por factores naturales son llevados a fuentes hídricas por medio de lixiviación y escorrentía del agua contribuyendo a la “eutrofización de las fuentes hídricas y al crecimiento de algas” (Sierra, 2011), o se concentran en el suelo contaminado de esta manera las aguas subterráneas y acuíferos; cabe mencionar que estos problemas también son generados por la falta de información y capacitación de las personas que manipulan dichos productos.

Las problemáticas anteriormente identificadas reflejan unas necesidades, principalmente en cuanto a las inconformidades en la dinámica estructural de la quebrada ya que las comunidades por falta de participación ciudadana y técnica, buscan la satisfacción de sus necesidades ya sean primarias, secundarias o terciarias como desarrollo integral y de

supervivencia; y con ello explicar el porqué de sus comportamientos para y con los recursos brindados por la naturaleza.

En respuesta a lo anterior y de acuerdo a la problemática presentada, se toma en consideración la importancia de evaluar el estado actual de la calidad del agua de la microcuenca quebrada el Silencio, considerando los aspectos físico-químicos y microbiológicos dado que en el corregimiento de Otaré no se han realizado estudios que permitan determinar si el agua cumple con las condiciones y requisitos establecidos por la normatividad vigente.

## **1.2 Formulación Del Problema**

¿Cuál es el estado actual de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de la microcuenca quebrada el Silencio abastecedora de 155 usuarios del corregimiento de Otaré, municipio de Ocaña, Norte de Santander?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar la calidad físico-química y microbiológica del agua superficial de la microcuenca quebrada el Silencio del corregimiento de Otaré, Municipio de Ocaña, Norte de

Santander, a partir de la determinación de los índices de contaminación y su análisis de correlación.

### **1.3.2 Objetivo Específicos**

Valorar la calidad fisicoquímicas y microbiológicas de la microcuenca quebrada el Silencio con base en principios y directrices legales de calidad del agua para fuentes superficiales.

Determinar el grado de contaminación de la microcuenca quebrada el Silencio mediante la determinación del índice de calidad del agua para corrientes superficiales (ICACOSU) y de los índices de contaminación del agua (ICOMI, ICOMO, ICOSUS y ICO-pH).

Analizar la calidad superficial del agua de la microcuenca quebrada el Silencio del corregimiento de Otaré mediante la aplicación de análisis correlacional y de regresión propuesto por Sierra Ramírez (2011), con base en los resultados obtenidos de las variables fisicoquímicas y microbiológicas.

## 1.4 Justificación

La quebrada el Silencio es un importante ecosistema para la población del corregimiento de Otaré por ser su principal fuente de abastecimiento, ser la fuente hídrica más cercana y con mejores características por su estado de intervención, lo que promueve a su conservación y cuidado como determinante en el desarrollo de sus habitantes.

No obstante, en el área de influencia de la quebrada se desarrollan diversas actividades socioeconómicas que contribuyen a la alteración de la calidad del recurso hídrico, afectando directamente la composición del agua y la salud de sus pobladores, por consiguiente, se hace necesario realizar una evaluación de la calidad del agua que la comunidad está consumiendo, debido a que el sistema de abastecimiento es no convencional y no cuenta con un tratamiento para su distribución; además de no contar con estudios realizados referentes que son indispensables para establecer las medidas correspondientes acerca de su uso.

Conocer la calidad del recurso hídrico es base para la toma de decisiones en cuanto al uso del agua y las recomendaciones que se deben tener por su utilidad en diversos lugares para consumo humano, de tal manera que, la (ONU, 2015) plantea en su objetivo seis (6) dentro de los objetivos de desarrollo sostenible 2030 “garantizar la disponibilidad del agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”, del mismo modo el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2019-2022 se proyecta a la prestación de servicios públicos competitivos y en especial al servicio de agua potable de calidad; por ello, se requiere determinar la calidad

del agua de la fuente superficial que abastece a la población de Otaré, si se articula a los objetivos trazados o requiere de la implementación de acciones correctivas.

Por tal motivo, es indispensable para la presente investigación la aplicación de índices de calidad del agua que permiten identificar las condiciones reales de un cuerpo de agua integrando aspectos fisicoquímicos (concentraciones, especies y tipos de sustancias orgánicas e inorgánicas), aspectos biológicos (estado y composición de la biota) y aspectos no acuáticos (cambios temporales y factores internos y/o externos); por tal motivo la integración y análisis de las variables que definen el funcionamiento del cuerpo de agua como ecosistema es fundamental para conocer su estado, lo cual no es posible con parámetros independientes en términos de tiempo y sitio (Sierra, 2011). En Colombia según un Estudio Nacional del Agua desarrollado por el IDEAM en el año 2000, la determinación de parámetros físico-químicos es una actividad rutinaria, caso contrario ocurren con el cálculo de índices de calidad del agua, los cuales se han centrado en la industria del petróleo en algunas ciudades del país (Castro, Almeida, Ferrer, & Díaz, 2014).

Por otro lado, el uso de herramientas digitales y equipos tecnológicos para el desarrollo de la investigación con los que cuentan el laboratorio de Aguas de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y el de la universidad Pontificia Bolivariana dan veracidad en la información a partir de métodos que están a la vanguardia en la actualidad, del mismo modo se promueve a un aprovechamiento sostenible del recurso a la población que se abastece

como una conservación para las futuras generaciones a partir de los datos de calidad obtenidos.

Con el desarrollo del presente proyecto se introduce a los investigadores a métodos y campos de análisis relativamente indispensable en su formación como profesionales, donde se aplican puntos de vista de distintas dimensiones en la determinación de la calidad del agua a partir de indicadores, interpretación de variables y uso de herramientas de una manera consistente y objetiva sujetas a las normas establecidas nacional e internacionalmente, con el propósito de contribuir a un mejoramiento continuo y un uso sostenible del recurso en el ecosistema.

## **1.5 Delimitaciones**

### **1.5.1 Delimitación geográfica**

El presente proyecto de investigación se llevará a cabo en la microcuenca abastecedora quebrada el Silencio con coordenadas geográficas (8°24'56.87"N, 73°24'39.98"O) ubicada en la vereda del mismo nombre, del corregimiento de Otaré, municipio de Ocaña, Norte de Santander, en la cual dicha vereda “limita al norte con la vereda Vijagual, al sur con la vereda de Otaré, al oriente con la vereda Salobritos y al occidente con la vereda Pie de Cuesta” (Meza Cárdenas, 2014).

### **1.5.2 Delimitación temporal**

Para la realización del proyecto de investigación se determinó un tiempo de ejecución de 8 meses; durante este periodo se abordará un tiempo seco y un tiempo de lluvia con el fin de obtener resultados veraces y acordes a las variables hidrológicas y climatológicas del área de trabajo, y de esta manera realizar un análisis correlacional de la variabilidad en el comportamiento de la calidad del agua como ecosistema.

### **1.5.3 Delimitación conceptual**

Conceptualmente los términos que resaltan el desarrollo de la presente investigación según los objetivos planteados y a criterio de los investigadores se desarrollaran con base en la metodología del protocolo del IDEAM (2018), para el monitoreo y seguimiento del agua, además se aplicará la metodología de Sierra Ramírez (2011), planteada en su libro “Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico”, de igual manera se trabajara el Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 23rd, Edition, (2017), el programa nacional de monitoreo del recurso hídrico (PNMRH), la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH), al igual que las legislaciones pertinentes como el Decreto 1594/1984, la resolución 0631/2015, de igual forma se contará con material documental para la obtención de información como base para la justificación de la presente investigación

#### **1.5.4 Delimitación operativa**

Durante la realización de este proyecto se realizará la evaluación de la calidad del agua de la fuente superficial de la microcuenca abastecedora quebrada el silencio, donde serán seleccionados estratégicamente cuatro (4) estaciones de monitoreo a lo largo de un tramo de 2,20 km teniendo en cuenta la dinámica y el comportamiento hídrico del recurso al igual que las temporadas de lluvia y sequía; los cuatro (4) muestreos se llevaran a cabo de forma manual y de manera bimestral en cada uno de los puntos estratégicos definidos a lo largo de la microcuenca, en el cual los recorridos en campo se llevaran a cabo con el acompañamiento del fontanero y diferentes miembros de la comunidad; también se contará con la disponibilidad de un equipo operativo como lo son los autores de la presente investigación y la dirección durante todo el proceso de la docente Rocio Miranda Sanguino, al igual que el apoyo del Laboratorio de Aguas de la universidad Francisco de Paula Santander Ocaña a cargo de su coordinadora María Alejandra Vergel Bermúdez y el laboratorio de la universidad Pontificia Bolivariana para el estudio y la obtención de los resultados físico-químicos y microbiológicos al cauce principal de la quebrada el silencio y de esta forma analizarlos y establecer las recomendaciones necesarias con el fin de ejecutar la investigación y dar cumplimiento a los objetivos planteados. Además, durante todo el proceso se desarrollarán diversas técnicas, procesos, procedimientos, programas y actividades ajustadas al contexto del área de trabajo, de igual forma se ajustarán aquellas que la metodología requiera en su desarrollo.

## Capítulo 2. Marcos de referencial

### 2.1 Marco Histórico

Las fuentes de agua superficiales son de vital importancia para la vida diaria de toda la población, convirtiéndose en el eje del desarrollo del ser humano al permitir el abastecimiento de las actividades socioeconómicas de los asentamientos urbanos (Torres, Cruz, & Patiño, 2009). El recurso hídrico ha sido el receptor de múltiples sustancias y elementos que ocasionan contaminación producto de actividades antrópicas o naturales; según La Organización Mundial de la Salud (OMS) un agua contaminada es aquella composición que ha sido modificada de modo que no reúna las condiciones para el uso que se le hubiera destinado en su estado natural modificándose generalmente por la presencia de sustancias químicas o de otra naturaleza; convirtiéndose en una problemática de interés a lo largo de las civilizaciones (UNESCO, 2009).

El agua contaminada afecta directamente la salud de las personas, en el caso de las dolencias gastrointestinales que es producto de consumir agua contaminada, las enfermedades transmitidas por vectores que se desarrolla en medios acuáticos ocasionaron el deceso de 2.213.000 personas en el año 2000, de los cuales se estima que un millón corresponden a la malaria y que más de 2.000 millones de personas quedaron infectadas en el mundo por esquistosomas y helmintos transmitidos por el suelo, de las cuales 300 millones sufrieron una enfermedad grave (UNESCO, 2003).

La utilidad del agua es el primer eslabón en las actividades de nuestra sociedad debido a que es el fluido vital e indispensable para los seres vivos, permitiendo el desarrollo de la agricultura, pesca, navegación, producción de energía, establecimientos de industrias entre otras; se estimó que para el año 2000 se extrajo un 8% del total de agua dulce renovable y que en los Estados Unidos se usaron 346 miles de millones de galones de agua diariamente, de los cuales cerca de 262 miles de millones provinieron del agua superficial, representado el 77% (USGS, 2017).

Por consiguiente, se han desarrollado diversas metodologías para la evaluación y valoración de la calidad del agua, entre ellos están el índice de calidad del agua (ICA) el cual se mide de acuerdo a la determinación de unos parámetros en un cuerpo de agua, los primeros ICA que se propusieron fue el de Horton en 1965 y el de Liedman en 1969 con el propósito de revelar los cambios físicos y químicos ocurridos a nivel de la calidad de las corrientes de agua involucrando diez variables para su análisis (Viscaíno, 2009).

Para 1970 se introdujo el ICA de Oregon (OWQI) el cual fue mejorado en 1995 para obtener mejores resultados de calidad del agua y para comparar la calidad en diferentes tramos del río o en diferente cuenca; para 1981 se formuló el Índice universal de la calidad del agua (UWQI) el cual involucra 23 variables físico-químicas y microbiológicas que es procesado mediante ecuaciones lineales (Samboni, Escobar, & Escobar, 2007).

Sin embargo, uno de los índices más usados a nivel mundial ha sido el de la National Sanitation Foundation (NSF) realizado por Brown en 1970 con base a características de ríos en los Estados Unidos, para la creación de este índice se usó un procedimiento basado en el método Delphi, donde se convocaron a 142 expertos en gestión de la calidad del agua en los Estados Unidos a los cuales se les aplicaron tres cuestionarios, en el primero se les pedía que consideraran según sus criterios a 35 analitos para incluirlos en un ICA y que del mismo modo los calificaran en una escala de 1 a 5 siendo 1 la más alta; en el segundo cuestionario consistió en determinar la significancia de cada analito y el tercer cuestionario se les pidió a cada uno que diseñara una curva de gasto; con la información anterior Brown incluyó cinco analitos en el ICA - NFS y obtuvo una sola curva de análisis por cada analito, dando lugar en el análisis estadístico mediante promedios aritméticos relacionando la importancia del analito y la valoración del peso donde la suma total es igual a 1 (Castro, Almeida, Ferrer, & Díaz, 2014).

El anterior ICA ha sido usado en diversos estudios ambientales en los Estados Unidos, para 1977 12 de los 60 estado y agencias internacionales lo usaron (Fernandez & Solano, 2005), además se ha aplicado, validado y adoptado en diversos estudios hechos a nivel mundial; para el caso de Colombia fue aplicado en los ríos Cali y Meléndez en el departamento del Valle, donde se determinó que se ajusta bien a las percepciones del río lográndose identificar que el río Cali era necesario intervenirlo con acciones pertinentes en ciertos tramos debido a que se determinó que el agua era de mala calidad, del mismo modo se propuso realizar seguimiento prospectivo para determinar la validación del modelo obtenido (Behar, Zúñiga, & Rojas, 1997).

Sin embargo, se demostró por Helmond y Breukel que los índices usados comúnmente para determinar la calidad del agua en el mundo son 30 aproximadamente los cuales involucran un rango de parámetros entre 2 a 72 para su análisis y entre los más comunes son el O<sub>2</sub>, DBO, DQO, NH<sub>4</sub>, N, PO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>-N, pH, y sólidos totales (Fernandez & Solano, 2005).

Para Colombia la determinación de ICA no es muy común, ya que son usados mayormente por el sector de los hidrocarburos y algunas corporaciones autónomas regionales en las ciudades de Bogotá, Barranquilla, Bucaramanga, Cali y Manizales generalmente (Samboni, Escobar, & Escobar, 2007).

En Colombia se ha propuesto la utilización del Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICACOSU) que fue publicado en el año 2009 y probado en el marco del de la formulación de la Política Hídrica Nacional y el Plan Hídrico en el año 2010, este ICA califica la calidad del agua en una de cinco categorías mediante la medición de cinco o seis variables (IDEAM, 2011).

El anterior ICA ha sido aplicado en amplias zonas, una de ellas en la parte central del país donde tiene jurisdicción la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) donde se han monitoreado y realizado análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a ocho subzonas hidrográficas y a dos niveles subsiguientes, para este

indicador se han involucrado siete variables (Oxígeno Disuelto, sólidos suspendidos, DQO, conductividad, relación NT/PT, pH, coliformes totales) para determinar la calidad de las fuentes superficiales (CAR, 2016). Según el Estudio Nacional del Agua del año 2018 el índice de calidad del agua para corrientes superficiales para el año 2016 se calculó teniendo en cuenta la información registrada en 354 muestreos, en 192 estaciones ubicadas en 111 corrientes, la mayoría de los puntos de monitoreo se concentraron en el área hidrográfica Magdalena–Cauca con el 76 %, en los ríos del área Caribe el 6 % y entre las áreas hidrográficas del Pacífico, Amazonas y Orinoquía solo 19 % de las 192 estaciones obteniendo un balance general en los resultados según los valores del índice entre bueno hasta muy malo (IDEAM, 2019).

Por otra parte, en Colombia se han abordado los índices de contaminación del agua (ICO) desde 1997 y que fueron desarrollados con base a los análisis desarrollados en la industria petrolera colombiana bajo las reglamentaciones nacionales como internacionales para los diferentes usos del agua; los índices obtenidos fueron cuatro, el Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI), el Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO), el Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS) y el Índice de Contaminación Trófico (ICOTRO), según Ramírez estos índices han demostrado enormes ventajas sobre los ICA (Ramírez, Restrepo, & Viña, 1997).

No obstante es de mencionar que en nuestra región contamos con la cuenca del río Algodonal para la cual se ha aplicado el índice de contaminación para aguas superficiales

teniendo como datos los tres sistemas de monitoreo constantes con los que cuenta, que son las redes del IDEAM, CORPONOR y la Empresa de Servicios Públicos de Ocaña (ESPO), para los cuales se usaron seis variables en su determinación debido a que la relación nitrógeno total estuvo en el inferior al mínimo detectable por lo cual no se estableció la relación NT/PT; los análisis de este índice indicaron que existe carga contaminante en cuanto DBO y SST en ciertos puntos que en su mayoría son atribuibles a descargas de aguas residuales domésticas (POMCA RIO ALGONONAL, 2018).

Del mismo en el área local se ha evaluado la calidad del agua en un tramo específico del río Algodonal comprendido entre Abrego-Ocaña mediante cinco índices de contaminación (ICOMI, ICOSUS, ICOpH, ICOMO, ICOTEMP) propuestos por Ramírez y Viña, donde monitorearon 30.27 km de río (Miranda, Ramírez, Hernández, & Angarita, 2019).

## **2.2 Marco Contextual**

La investigación planteada en este documento se realiza en el marco de investigación académica de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Se trata de un trabajo de grado anexo a la línea de investigación Gestión ambiental del programa de ingeniería ambiental, perteneciente a la facultad de ciencias Agrarias y del ambiente. El área de influencia directa del proyecto, se llevará a cabo en la microcuenca quebrada el Silencio con

coordenadas geográficas ( $8^{\circ}24'56.87''N$ ,  $73^{\circ}24'39.98''O$ ) ubicada en la vereda del mismo nombre, del corregimiento de Otaré, municipio de Ocaña, Norte de Santander.



*Figura 1.* Microcuenca El Silencio.  
Autores del proyecto

El corregimiento de Otaré hace parte del municipio de Ocaña Norte de Santander, el cual fue fundado en 1590, en territorio ocupado por los indios Otarés o Borotarés de donde se deriva su nombre; sin embargo, solo para 1961 paso a formar parte de la comprensión municipal de Ocaña. El corregimiento se encuentra ubicado en la zona montañosa y rural del municipio de Ocaña, y al suroeste del municipio de convención a 1438 metros sobre el nivel del mar, a una temperatura de  $18^{\circ}C$  a  $21^{\circ}C$  aproximadamente, convirtiéndose en una de las entradas a la región del Catatumbo (Velázquez, 2007).

Una de las características que se puede apreciar a simple vista del corregimiento es que el caserío es tejado, se conserva un mismo color en sus viviendas y su calle principal presenta un desnivel considerable (Velázquez, 2007). Sin embargo, es importante mencionar que el corregimiento cuenta un puesto de salud el cual brinda atención a las personas del corregimiento y sus alrededores, pero solo para casos no delicados, de lo contrario a esto son remitidos al municipio de Ocaña, también cuenta con una escuela, una biblioteca, una estación de policía y una iglesia la cual ocupa la parte culminante del lugar.

Por otro lado, su vegetación hace parte del Bosque Seco Tropical- Premontano, el cual se ha visto afectado por las diferentes actividades realizadas en la zona, debido a que su principal actividad económica gira entorno a la agricultura por ser suelos muy productivos y de especies maderables, la comercialización de sus productos se da en el municipio Ocaña.

No obstante, el corregimiento cuenta con 12 veredas, dentro de las cuales se encuentra la vereda el silencio la cual limita al norte con la vereda Vijagual, al sur con la vereda de Otaré, al oriente con la vereda Salobritos y al occidente con la vereda Pie de Cuesta.

En la vereda residen alrededor de 110 personas conformando 22 familias, no cuentan con acueducto veredal lo que conduce a que el agua para consumo humano, para riego y para abrevadero de los animales sea tomada de los diferentes nacimientos que allí reposan, de igual manera la disposición de residuos se hace a cielo abierto y las aguas residuales son vertidas de manera directa a las laderas, caños, etc. Por otra parte, la vereda no cuenta con

puesto de salud por tal motivo el servicio lo obtienen del corregimiento de Otaré; sus vías de acceso se encuentran en pésimas condiciones y solo cuentan con una pequeña escuela la cual tiene cavidad para un número pequeño de estudiantes (Meza, 2014).

Su principal actividad económica se basa en la cría de animales y siembra de cultivos como maíz, papa, frijol, cebolla, plátano, yuca, etc (Meza, 2014).

En esta vereda nace la microcuenca el Silencio con una extensión promedio de 320 ha, la cual abastece la población asentada en el área de influencia de la misma, así como las diferentes actividades agrícolas distribuidas en diferentes zonas de la microcuenca; también se encuentra la captación de agua en la parte alta de la misma para el acueducto de Otaré que cuenta con alrededor de 155 usuarios correspondientes a 718 habitantes aproximadamente; además presenta captaciones no convencionales de agua que genera conflictos en el uso del recurso (Meza, 2014).

### **2.3 Marco Conceptual**

Entendiéndose este como la recopilación de conceptos básicos que contextualizan la investigación, se hace a partir de ello indispensable reconocer e identificar algunos conceptos claves relacionados con la Evaluación de la Calidad del Agua, para tener un conocimiento más amplio sobre lo que se quiere estudiar y llegarlos a entender de forma clara, constituyendo ello fundamentos para fortalecer el entendimiento y estudio de la presente

investigación. A continuación, se explicarán de manera sucinta los términos que enmarcarán la investigación.

### **Microcuenca como unidad de análisis.**

“Una microcuenca es aquella cuenca que está dentro de una Subzona hidrográfica o su nivel subsiguiente, cuya área de drenaje es inferior a 500 Km” (MADS, 2012), correspondiente al área de aguas superficiales, que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar; la microcuenca está delimitada por la línea del divorcio de las aguas (MADS, 2018). Sin embargo, en esta pequeña unidad geográfica vive una cantidad de familias que utiliza y maneja los recursos disponibles, principalmente suelo, agua y vegetación por ser este un espacio donde ocurren las interacciones más fuertes entre el uso y manejo de los recursos naturales (acción antrópica) y el comportamiento de estos mismos recursos (reacción del ambiente) (Jiménez, 2014).

### **El agua.**

El agua es un recurso vital para los seres vivos, los animales y las plantas al igual que para el desarrollo social y económico de los países por ser uno de los compuestos más abundantes de la naturaleza, ya que cubre aproximadamente tres cuartas partes de la superficie total de la tierra, sin embargo, a pesar de su abundancia, existen diversos factores

que la limitan ya que solo un 1% aproximadamente es accesible y se encuentra disponible para las diferentes actividades que realiza el hombre (Salamanca, 2016).

Con relación a lo anterior, se puede decir que el agua es un recurso escaso que tienen las personas alrededor del mundo ya que muchos lugares no cuentan con este recurso de manera adecuada, ni en calidad, cantidad y continuidad, lo que conduce a que muchas poblaciones se vean obligadas a beber agua de fuentes cuya calidad es devastadora y produce un sin fin de enfermedades (PNUD, 2005).

Sin embargo, el abastecimiento de agua y los usos de la tierra generan una constante y creciente presión en los niveles de calidad y cantidad de agua; por lo tanto, para decidir si el agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le vaya a dar (Hernández C. , 2016).

### **Aguas Superficiales**

Las aguas superficiales son todas aquellas que discurren por la superficie de la tierra como quebradas, ríos, lagos, arroyos, represas, etc., las cuales se nacen a partir del agua lluvia que fluye sobre la superficie hacia cuerpos receptores, del agua subterránea que aflora a la superficie a través de manantiales o de las precipitaciones de cada cuenca (OPS, 2005).

Las aguas superficiales presentan condiciones que varían de una cuenca a otra, así como su calidad la cual es variable con el tiempo. Los ríos y arroyos se caracterizan por tener rápidos cambios de calidad. Durante la época de lluvias se presentan incrementos en la turbiedad y otras sustancias orgánicas e inorgánicas debido al lavado y arrastre de los suelos. En lagos y embalses, el cambio estacional en la calidad del agua es gradual y menos drástico que en los ríos (Romero, 2005).

### **Agua Cruda**

Agua natural que se encuentra en el ambiente (lluvia superficial, subterránea, océanos, etc.) que no ha sido sometida a proceso de tratamiento para su potabilización (Departamento Administrativo de la Función Pública, 2007).

Sin embargo, es importante mencionar que, desde el punto de vista de una comunidad que se abastece de una fuente Hídrica, la calidad del agua que se encuentre en forma natural dependerá de la posición geográfica, origen (mar, subterránea, superficial) y los hábitos de los pobladores (Hernández & Ramírez, 2016).

### **Contaminación del agua**

Se entiende por contaminación del agua el efecto de introducir materias o por la presencia de organismos extraños en cierta cantidad y con ciertas características que impiden su utilización para algún propósito determinado e implican una alteración perjudicial de su

calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica. Sin embargo, dado que rara vez el agua se encuentra en estado puro, la idea de contaminante del agua comprende cualquier organismo vivo, mineral o compuesto químico cuya concentración impida los usos benéficos del agua (Ibañez, 2012).

Según la FAO (1993) las categorías de contaminación que impactan a los recursos hídricos se derivan de fuentes puntuales y no puntuales. Éstas afectan y alteran las características naturales de los recursos hídricos, ocasionalmente por actividades naturales, pero en su mayoría los impactos son de carácter antropogénico.

De acuerdo a su origen existen dos tipos de contaminación.

### **Contaminación puntual**

Proviene de fuentes específicas, generalmente continuas que descargan sus agentes contaminantes a través de tuberías o de alcantarillas en el agua superficial. Este tipo de contaminación es de fácil de identificar, localizar, monitorear y controlar en un lugar determinado (González, 2007).

### **Contaminación difusa**

La contaminación difusa se genera por la sumatoria de pequeños aportes individuales desde sitios diversos, cada uno con un aporte imperceptible y que se repiten periódicamente

por períodos largos de tiempo, generando efectos acumulativos. Una característica básica de esta contaminación es que sus impactos no son locales, sino que tienden a afectar toda una cuenca hidrográfica (González, 2007).

### **Calidad del agua**

La calidad del agua se define como el conjunto de parámetros que indican que el agua puede ser usada para diferentes propósitos como: doméstico, riego, recreación e industria, sin embargo, de acuerdo al estado de sus características físicas, químicas y biológicas o a la alteración producida por las actividades del hombre pueden afectar su adaptabilidad a un uso específico y, por ende la salud humana y ecosistémica incluyendo la diversidad biológica, la producción de alimentos, las actividades económicas (Salcedo, Castañeda, & Lango, 2019).

No obstante, su definición es muy compleja debido a la cantidad de variables utilizadas para describir el estado de los cuerpos de agua en términos cuantitativos.

La evaluación de la calidad del agua desde un proceso de enfoque multidisciplinario tiene el propósito de estudiar la naturaleza físico- químico y biológica del agua con relación a la calidad natural y sus efectos adversos en la salud humana y el ecosistema. Sin embargo, el análisis de cualquier agua con relación a los resultados obtenidos por laboratorios indica siempre la presencia de elementos orgánicos ya sea en suspensión o en solución, gases,

minerales y microorganismos patógenos los cuales son debido a factores naturales como antrópicos (OPS, 1988).

### **Criterios de calidad del agua**

Los criterios de calidad aplicables a un determinado recurso de agua deben estar basados en la observación científica (bioensayos) de los efectos de los diferentes contaminantes sobre los organismos propios del agua y de acuerdo con las condiciones locales. Es importante anotar que, según el tipo de uso, varía la importancia de uno u otro parámetro de calidad. Sin embargo, dichos criterios deben ser utilizados con cuidado, debido a la variedad de usos del agua y a la variabilidad de las sustancias que puede contener el agua (Sierra, 2011).

La utilización de los criterios de calidad del agua permite hacer fundamentalmente dos tipos de estudios: El diagnóstico de la calidad actual del agua y Definir los objetivos de calidad de un recurso hídrico (Sierra, 2011).

### **Parámetros de la calidad del agua**

La determinación de los parámetros de calidad del agua debe realizarse en base a criterios físicos, químicos y microbiológicos, que consideran la dinámica de los procesos y elementos que los afectan, así como la capacidad del recurso o del ecosistema para soportar presiones y de su poder de autodepuración. Estos parámetros de calidad se fijan de manera diferenciada, de conformidad con los diversos usos a los que se va a destinar el recurso.

### **Parámetros físicos del agua**

Son aquellos elementos que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua a los cuales se les realiza procedimientos de laboratorio a través de una muestra de agua para evaluar sus características físicas. A estos parámetros corresponden:

**Olor y sabor.** Se encuentran relacionados con la presencia de sustancias indeseables en el agua las cuales pueden deberse a la presencia de compuestos orgánicos generados por la actividad de las bacterias y algas, a los desechos industriales, al plancton o a la descomposición de la materia orgánica. Su determinación es de manera subjetiva ya que no existen instrumentos para su observación y medida; sin embargo, pueden reportarse por medio de análisis como presentes o ausentes (Sierra, 2011).

**Color.** Su presencia se encuentra asociada a sustancias disueltas o en suspensión originadas por la descomposición natural de la materia vegetal de las plantas, por las descargas industriales y por la disolución de ciertos minerales (hierro, manganeso, cobre, cromo) presentes en el subsuelo (Sierra, 2011).

**Turbiedad.** Es conocida como la capacidad que tienen los materiales en suspensión (arcilla, materia orgánica e inorgánica, organismos planctónicos y microorganismos) para opacar u obstaculizar el paso de la luz.

La turbidez es un factor que afecta al ecosistema y su dinámica natural en sí, debido a que la actividad fotosintética se vuelve débil ya que esta depende en gran medida de la penetración de la luz (Roldán, 2003).

**Temperatura.** Parámetro físico más importante del agua ya que interviene en el desarrollo de los diversos procesos que en ella se realizan, a causa de sus efectos sobre solubilidad del oxígeno y de las sustancias, sobre las reacciones químicas y bioquímicas, etc. (Aznar, 2000).

**Conductividad.** Es una propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica, además permite conocer la concentración de especies iónicas presentes en el agua. El agua pura se comporta como aislante eléctrico, siendo las sustancias en ella disueltas las que proporcionan al agua la capacidad de conducir la corriente eléctrica (Aznar, 2000).

### **Parámetros químicos del agua**

Se relacionan con los compuestos químicos disueltos en el agua y que pueden modificar sus propiedades. Encontramos:

**Alcalinidad.** Capacidad que tiene el agua para reaccionar con un ácido; sin embargo, también puede considerarse como la presencia de sustancias básicas en el agua,

principalmente, sales de ácidos débiles o bases fuertes. Los hidroxilos, carbonatos, bicarbonatos, magnesio, sodio, hierro y otros elementos conducen a la presencia de la misma (Sierra, 2011).

Según Roldán (2003) esta variable proporciona la acción buffer o amortiguadora de cambios de pH al agua, conocer por tanto la alcalinidad de un cuerpo de agua es fundamental para determinar su capacidad para mantener los procesos biológicos y una productividad sostenida y duradera.

**Potencial de hidrogeno (pH).** Es la medida de la concentración de los iones hidrogeno en el agua, el cual indica si esta actuará como un ácido débil, o si se comportará como una solución alcalina.

**Dureza.** Es otra de las formas de indicar el contenido iónico de un agua. Esta se debe principalmente a la presencia de calcio y magnesio los cuales suelen ser de origen natural y raramente por actividades antrópicas (Aznar, 2000).

Las aguas duras se manifiestan en el agua por la particularidad de cortar el jabón y necesitar grandes cantidades del mismo para hacer espuma, además puede formar incrustaciones en los equipos mecánicos y las tuberías a elevadas temperaturas.

**Oxígeno disuelto (OD).**

Es un compuesto ligeramente soluble en el agua y su presencia en solución está determinada por la solubilidad del gas, de la temperatura, la salinidad, la presión atmosférica, la turbulencia y pureza del agua. Su concentración es dependiente de factores como la respiración animal y vegetal, la demanda bioquímica, etc. la cual aumenta al disminuir la presión atmosférica, la temperatura y la salinidad. Sin embargo, también se encuentra asociado a la contaminación orgánica y es una variable muy necesaria para la vida de los peces y otros organismos acuáticos (INVEMAR, 2003).

**Sólidos Totales.** Los sólidos son materiales suspendidos y disueltos en el agua. Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua o al suministro de varias maneras.

**Sólidos suspendidos.** Hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial, también participan en el desarrollo de la turbidez y el color del agua (CAN, 2005). Se suelen separar por filtración y decantación por ser sólidos sedimentables no disueltos.

**Sólidos disueltos.** Los sólidos disueltos lo constituyen las sales que se encuentran presentes en el agua y que no pueden ser separados por algún medio físico, estos determinan la salinidad del medio, y en consecuencia la conductividad del mismo. La presencia de estos sólidos no es detectable a simple vista, por lo que se puede tener un agua completamente

cristalina con un alto contenido de sólidos disueltos (INVEMAR, 2003). Los sólidos disueltos se determinan gravimétricamente mediante filtración, a vacío o presión (Aznar, 2000).

**Nitrógeno (N).** Según Sierra Ramírez (2011), es un elemento esencial para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. Debido a que el nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será preciso conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas, y en qué cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales, domésticas e industriales mediante los procesos biológicos.

**Nitritos.** El nitrito es producido por la oxidación de nitrógeno, su concentración raramente excede la cantidad de 0,1 mg/L en las aguas superficiales y subterráneas. Aunque su presencia suele darse en concentraciones pequeñas, los nitritos tienen gran importancia en los estudios de aguas, dada su gran toxicidad para gran parte de la fauna piscícola y demás especies acuáticas (Sierra, 2011).

**Nitratos.** El nitrato se produce por medio de oxidación de (NH<sub>3</sub>) el cual se forma en la descomposición de las sustancias orgánicas nitrogenadas, principalmente proteínas. Es importante considerar los nitratos en el tratamiento del agua porque en concentraciones mayores de 10 mg/L como N (45 mg/L como NO<sub>3</sub>), se ha comprobado que producen una enfermedad en los niños llamada metahemoglobinemia (Sierra, 2011).

**Hierro.** Es un compuesto importante en las aguas subterráneas en las cuales se encuentra en altas concentraciones. La presencia de hierro en las aguas superficiales y subterráneas se debe al poder disolvente que tiene el  $\text{CO}_2$  sobre los estratos del suelo reduciendo los compuestos férricos a hierro soluble. Sin embargo, sus sales no son tóxicas en las cantidades comúnmente encontradas en las aguas naturales, pero, su presencia si puede afectar el sabor del agua, producir manchas indelebles sobre los artefactos sanitarios y la ropa blanca (Payeras, 2011).

**Fósforo.** El fósforo es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. El fósforo raramente se encuentra en el agua en altas concentraciones debido a que las plantas lo absorben rápidamente. Las formas más frecuentes en que se presenta el fósforo en soluciones acuosas incluyen el ortofosfato, la polifosfato y los fosfatos orgánicos. Siendo el primero el más importante por encontrarse disuelto en el agua lo que permite ser aprovechado por las plantas.

**Sulfatos.** Todas las aguas naturales contienen sulfatos, estos provienen de los suelos que son ricos o que contienen cantidades apreciables de yeso y minerales similares. Los sulfatos en fuentes superficiales pueden provenir también de contaminaciones por residuos industriales.

**Magnesio.** El magnesio es un mineral alimentario para todos los organismos excepto para los insectos el cual se distribuye de forma natural en el medio ambiente y debido a sus

distintos propósitos finaliza en el agua de diferentes maneras. Sin embargo, en comparación con el ion calcio sus sales son menos solubles.

**Demanda biológica de oxígeno (DBO).** Es el parámetro más ampliamente utilizado para determinar el contenido de materia orgánica de una muestra. La DBO es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica presente, por la acción bioquímica aerobia, se mide determinando la cantidad de oxígeno que requiere los microorganismos para degradar, oxidar y estabilizar la materia orgánica. Su prueba más conocida es la DBO<sub>5</sub> la cual precisa un tiempo de incubación de cinco (5) días para la muestra de agua a fin de medir el consumo de oxígeno que hacen los microorganismos (Sierra, 2011).

**Demanda química de oxígeno (DQO).** Es un parámetro ampliamente utilizada para determinar el contenido de materia orgánica de una muestra de agua y es definido como la cantidad de Oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica bajo condiciones específicas de agentes oxidantes (sustancias químicas) es decir sin la intervención de los organismos vivos. Este parámetro determina el contenido total de materia orgánica oxidable, sea biodegradable o no; es más rápido que el DBO ya que es de medición casi inmediata, la unidad de medida son ppm de O<sub>2</sub> (IDEAM, 2007).

### **Parámetros Bacteriológicos del agua**

Las variedades de bacterias existentes están distribuidas en la naturaleza y las que hay en el agua tienen fundamental importancia sanitaria ya que el mayor riesgo microbiano del agua es el relacionado con el consumo de agua contaminada con excrementos humanos o de animales los cuales originan en gran medida la presencia de contener parásitos, bacterias, virus y protozoos en un cuerpo de agua.

**Coliformes Totales.** Su presencia indica que el cuerpo de agua ha sido o está contaminado con materia orgánica de origen fecal, ya sea por humanos o por animales (Sierra, 2011).

**Coliformes Fecales.** Es un indicador indirecto del riesgo potencial de contaminación con bacterias de tipo *Escherichia coli* o un virus de carácter patógeno, ya que las Coliformes fecales siempre están presentes en las heces humanas y las de los animales (Sierra, 2011).

### **Índice de calidad de agua.**

La calidad del recurso hídrico puede ser determinada a partir de los índices de calidad (ICA), los cuales surgen como una herramienta simple para la evaluación del recurso hídrico fundamental en procesos decisorios de políticas públicas y en el seguimiento de sus impactos. Según Fernández (2005) consisten básicamente en una expresión simple a la calidad del recurso hídrico, integrada mediante la combinación de las mediciones de

determinados parámetros físicos, químicos y/o microbiológicos, los cuales sirven como medida de la calidad del agua para diferentes usos. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso un color.

Existen diversos índices de calidad de agua, desarrollados para múltiples propósitos, uno de los más utilizados y populares en el análisis de corrientes superficiales es el Índice de Calidad General en Corrientes Superficiales (ICACOSU). Este índice fue adaptado por el IDEAM y se relaciona con las variables oxígeno disuelto (OD), Sólidos en suspensión, Demanda química de oxígeno (DQO), pH, Conductividad eléctrica (C.E) y la relación N total/ P total (CAR, 2016).

Según Samboni, Carvajal y Escobar (2007), el valor numérico obtenido, que oscilan entre 0 a 100 y 0 a 1, se clasifica en diferentes rangos a los cuales se le asigna una descripción cualitativa del grado de contaminación del agua, con los cuales puede valorarse el recurso, mirar tabla 3.

### **Índices de contaminación del agua (ICO's).**

Ramírez y Viña (1997) desarrollaron los índices de contaminación (ICO) a partir del análisis de componentes principales (ACP) aplicado a información fisicoquímica resultante de diferentes estudios limnológicos relacionados con la industria colombiana del petróleo; estos índices evalúan el nivel de contaminación del agua mediante la agrupación de variables

físicoquímicas que denotan la misma condición ambiental. Actualmente existen nueve ICO entre los cuales se destacan el ICO por mineralización (ICOMI); por materia orgánica (ICOMO); por sólidos suspendidos (ICOSUS) y por ICO- pH.

**Tabla 1**

*Parámetros evaluados por los índices de contaminación*

PARÁMETROS EVALUADOS	ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN
DBO <sub>5</sub> , Coliformes Totales, % saturación Oxígeno	ICOMO
Sólidos Suspendidos	ICOSUS
Conductividad, Dureza, Alcalinidad	ICOMI
Unidades de pH	ICO-pH

*Nota:* Parámetros utilizados para el cálculo de índices de contaminación (ICO<sub>s</sub>). Ramírez, Restrepo y viña (1997).

### Software ICATEST V 1.0

Es una herramienta computacional que facilita el cálculo de gran variedad y cantidad de índices de calidad del agua e índices contaminación, de igual manera permite generar y guardar, tanto reportes como historiales, además de realizar estudios comparativos de calidad del agua (Fernandez & Solano, 2005).

Esta herramienta facilita a la investigación los procedimientos de cálculo de cada número de índices de calidad de agua y contaminación. Además contiene las formulaciones colombianas desarrolladas a partir estudios de monitoreo en la industria del petróleo desarrolladas por Ramírez ( 1997, 1999), como son Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI), Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO), Índice

de Contaminación por Temperatura (ICOTEMP), Índice de Contaminación por pH (ICOPH), Índice de Contaminación por Sólidos Suspendedos (ICOSUS), Índice de Contaminación Biológico (ICOBIO), Índice de Contaminación por Toxicidad (ICOTOX).

## **2.4 Marco Teórico**

Las fuentes de agua superficial corresponde a todas aquellas aguas que no se infiltran y que se encuentran en la superficie terrestre en las que encontramos las de tipo loticas como los ríos o quebradas que son corrientes de agua continua o perenne, intermitente o no, que desemboca en el mar, en otro río (afluente) o en un lago (emisor) o que pierde por el terreno (endorreísmo) y que se han convertido en las principales fuentes de abastecimiento de los asentamientos humanos (Duque, 2017).

Se estima que, a nivel mundial del total de agua dulce menos del 0.01% pertenece a fuentes superficiales, las cuales son las abastecedoras principales de las necesidades humanas debido a su fácil acceso (González, Barrenetxea, Pérez, Alfayate, & Rodriguez, 2002).

El agua es considerado como el recurso indispensable en la naturaleza y para la vida humana pero, para muchos millones de personas en el mundo el contar con agua de calidad es difícil y por tal razón luchan por conseguirlo y satisfacer sus necesidades básicas; del mismo modo la disponibilidad del agua garantiza un desarrollo sostenible debido a que son

las principales fuentes de energía en el mundo (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2005).

En este sentido la calidad del agua está dada por diversos factores que influyen en su alteración, según Sierra (2011), la contaminación del agua significa la introducción directa o indirectamente de sustancias o energías por el hombre que ocasionan alteraciones a seres vivos, afectaciones a la salud humana e impedimentos a actividades acuáticas relacionadas social y económicamente. Del mismo modo establece que la calidad del agua puede describirse a partir de dos formas:

- ✓ Midiendo variables físicas (turbiedad, sólidos totales, etc.), químicas (pH, acidez, etc.) o biológicas (bioensayos).
  
- ✓ Utilizando un índice de calidad del agua.

En el primer caso la calidad del agua se determina de forma independiente, generalmente los parámetros físico-químicos dan una información extensa de la naturaleza química del agua y sus propiedades físicas debido al número de parámetros evaluados sin aportar información de su influencia en la vida acuática, lo cual es complementado por los análisis biológicos. Los parámetros físico-químicos tiene la ventaja de basarse en que sus análisis suelen ser más rápidos y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia (Samboni, Escobar, & Escobar, 2007)

Por su parte, los indicadores de calidad son una herramienta importante al momento de determinar la calidad de un cuerpo de agua pues su cálculo involucra más de una variable, de tal forma que el uso correcto de estos indicadores permite utilizarlos para la evaluación de los programas de gestión de recursos hídrico, por tal razón, se desarrollaron los indicadores ambientales como respuesta a la necesidad de obtener información relevante sobre diversos temas ambientales de una forma específica, involucrando variables determinadas en el objeto de estudio, por consiguiente, los resultados obtenidos se deben presentar en un formato que permita su análisis y que sea favorable para el uso de estadísticas (Castro, Almeida, Ferrer, & Díaz, 2014).

De antemano se debe conocer la composición natural de un cuerpo de agua la cual contiene gran variedad de sustancias o especies químicas producto de su gran capacidad como disolvente los cuales alteran su calidad, en el caso de materia inorgánica que se encuentran es suspensión y que procede de erosión o por la relación entre el agua y materiales terrestres siendo la arena (sílice) y las arcillas (aluminosilicatos) las más comunes; en cuanto a materia orgánica se destacan las especies provenientes de seres vivos como aminoácidos, hidratos de carbono, ácidos grasos entre otros (González, Barrenetxea, Pérez, Alfayate, & Rodríguez, 2002).

Conociendo que el agua en estado natural o cruda corresponde al agua que está en el ambiente, a la que no se la aplicado ningún tratamiento y que su composición depende de la posición geográfica, origen y hábitos de los actores que las intervienen, considerándose la

actividad humana como la causa más importante de variación en la calidad del agua original en las fuentes superficiales (Sierra, 2011).

Entre las causas que afectan el recurso hídrico tenemos la contaminación por pesticidas que son usados ampliamente en el sector agrícola para mejorar los rendimientos de los cultivos controlando las plagas en el cual se estima que el consumo de estos compuestos es del 85% de la producción mundial seguido por un 10% el cual se emplea en el sector de la salud pública para el control de las enfermedades transmitidas por vectores (Rodríguez, Suárez, & Palacio, 2014). Según la clasificación química los más comunes son los organoclorados, organofosforados, carbamatos, y piretoides los cuales son considerados potencialmente contaminantes de los componentes biótico y abiótico, logrando llegar hasta los ríos por escurrimiento, infiltración y erosión de los suelos en los sitios donde son aplicados (Hernández-Antonio & Hansen, 2011).

Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) estos se han incluido en “contaminantes prioritarios” donde se establece que los pesticidas que son generalmente hidrocarburos clorados al estar presentes en el agua son fácilmente asimilados por la biota acuática entrando de esta manera a hacer parte de la cadena alimenticia por su persistencia en los suelos y los sedimentos (Sierra, 2011).

A nivel mundial se han realizado estudios relacionando con los efectos al ambiente, en caso de la provincia de Almería (España) se determinaron la presencia de 40 plaguicidas

organofosforados y organoclorados, hallándose entre los más comunes la endosulfan alfa, endosulfan sulfato y clorpirifos etil en las aguas subterráneas y endosulfán alfa, beta y sulfato en las aguas superficiales, teniéndose con un mayor nivel de concentración el malatión (Martínez, Gonzáles-Rodríguez, Belmonte, & Garrido, 2004).

En Colombia según el Estudio Nacional del Agua de (2019), se han presentado episodios de contaminación masiva por plaguicidas especialmente por organofosforados, incluyendo los provocados por las contaminaciones a las fuentes de agua, donde un alto porcentaje de casos de intoxicación con agua corresponden a este tipo de plaguicidas, reportándose según el estudio que la mayoría de los plaguicidas corresponden a la categoría II, moderadamente y altamente peligrosos con el 48,2 % y 19,6 %, respectivamente, los cuales pueden causar efectos sobre la salud a largo plazo. (p. 278)

Por consiguiente analizando la variabilidad de las características en las regiones la determinación de la calidad del agua ha sido objeto de discusiones en lo relacionado a la regulación del recurso hídrico debido a que los resultados no han sido los esperados y por consiguientes se han desarrollados indicadores propios para diversas regiones teniendo en cuenta aspectos propios (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

## 2.5 Marco Legal

La legislación en materia ambiental en Colombia se compone por una jerarquía jurídica iniciando con la Constitución Política de Colombia (1991) en la cual se establecen disposiciones relacionadas con el agua de carácter constitucional, el primer lugar, en el artículo 49 se consagran las garantías de saneamiento para todas las personas conforme a los principios de eficiencia, universalidad y solidaridad; por su parte el artículo 79 determina el derecho a gozar de un ambiente sano, seguido por el artículo 80 el cual establece que la planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales estarán a cargo del estado el cual garantizara un desarrollo sostenible; y el 366 consagra el mejoramiento de las condiciones de vida de la población mediante la solución de las necesidades insatisfechas en materia de saneamiento ambiental y agua potable (Sutorius & Rodríguez, 2015).

Según lo anterior el artículo 93 nos refiere al bloque de constitucionalidad en el cual se incorpora en el ordenamiento jurídico colombiano todos aquellos tratados y convenios internacionales ratificados por Congreso, teniendo como relevantes:

- ✓ Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (PIDESC) (aprobado por ley 74 de 1998).
  
- ✓ Declaración de Estocolmo sobre el Medio Ambiente Humano (1972).

- ✓ Declaración de Río sobre medio Ambiente y Desarrollo (1992).
  
- ✓ Convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1998).

En el siguiente nivel jurídico se encuentran las leyes, de la cual se destaca la Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio Del Medio Ambiente hoy llamado Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible como encargado del manejo de las políticas en materia ambiental, además reordeno el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se dictan otras disposiciones relacionadas con la gestión ambiental; de esta ley podemos destacar el artículo 111, donde se establece el declarar las áreas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que surten de agua los acueductos municipales y distritales como interés público.

Por su parte la Ley 142 1994, “por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones” establece en el artículo 2, conforme a los artículos 334, 336, 365, 366, 367, 368, 369, 370 de la Constitución Política; determinado en su numeral 2.1 la atención prioritaria de las necesidades básicas insatisfechas en materia de agua potable y saneamiento básico.

En el año 1974 se expedido el Decreto-Ley 2811, por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente,

constituyéndose para esa época en la primera compilación de carácter ambiental en América Latina; el cual tiene por objeto preservación, restauración y conservación del ambiente, prevenir y controlar los efectos nocivos de la explotación de los recursos naturales no renovables, y regular la conducta humana, individual o colectiva y la Administración Pública (Rodríguez, 2009); en este decreto en su libro segundo “de la propiedad, uso e influencia ambiental de los recursos naturales renovables” dedica la parte III a las agua no marítimas, entre las que se encuentran las aguas superficiales.

En cuanto a límites de concentración de sustancias en fuentes superficiales tenemos el Decreto 1594 de 1984 expedido por el Ministerio de Agricultura ahora llamado Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, en el cual se establecen los usos del agua y residuos líquidos, reglamentando consigo el Código Nacional de los Recursos naturales. De este decreto en su artículo 20 lista las sustancias de interés sanitario que corresponden a sustancias químicas, elementos o compuestos que pueden causar daños o son tóxicos para la salud humana o cualquier forma de vida acuática, del mismo modo establece los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso en su capítulo IV teniendo en cuenta el uso del agua.

Por su parte la Resolución 0631 del 17 de marzo del 2015, la cual “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” indicando en su capítulo V los parámetros fisicoquímicos a determina y sus valores límites máximos

permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas de las actividades industriales, comerciales o de servicios, lo cual incluiría el cumplimiento de los parámetros y límites máximos permisibles a los generadores de aguas residuales domésticas (Henaó & Gómez-Rey, 2018).

## **Capítulo 3. Diseño metodológico**

### **3.1 Tipo de investigación**

El tipo de investigación que se abordara durante la realización del presente proyecto es de carácter mixto porque se analizaran variables de enfoque cuantitativo y cualitativo, ya que el análisis de ambas variables nos permite describir, explicar, comprobar, interpretar y predecir el comportamiento del problema en estudio mediante la recolección de datos, muestreos y análisis del agua; además de la utilización de técnicas de observación.

De igual manera, la investigación se pretende abordar desde un alcance descriptivo e interpretativo debido a que se parte de una realidad que se debe diagnosticar y caracterizar, considerando el fenómeno de estudio y sus componentes, así como la medición de conceptos y definición de variables. Junto a lo anterior, se busca medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los parámetros, variables y conceptos identificados;

además de encontrar sentido a las variables estudiadas en función de los significados y resultados obtenidos.

## **3.2 Población y muestra**

### **3.2.1 Población**

Nuestra población de estudio en la presente investigación corresponde a la microcuenca quebrada el Silencio ubicada en el corregimiento de Otare, municipio de Ocaña, Norte de Santander.

### **3.2.2 Muestra**

El subgrupo determinado para evaluar la calidad del agua está definido por cuatro (4) estaciones de monitorio, seleccionadas aleatoriamente según las características del sitio que estén acorde con los factores y criterios propuestos por la metodología del IDEAM (2018), estas estaciones estarán ubicadas en sitios estratégicos de la microcuenca manteniendo una uniformidad en la dinámica del cauce principal y que represente la calidad del agua de la fuente superficial. La técnica de muestreo a implementar es de tipo manual que permite conocer previamente las características propias del sitio, del mismo modo las muestras a tomar serán de tipo puntual.

### **3.2.3 Variables**

**Variables independientes.** Es una variable que representa una cantidad que se modifica en un experimento: volumen de la muestra, ubicación de las estaciones de monitoreo, distancias entre estaciones de monitoreo, cantidad de parámetros a evaluar.

**Variables dependientes.** Esta representa una cantidad cuyo valor depende de cómo se modifica la variable independiente, entre estas tenemos: tiempo de preservación de la muestra, volumen de reactivos, valores de los parámetros evaluados, índices de contaminación.

## **3.3 Técnica e instrumentos de recolección de información**

### **3.3.1 Fase I. Recolección de información**

Para la ejecución de la presente investigación se requieren consultar diferentes fuentes de información, que proporcionen los instrumentos necesarios de manera apropiada y eficiente con el fin de dar cumplimiento al alcance del proyecto, de igual manera es indispensable tener en cuenta las dinámicas y características socioambientales en el área de influencia de la microcuenca. La información será proporcionada a partir de fuentes

primarias y secundarias las cuales brindarán el soporte que servirá como base para dar cumplimiento a dicha investigación con relación a los objetivos planteados.

**Fuentes Primarias.** La información será proporcionada a partir de las observaciones al sitio de estudio con el fin de obtener una visión más amplia del comportamiento a lo largo del tiempo en cuanto al uso del recurso y de las características físicas-propia de la zona.

- ✓ Estructura del paisaje
- ✓ Estado del suelo
- ✓ Topografía
- ✓ Estado de la cobertura vegetal
- ✓ y actividades desarrolladas en el área de influencia de la microcuenca.

**Fuentes secundarias.** Se recopilará información a partir de diversas fuentes de información bibliográfica (artículos científicos, repositorios de universidades, libros, etc.) que tengan relación al tema de calidad del agua y que brinden el soporte técnico, científico y teórico pertinente con el fin de generar conocimiento de los temas a desarrollar durante la investigación.

- ✓ Metodología del IDEAM (2018), la cual establece los factores y criterios para la ubicación de sitios de muestreo en cuerpos de agua superficial.

- ✓ Libro. “Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico” de Sierra Ramírez, (2011) el cual trata a profundidad los índices de calidad del agua, así como el enfoque general que se tiene en el ámbito mundial, regional y local sobre el estado del agua y las características fisicoquímicas y biológicas de la misma.
  
- ✓ Libro. “Índices de Calidad y Contaminación del Agua” de Fernández Parada y Fredy Solano (2005) en el cual se tratan aspectos relevantes sobre la evaluación y valoración de la calidad del agua a través de indicadores de calidad y contaminación.
  
- ✓ El manual. Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 23rd, Edition, (2017) el cual contiene los métodos y técnicas para evaluar la calidad del agua y criterios a considerar con relación a las muestras.
  
- ✓ El Artículo. “Cuatro Índices de Contaminación para Caracterización de Aguas Continentales. Formulaciones y Aplicación” de Ramírez, Restrepo y Viña (1997) donde establecen los ICOs: ICOMI (Índice de Contaminación por Mineralización), ICOMO (índice de contaminación por materia orgánica), ICOSUS (índice de contaminación por sólidos Suspendidos) y ICO-pH (índice de contaminación por pH) los cuales califican las diferentes cualidades de las aguas complementando el panorama ambiental de un curso hidrológico

✓ y demás fuentes que sean requeridas en el transcurso de la investigación.

### **3.3.2 Fase II. Caracterización morfométrica de la microcuenca**

En la presente fase se caracterizará la morfometría de la microcuenca quebrada el silencio, a partir de parámetros cuantificables con el tratamiento de datos en software para analizar los resultados obtenidos, conocer sus dinámicas de acuerdo a sus características morfométricas y determinar el comportamiento hidrológico de la quebrada ante eventos climáticos y de su propia dinámica, está relacionada con la posibilidad de aprovechamiento hídrico y la generación de una respuesta a los mismos, como la escorrentía superficial expresada en términos de caudales, la incidencia en el transporte de sedimentos y nutrientes a lo largo de los ecosistema, teniendo en cuenta que el análisis de las características morfométricas y funcionales de una cuenca hidrográfica a través de parámetros de forma, relieve y red de drenaje, es básico en la modelación hidrológica para determinar el movimiento y captación del agua de lluvia (Gaspari et al., 2012).

Lo anterior se desarrollará mediante el uso del sistema de información geográfico ArcGIS 10.5 del cual se obtendrán datos en mapas a una escala 1:25000 según los establecido por el decreto 1640 de 2012 y a partir de allí obtener índices cuantitativos, los cuales apoyarán los estudios hidrológicos de la microcuenca. No obstante, con el análisis de estas características se busca entender la relación suelo-superficie como consecuencia de los procesos erosivos sobre estructuras litológicas variadas.

### **3.3.3 Fase III. Monitoreo de la calidad y oferta superficial de la microcuenca quebrada el silencio**

#### **3.3.3.1 Establecimiento de las estaciones de monitoreo**

Con relación a la información obtenida en las fases anteriores, se establecieron estratégicamente cuatro (4) estaciones de monitoreo ubicadas a distancias aleatorias a lo largo del cauce principal de la microcuenca, de igual manera la distribución de los puntos se llevó a cabo con base la metodología del IDEAM (2018), la cual establece los factores y criterios para la ubicación de sitios de muestreo en cuerpos de agua superficial, entre los cuales están:

Procurar en la medida de lo posible que las distancias entre estaciones a monitorear sean similares, excepto cuando las condiciones topográficas o de otra índole no lo permitan.

Factores Fundamentales o Estructurantes: condiciones de referencia, principales vertimientos, confluencia con ríos principales, políticas relacionadas con el recurso hídrico, zonas de desarrollo industrial y urbano existentes y potenciales, bocatomas de acueductos y distritos de riego, entre otros.

Factores Condicionantes: dificultad de acceso, seguridad de los equipos y del personal, infraestructura existente, características hidráulicas de la sección y tramo, cercanía a estaciones hidrológicas existentes, facilidad para realizar actividades hidrométricas y facilidad para la recolección de muestras, entre otros.

Factores Limitantes: son los que se refieren al presupuesto y al equipo de medición (capacidad, precisión, requerimientos de instalación, operación y mantenimiento), entre otros.

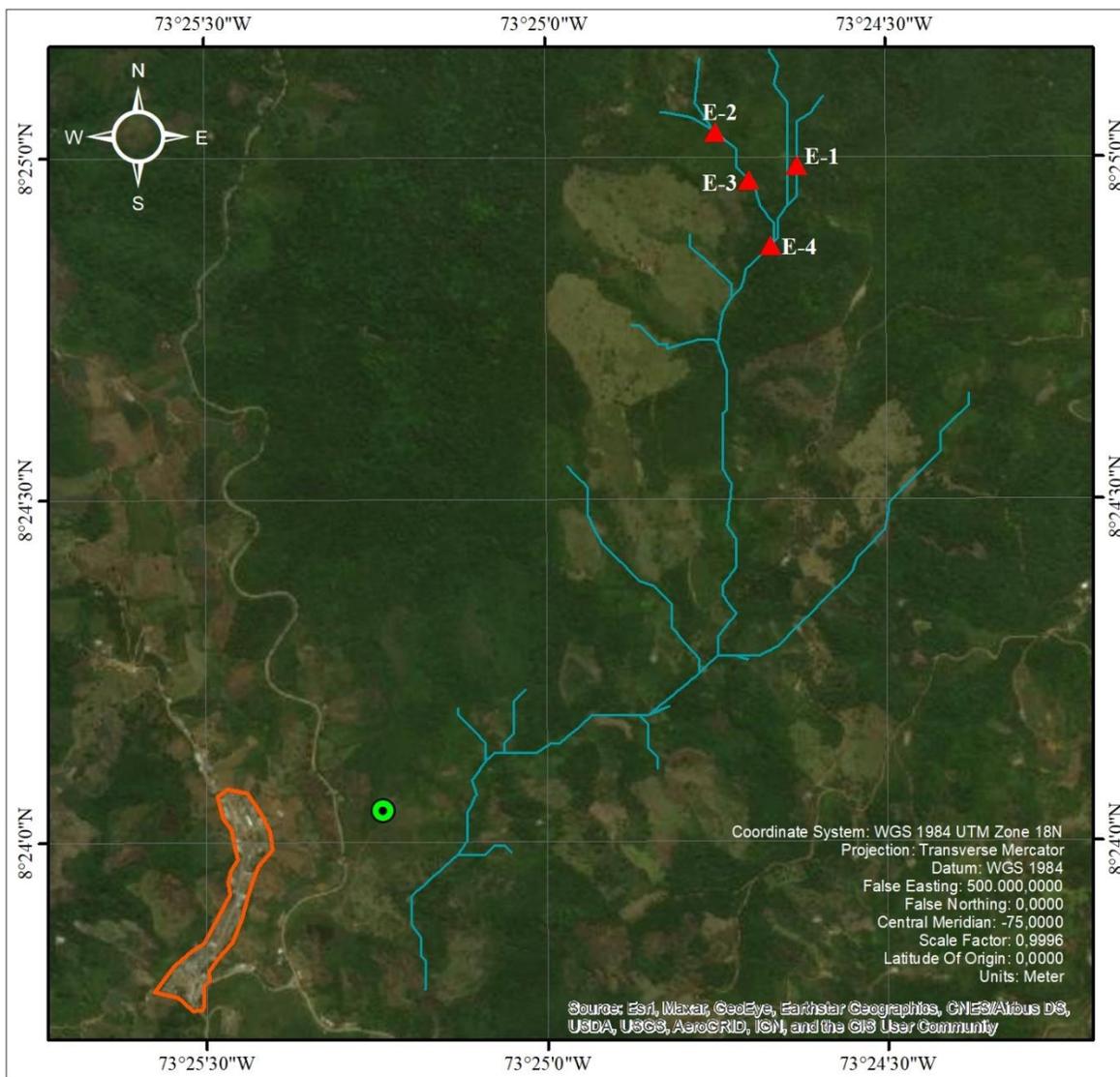
Según lo anterior se establecieron las cuatro (4) estaciones de muestreo tal como se observa en la tabla 2 y figura 2.

**Tabla 2**  
*Tabla de atributos par las estaciones de monitoreo*

<b>Estación</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Altitud (m.s.n.m)</b>	<b>Distancia entre estaciones (m)</b>	
1	8°24'59.32"N	73°24'37.80"O	1645	1-4	242
2	8°25'2.22"N	73°24'45.03"O	1656	2-3	171
3	8°24'58.00"N	73°24'42.05"O	1644	3-4	200
4	8°24'52.26"N	73°24'40.09"O	1640		

Autores del proyecto

# ÁREA DE ESTUDIO



Escala de trabajo: 1:15.000



Universidad Francisco  
de Paula Santander  
Ocaña - Colombia  
Vigilada Mineducación

## LEYENDA

-  Otare
-  PTAP
-  Estaciones
- World Imagery

## Localización del área

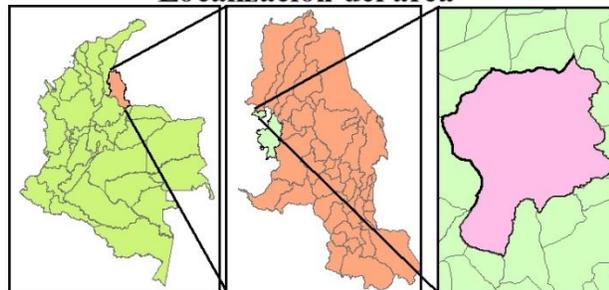


Figura 2. Área de estudio.  
Autores del proyecto

### **3.3.3.2 Georreferenciación**

Para cada estación de monitoreo se tomarán las coordenadas utilizando como herramienta un GPS (*Global Positioning System*) teniendo en cuenta un margen de error al momento de tomar la lectura. La referenciación de las estaciones es de gran importancia para toma de datos y su posterior análisis debido a que en estos puntos se tomaran las respectivas muestras y aforos de caudal.

### **3.3.3.3 Procedimiento para foro de caudal**

Teniendo en cuenta que las mediciones de caudal están orientadas a conocer las características geométricas e hidráulicas del cauce en diferentes estados hidrológicos, asociados con las temporadas de lluvias y sequías (IDEAM, 2018) Se realizarán aforos por método volumétrico (recomendado para caudales pequeños) en cada estación de monitoreo en tiempo de más lluvia y de menos lluvia.

### **3.3.3.4 Procedimiento para toma de muestras y análisis de variables**

Se empleará el tipo de muestra puntual, la cual se caracteriza por brindar información sobre las condiciones del sistema en un momento determinado, es de aclarar que el

monitoreo se llevara a cabo durante cuatro (4) meses, en cada una de las cuatro (4) estaciones seleccionados estratégicamente a lo largo de un tramo de 2,20 km, teniendo en cuenta la dinámica y el comportamiento hídrico. Los cuatro (4) muestreos se llevarán a cabo de forma manual y de manera bimestral uno en temporada de menos lluvia y otro en temporada de más lluvia en cada uno de los puntos estratégicamente definidos a lo largo de la microcuenca con el objeto de obtener muestras representativas del estado actual del recurso para análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Para realizar el muestreo de las variables fisicoquímicas y microbiológicas, las muestras serán recolectadas acorde a los procedimientos establecidos en el protocolo de monitoreo del agua propuesto por el IDEAM (2018), y el manual Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 23rd, Edition, (2017) los cuales establecen los métodos y técnicas para evaluar la calidad del agua, los procedimientos para la toma de muestras (profundidad del muestreo, volumen), los tipos de recipientes y materiales a utilizar para la recolección de las mismas, la cadena de custodia, preservación y los parámetros a evaluar en laboratorio.

Una vez tomada las muestras se procederá a transportarlas al laboratorio de Calidad del Agua de la UFPSO y del mismo modo se contará con el apoyo de la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Bucaramanga la cual se vinculará a la investigación a través del laboratorio de estudios Ambientales de la UPB, debido a que cada análisis y procedimiento deben ser evaluados y desarrollados cuidadosamente. Es de aclarar que para el laboratorio de la

universidad Pontificia Bolivariana se enviarán a evaluar dos estaciones seleccionadas estratégicamente en las dos temporadas de muestreo, los cuales serán usados para la determinación del índice de calidad de aguas superficiales (ICACOSU).

#### **3.3.4 Fase IV. Valoración y evaluación de la calidad del agua quebrada el silencio**

A partir de los análisis realizados en los laboratorios se procederá a confrontar cada variable con la normatividad aplicable al uso del agua para fuentes superficiales como lo es el Decreto 1594 de 1984 y la Resolución 0631 del 2015 la cual establece los límites máximos permisibles para los parámetros determinados.

Del mismo modo, en la presente fase se determinarán el ICACOSU y los ICOs tomando como guía la metodológica de cada indicador, el libro “*Índices de Calidad y de Contaminación del Agua*” de Fernández y Solano (2005) y lo propuesto por Ramírez y Viña (1997).

A partir de como identificar cada uno de estos índices contaminación, se implementará el software ICATEST V.1.0 el cual permite calcular de una manera más precisa los datos y llevar a cabo un análisis comparativo entre estaciones y periodos de muestreo a partir de la aplicación de los índices propuestos anteriormente.

Cada uno de los índices serán programados y perfeccionados por separado, en consideración a la escasa homogeneidad en lo que a sus diferentes formas de cálculo y tipo de información disponible se refiere. Se ingresarán los parámetros determinados en el análisis de laboratorio de forma directa para así obtener la representación gráfica de cada índice lo que permitirá observar el comportamiento comparativo de los valores de calidad. Una vez mostrado el cálculo obtendrá la gráfica respecto a cada índice por estación y por muestreo de tal manera que permitirá visualizar de forma comparativa el comportamiento de la calidad del agua.

Las ecuaciones para determinar cada índice se presentan a continuación:

### ICACOSU

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

Donde:

$ICA_{njt}$  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.

$W_i$  Es el ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i.

$I_{ikjt}$  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 en el trimestre 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 3**  
*Variables del ICACOSU*

<b>Variable</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Ponderación</b>
Oxígeno Disuelto, OD	% Saturación	0.17
Sólidos en Suspensión, SST	mg/l	0.17
Demanda química de Oxígeno, DQO	mg/l	0,17
NT/PT	(mg/l) / (mg/l)	0.17
Conductividad eléctrica, C.E.	μS/cm	0.17
pH	Unidades de pH	0,15

Fuente: CAR. (2016).

### **Oxígeno disuelto (OD)**

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

$Ox$  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.

Cálculo del  $I_{OD}$

$$I_{OD} = 1. (1 - 0.01 \cdot PS_{OD} - 1)$$

Cuando el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es mayor al 100%:

$$I_{OD} = 1 - (0.01 \cdot PS_{OD} - 1)$$

### **Sólidos suspendidos totales (SST)**

$$I_{SST} = 1 - (-0.02 + 0.003 \cdot SST)$$

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

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

### **Demanda química de oxígeno (DQO)**

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  $I_{DQO} = 0,125$

### **Conductividad eléctrica (C.E.)**

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

Cuando  $I_{CE} < 0$ , entonces  $I_{CE} = 0$

### **pH**

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

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

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

si  $8 < pH \leq 11$ , entonces  $I_{pH} = 1 \cdot e^{[(pH-8)-0,5187742]}$

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

### **Nitrógeno total/Fósforo total (NT/PT)**

Si  $15 \leq NT/PT \leq 20$ , entonces  $I_{NT/PT} = 0,8$

Si  $10 \leq NT/PT < 15$ , entonces  $I_{NT/PT} = 0,6$

Si  $5 \leq NT/PT \leq 10$ , entonces  $I_{NT/PT} = 0,35$

Si  $NT/PT \leq 5$ , ó  $NT/PT > 20$ , entonces  $I_{NT/PT} = 0,15$

El resultado obtenido se compara en una tabla entre los rangos cero (0) a uno (1), representándose la contaminación en forma ascendente tal como se presenta a continuación.

**Tabla 4**  
*Descriptores de Calidad del ICACOSU*

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

IDEAM. (2011).

### **Índice de contaminación por mineralización – ICOMI**

Integra conductividad, dureza y alcalinidad

$$ICOMI = \frac{1}{3}(I_{\text{Conductividad}} + I_{\text{Dureza}} + I_{\text{Alcalinidad}})$$

Donde:

$$I_{\text{Conductividad}} = \log_{10} \cdot I_{\text{Conductividad}} = -3,26 + 1,34 \log_{10} \text{Conductividad (S/cm)}$$

$$I_{\text{Conductividad}} = 10^{\log I_{\text{Conductividad}}}$$

Conductividades mayores a 270 S/cm, tienen un índice de conductividad =1

$$I_{\text{Dureza}} = \log_{10} \cdot I_{\text{Dureza}} = -9,09 + 4,40 \log_{10} \text{Dureza (mg/l)}$$

$$I_{\text{Dureza}} = 10^{\log I_{\text{Dureza}}}$$

Durezas mayores a 110 mg/l tiene un índice = 1

Durezas menores a 30 mg/l tienen un índice = 0

$$I_{\text{Alcalinidad}} = -0,25 + 0,005 \text{Alcalinidad (mg/l)}$$

Alcalinidades mayores a 250 mg/l tienen un índice = 1

Alcalinidades menores a 50 mg/l tienen un índice = 0

### **Índice de contaminación por materia orgánica – ICOMO**

Conformado por Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Coliformes Totales y Porcentaje de Saturación de Oxígeno.

$$ICOMO = \frac{1}{3}(I_{\text{DBO}} + I_{\text{coliformes}} + I_{\% \text{Oxígeno}})$$

Donde:

$$I_{DBO} = -0,05 + 0,70 \log_{10} \cdot DBO(mg/l)$$

$$DBO > 30 (mg/l) = 1$$

$$DBO < 2 (mg/l) = 0$$

$$I_{Coliformes\ Totales} = -1,44 + 0,56 \log_{10} \cdot Col.Tot. (NMP/100ml)$$

$$Coliformes\ Totales > 20,000 (NMP/100ml) = 1$$

$$Coliformes\ Totales < 500 (NMP/100ml) = 0$$

$$I_{\% \text{ Oxigeno}} = 1 - 0,01 \text{Oxigeno}\%$$

Oxigeno (%) mayores a 100% tienen un índice de oxígeno de = 0

### **Índice de contaminación por solidos suspendidos – ICOSUS**

$$ICOSUS = -0,02 + 0,003 \text{Solidos Suspendidos (mg/l)}$$

Solidos suspendidos > 340 (mg/l) tienen un ICOSUS = 1

Solidos suspendidos < 10 (mg/l) tienen un ICOSUS = 0

### Índice de contaminación por pH – ICOpH

$$ICOpH = \frac{e^{-31,08+3,45pH}}{1 + e^{-31,08+3,45pH}}$$

Los resultados obtenidos de los ICOs se comparan con una tabla entre los rangos cero (0) a uno (1), representándose el grado de contaminación en orden ascendente tal como se presenta a continuación.

**Tabla 5**

*Significancia de los índices de contaminación ICOs*

ICO	Grado de Contaminación	Escala de Color
0 -0,2	Ninguna	
>0,2 - 0,4	Baja	
>0,4 - 0,6	Madia	
>0,6 - 0,8	Alta	
>0,8 - 1	Muy Alta	

Ramírez et al. (1999).

#### 3.3.5 Fase V. Tratamiento, triangulación y evaluación de la información

Con la información obtenida se procederá a realizar el tratamiento estadístico acorde con lo planteado por Sierra Ramírez (2011), el cual establece que en los diagnósticos de la calidad del agua es necesario establecer la relación entre dos o más variables utilizando el análisis de correlación como una medida del grado de asociación lineal que existe entre dos variables aleatorias. En este caso “aleatoria” significa que la variable no está bajo el control del investigador y, por lo tanto, en su medición puede existir un error asociado. Además de establecer el grado de asociación entre las variables (correlación), conocer la relación

funcional entre las variables (análisis de regresión) se asume generalmente que no hay error en la medición de la variable independiente, lo cual significa que todos los errores son atribuibles a la variable dependiente.

Para llevar a cabo el análisis de correlación y regresión se contará con un programa de software estadístico (Excel, RStudio, otros) que a través de sus hojas de cálculo permita realizar todas las actividades relacionadas con el almacenamiento, gráfica, actualización y análisis de datos.

Finalmente se generará un informe técnico, con información veraz, confiable, oportuna y persistente referente a la calidad integral del agua de la quebrada el Silencio, con base en los resultados obtenidos y documentados, formulando en el mismo recomendaciones de mejora frente a los problemas que afectan la calidad del recurso, con el propósito que sirva como insumo para la toma de decisiones a técnicos de entidades como CORPONOR, Instituto Departamental de Salud (IDS) y demás autoridades competentes que tiene influencia en el área de estudio.

Del mismo modo, concluiremos con la socialización a las partes interesadas como lo son la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y la comunidad del corregimiento de Otare.

Para una visión más clara en la tabla 6 se detallan las actividades para dar cumplimiento a la metodología planteada.

### 3.4 Cronograma de actividades

**Tabla 6**  
*Cronograma de actividades*

ACTIVIDAD	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8						
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
Revisión de información secundaria generada por los diferentes instrumentos de planificación y fuentes bibliográficas.	■																																		
Reconocimiento de la zona de estudio con el fin de obtener información más precisa sobre sus características, ubicación y demás generalidades.					■																														
Compilación de la información obtenida de las distintas fuentes para la caracterización socio-ambiental general de la zona de estudio.									■																										
Caracterización biofísica de la microcuenca quebrada el silencio y su red hídrica con la aplicación de un sistema de información geográfica a una escala 1:25000.													■																						
Establecimiento de las cuatro (4) estaciones de monitoreo en puntos estratégicos de la microcuenca con base a las pautas técnicas del IDEAM para el monitoreo de calidad del agua y oferta hídrica en fuentes superficiales.													■																						



## Capítulo 4. Presentación de resultados

### 4.1. Caracterización morfométrica de la microcuenca

Con el procesamiento de información en el software SIG se logró obtener las respectivas salidas gráficas y los datos necesarios para definir la caracterización morfométrica que a la vez fueron tratados mediante las ecuaciones definidas para cada parámetro.

**Tabla 7**

*Parámetros morfométricos de la microcuenca El Silencio*

N°	Parámetro	Resultado
1	Área	3,277024 km <sup>2</sup> =327,70238 ha
2	Perímetro	8,658819 km
3	Longitud axial	2,219817 km
4	Longitud máxima del recorrido	2,673736 km
5	Ancho promedio	1,476258629 km
6	Coefficiente de Gravelius	1.339296956
7	Factor forma	0,4583978531
8	Índice de alargamiento	4,020436874
9	Índice asimétrico	1,084947135
10	Pendiente de la cuenca	15,18474524%
11	Pendiente media de la cuenca	80,28760526%
12	Elevación de la cuenca	1645,123866 m.s.n.m
13	Curva hipsométrica	Madura
14	Área – elevación	1645,123866 m.s.n.m
15	Coefficiente de masividad	502,0176434 (m.s.n.m) /km <sup>2</sup>
16	Coefficiente orográfico	0,8258812064
17	Densidad de drenaje	2,282279104 km/km <sup>2</sup>
18	Densidad de corriente	8,239182868Km <sup>2</sup>
19	Orden de corriente	3
19.1	Orden de corriente 1	14
19.2	Orden de corriente 2	3
19.3	Orden de corriente 3	10
20	Sinuosidad de las corrientes	0,7167
21	Tiempo de concentración	17 min
22	Índice de Torrencialidad	4,272168895 Km <sup>2</sup>
23	Constante de estabilidad del rio	0,4381585048Km <sup>2</sup> /Km

Fuente: Autores del proyecto

# Microcuenca el Silencio

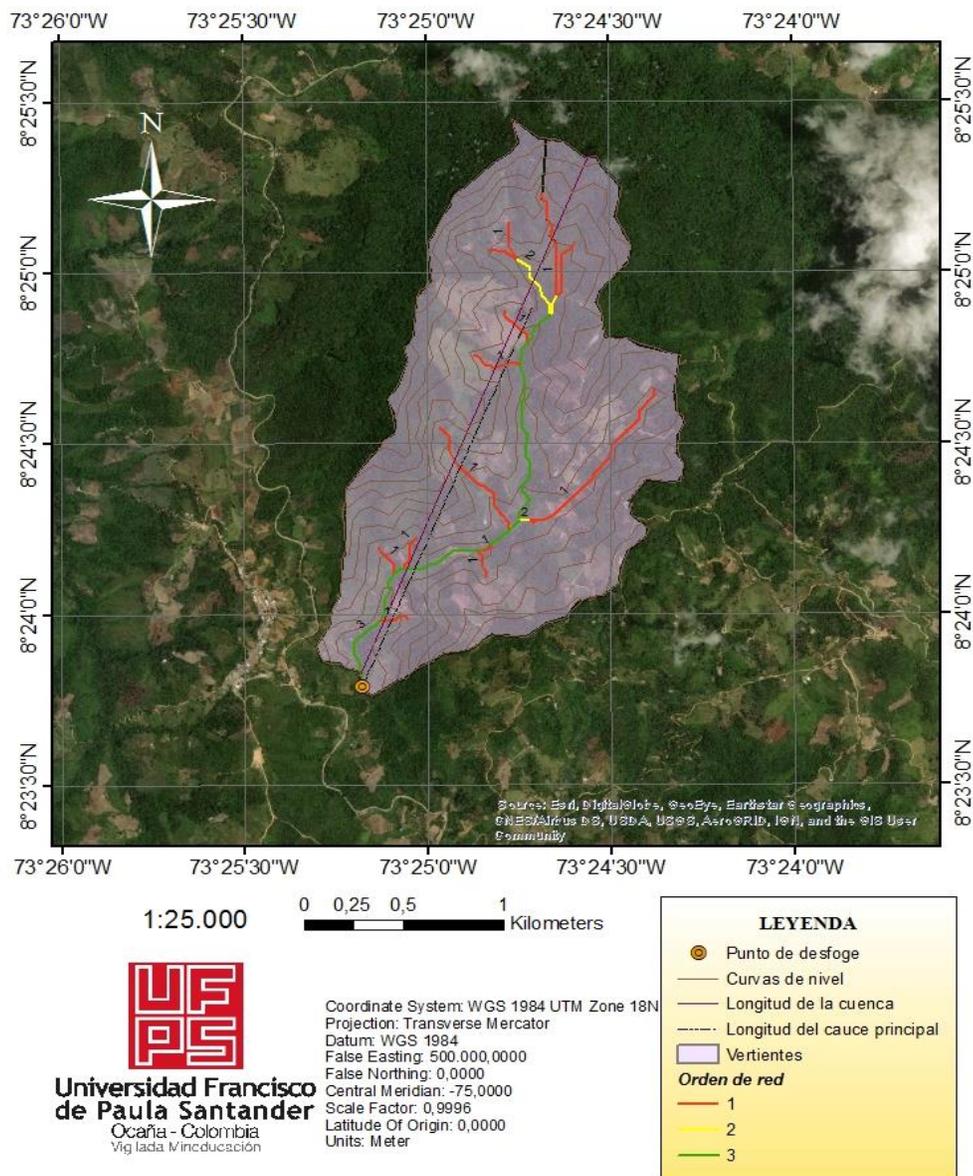


Figura 3. Morfometría de la microcuenca el Silencio.  
Autores del proyecto

# Mapa de pendientes Microcuenca el Silencio

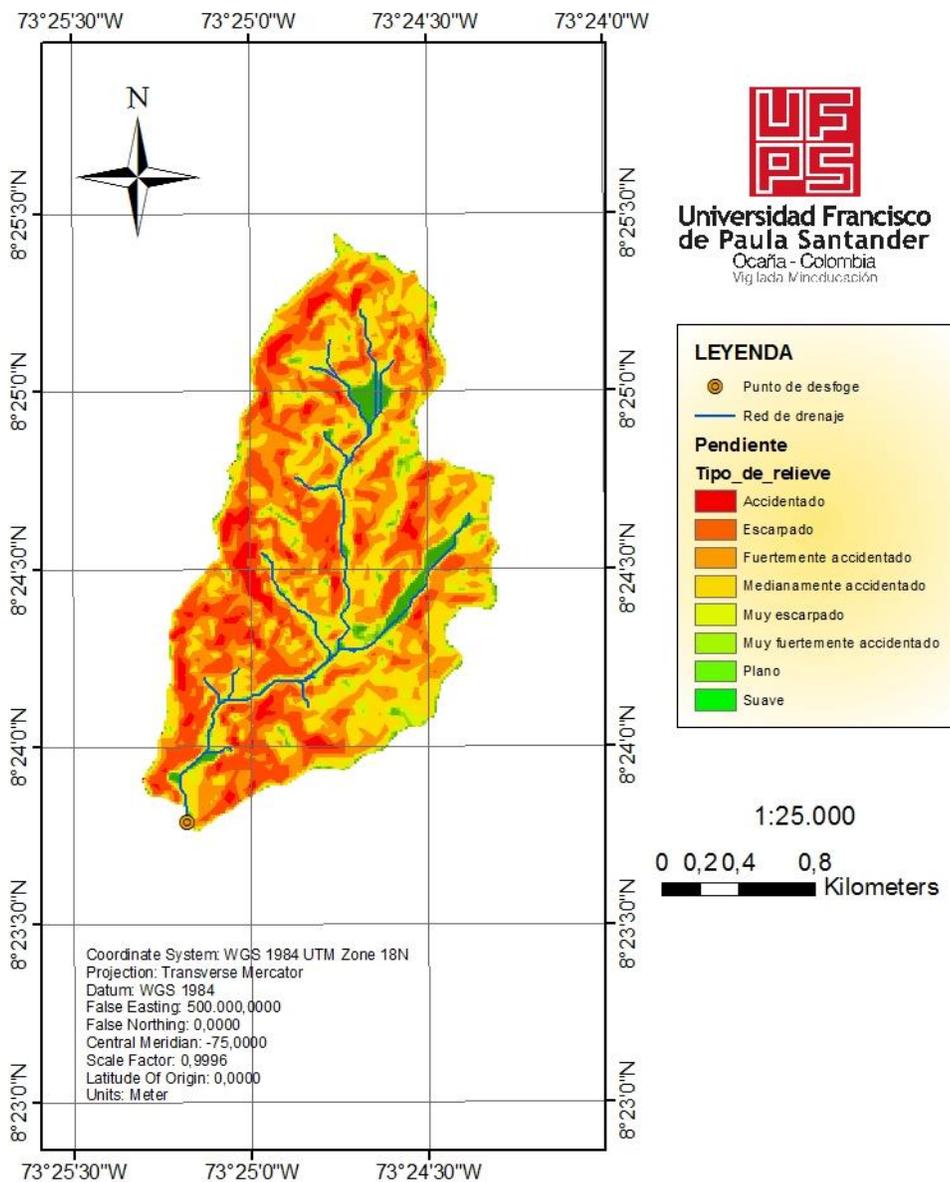


Figura 4. Clasificación de pendientes de la microcuenca el Silencio  
 Autores del proyecto

Según los datos presentados en la tabla 7 se establece que la microcuenca el Silencio presenta las siguientes características según su caracterización; en primer lugar, con la relación perímetro-área se determina que este es 2,6 veces mayor que el área, indicando que la microcuenca presenta un alto intercambio de material entre las vertientes y los tributarios, así mismo determina la forma de la microcuenca, la cual presenta una forma oval redonda-oval oblonga, es decir que existe una baja susceptibilidad a las avenidas torrenciales, así como peligro torrencial indicando una poca tendencia a crecientes o concentración de altos volúmenes de agua de escorrentía; en cuanto al factor forma y el índice de alargamiento la microcuenca presenta una forma alargada, susceptible a leves crecidas; existe una distribución no uniforme de las vertientes izquierda y derecha, por lo tanto, se puede decir que el cauce principal se encuentra bastante cargado a una de las dos vertientes de la microcuenca y los volúmenes de escorrentía no son similares en ambas vertientes (Aparicio, 1992).

El relieve de la microcuenca tiene una pendiente media de 80,29%, lo que indica un tipo de terreno muy escarpado, es decir que existen procesos de escorrentía superficial que aumenta la cantidad de agua en las vertientes y disminuye la capacidad de infiltración, todo esto con tendencia a generación de crecientes en el cauce principal en tiempos relativamente cortos. La elevación media de la microcuenca es de 1645,12 m.s.n.m, con un punto de desagüe a 1470 m.s.n.m, arrojando un perfil exponencial, característico de clima Bimodal y temperatura promedio anual de 18,8°C, con la cual se determinó la curva hipsométrica (apéndice B) que arrojó una microcuenca en etapa de equilibrio, geológicamente Madura que presenta alta capacidad de transporte de sedimentos y agua, que coincide con la pendiente de

la microcuenca siendo  $> 3\%$  (15,18%) indicando un menor tiempo de concentración y menor infiltración.

La caracterización de la red drenaje de la microcuenca el Silencio según la constancia de esorrentía y transporte de caudal presenta un cauce principal perenne (información suministrada por los actores claves del corregimiento de Otaré) debido a que posee agua todo el tiempo sin importar las condiciones meteorológicas y nunca desciende a un nivel inferior al del lecho del río ya que el nivel freático mantiene una alimentación continua.

Dado que el resultado obtenido por la densidad de drenaje se encuentra entre los valores 0,5 y 3,5 km/km<sup>2</sup>, corresponde a una microcuenca medianamente drenada, lo cual indica que tiende a presentar problemas de erosión por causa de la esorrentía, una baja respuesta frente a tormentas lo que implica que el agua sea evacuada en un mayor tiempo; los cursos de agua en la microcuenca el silencio corresponden al tercer orden indicando un mayor grado de desarrollo fluvial de acuerdo con lo expuesto por Horton (cuanto más alto sea el orden mayor será el grado de desarrollo fluvial) mayor energía, control estructural y mayor posibilidad de erosión (Cruz, Gasparil, Rodríguez, Carrillo, & Téllez, 2015).

La microcuenca presenta una sinuosidad baja debido a su alta pendiente y fuerza erosiva, indicando que su cauce principal es de alineamiento recto, con escasa presencia de meandros. Sin embargo, presenta un tiempo de concentración 0,29 horas (17 min) lo cual implica un menor tiempo relacionado con la pendiente y área de la misma, incrementa la

escorrentía superficial, menor volumen de agua y una escasa infiltración, lo que es indicativo que al producirse lluvia de larga duración e intensidad alta este sistema presente moderado riesgo de torrencialidad y de arrastre de sedimentos lo que también se encuentra reflejado en la constante de estabilidad del río que arrojó un resultado bajo, indicando la presencia de rocas débiles, escasa vegetación (algunos sectores) y baja capacidad de infiltración del suelo, es decir mayor erodabilidad (Aparicio, 1992).

## 4.2. Caracterización de recurso hídrico.

### 4.2.1. Caudal

La determinación de caudal se realizó por el método volumétrico en el cual se utilizó un balde de 11 litros de capacidad y se registraron cinco tiempos según lo establecido en el protocolo de monitoreo del agua propuesto por el IDEAM (2018), los resultados del aforo se presentan a continuación.

**Tabla 8**

*Caudales en las cuatro estaciones de monitoreo en época de menos lluvia*

Estación	Método de aforo	Caudal (L/s)
1	Volumétrico	1,91
2	Volumétrico	1,663
3	Volumétrico	1,741
4	Volumétrico	0,917
Media aritmética		1,558

Fuente: Autores del proyecto

**Tabla 9***Caudales en las cuatro estaciones de monitoreo en época de más lluvia*

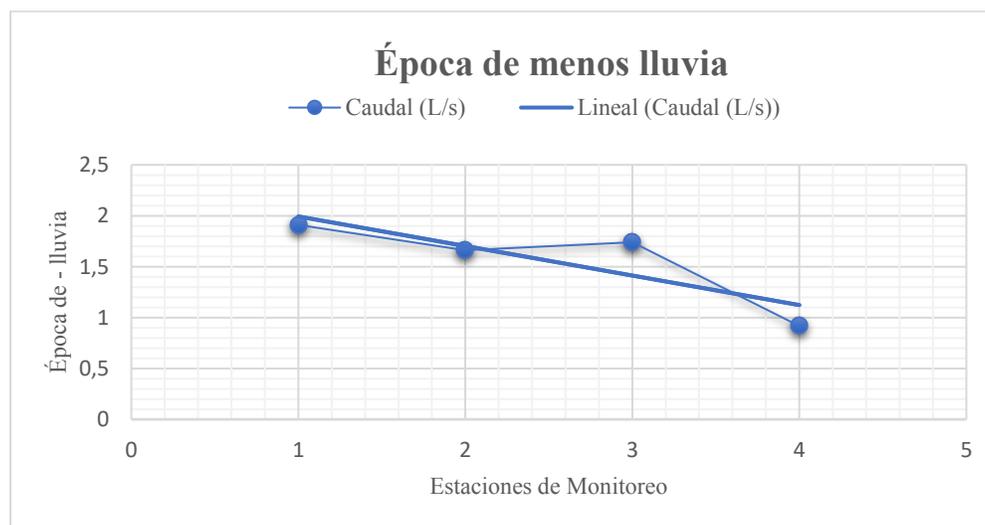
Estación	Método de aforo	Caudal (L/s)
1	Volumétrico	1,925
2	Volumétrico	1,816
3	Volumétrico	1,94
4	Volumétrico	0,918
Media aritmética		1,65

Fuente: Autores del proyecto

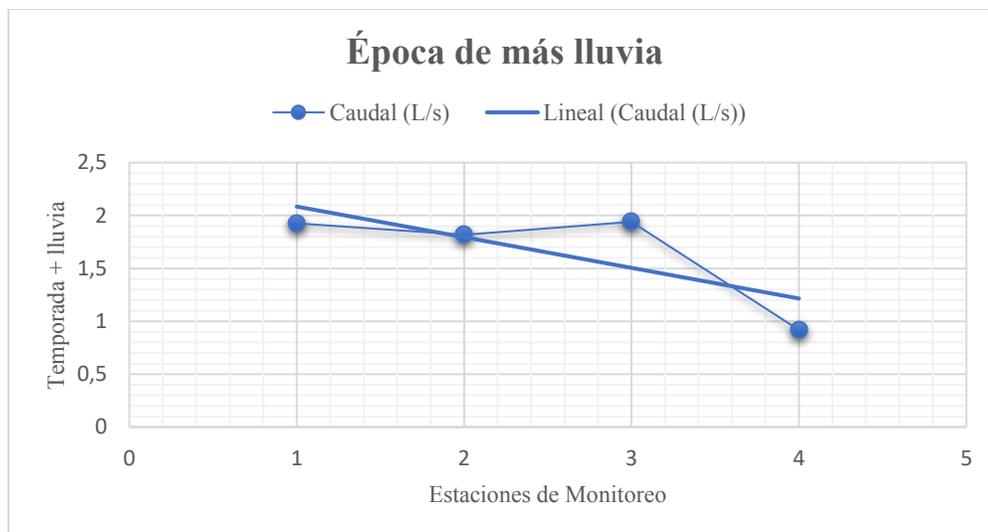
**Tabla 10***Estadísticos descriptivos para los datos de caudal*

Época	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Varianza
-Lluvia	4	0,917	1,91	1,558	0,439	0,193
+ Lluvia	4	0,9,18	1,94	1,649	0,491	0,241
2 épocas	8	0,917	1,94	1,604	0,434	0,188

Fuente: Autores del proyecto



*Figura 5.* Gráfico de dispersión de los caudales medidos en época de menos lluvia.  
Autores del proyecto



*Figura 6.* Gráfico de dispersión de los caudales medidos en época de más lluvia.  
Autores del proyecto

El primer muestreo realizado en época de la sequía estacional normal definida por el IDEAM y realizado el 23 de marzo de 2021 teniendo en cuenta la transición a la primera temporada de lluvia estuvo enmarcada por un aumento del 60% de las precipitaciones predichas por el IDEAM según el Boletín Nacional Agroclimático - ABRIL 2021; para el segundo muestreo realizado el 26 de abril de 2021 catalogado como primer mes de temporada lluviosa se presentaron lluvias por encima de lo esperado según Boletín Agroclimático Nacional - MAYO 2021, que coincide con el objetivo de la investigación.

Según los datos obtenidos en los aforos de las dos temporadas se presenta poca variabilidad del caudal con una diferencia entre la media aritmética de 9,2% para las dos temporadas, lo cual se debe a las características físicas en las que se ubica la microcuenca y que clasifican el caudal de la misma como perenne.

#### 4.2.2. Caracterización Organoléptica del agua.

**Estación 1.** Presenta un color aparente café claro el cual posiblemente se deba a la presencia de material flotante de materia orgánica como hojarascas o ramas que se descomponen a lo largo del cauce y producen humos en dilución que del mismo modo influye en una leve turbiedad en la muestra. No se detectó olores que indicaran condiciones anormales o indicios de contaminación de las muestras para los dos muestreos.

**Estación 2.** Se logró apreciar un color aparente con tonalidad amarillo-marrón lo cual se atribuye en primer lugar a la descomposición natural de la materia vegetal de árboles y plantas (humos) por otra parte, esta característica se puede atribuir a la presencia de algas de la división *Chlorophyta* o algas bentónicas que se fijan al sustrato en descomposición permitiendo la formación y estabilidad de los sedimentos (Borge & Cantora, 2016). No se distinguió olores ofensivos.

**Estación 3.** Se observó que el lecho fluvial en este punto presenta secciones de suelo limoso con alto contenido de materia orgánica descompuesta, debido a la acumulación sobre este tramo producto de la poca pendiente y la alta vegetación; como consecuencia de lo anterior la muestra presentó un color marrón claro que fue más intenso en el primer muestreo, acompañado de un olor característico de este tipo de suelo. Del mismo modo se logró apreciar una leve turbiedad.

**Estación 4.** Presento mejores características organolépticas. El color del agua fue incoloro y no se detectó olor del agua; lo anterior se atribuye a las características del cauce debido a que presenta suelo mayormente arenoso acompañado de pequeñas rocas.

#### 4.2.3. Resultados de análisis físico-químicos

**Tabla 11**

*Resultados de parámetros físico-químicos de laboratorio UFPSO*

Parámetro	Unidad	Temporada de menos lluvia				Temporada de más lluvia			
		23 de marzo de 2021				26 de abril de 2021			
		E-1	E-2	E-3	E-4	E-1	E-2	E-3	E-4
<b>Parámetros medidos en campo</b>									
Caudal	L/s	1,91	1,663	1,741	0,917	1,925	1,816	1,94	0,918
Temperatura del agua	°C	18	18,5	18,6	18,8	17,4	17,0	17,8	17,5
<b>Parámetros medidos en laboratorio</b>									
<b>Análisis físico-químicos</b>									
Alcalinidad	mg /L CaCO <sub>3</sub>	75	80	100	100	75	80	80	95
Color real	UPtCO	26	43	202	48	5	18	44	22
Conductividad	μS/cm	161,4	168,2	173,0	176,6	161,9	165,8	175,2	192,8
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	7	12	5	2	4	12	9	6
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	55	95	29	10	16	48	39	21
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	68	67	74	80	68	75	73	83
Fluoruros	mg/L F <sup>-</sup>	0,03	0,23	0	0,07	0,31	0,35	0,39	0,37
Nitratos	mg/L N-NO <sub>3</sub>	4,84	7,92	6,16	12,32	8,36	13,64	13,2	4,4
Nitritos	mg/L N-NO <sub>2</sub>	0,0198	0,0132	0,0036	0,0495	0,0165	0,0363	0,0363	0,0396
Nitrógeno amoniacal	Mg/L N-HN <sub>3</sub>	0,02	0	0,03	0,14	0,01	0,27	0,01	0,05
Oxígeno disuelto	mg/L O <sub>2</sub>	7,68	7,61	7,70	7,54	6,90	7,15	6,99	6,76
pH	pH	6,62	6,46	6,45	6,48	6,59	6,96	6,83	7,01
Sólidos disueltos	mg/L	45	103	96	104	44	91	72	104
Sólidos suspendidos	mg/L	98	105	86	112	131	124	130	136
Sólidos totales	mg/L	122	134	114	136	120	127	129	133
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1	2	6	3	0	1	1	1
Turbiedad	NTU	9,98	21,9	76,9	5	1,20	2,20	1,35	1,14

"Tabla 11" Continúa

		Análisis microbiológicos							
Coliformes totales	NMP/100mL	290	>1100	290	210	1100	1100	1100	460
Escherichia coli	NMP/100mL	210	>1100	240	150	57	96	82	54

Fuente: Autores del proyecto con base a los resultados del laboratorio UFPSO.

Tabla 12

Resultados de parámetros físico-químicos de laboratorio UPB

Parámetro	Unidad	Temporada de más lluvia		Temporada de menos lluvia	
		25 de mayo de 2021		20 de julio de 2021	
		E-1	E-3	E-1	E-3
Temperatura de campo	°C	17,8	18,2	18,0	18,4
Alcalinidad	mg /L CaCO <sub>3</sub>	73,2	81,0	70,0	76,9
Cloruros	mg/L Cl	1,60	2,18	1,60	2,36
Conductividad	µS/cm	146	160	152	163
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	<2,00	<2,00	0,780	2,03
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	2,53	20,2	1,82	1,82
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	71,0	75,0	59,5	68,2
Fluoruros	mg/L F <sup>-</sup>	0,149	0,159	0,135	0,138
Fosforo Total	mg/L P	0,036	0,024	0,0410	0,024
Nitratos	mg/L N-NO <sub>3</sub>	0,350	0,210	0,343	0,198
Nitritos	mg/L N-NO <sub>2</sub>	0	0	0,0110	0,0110
Nitrógeno amoniacal	mg/L N-HN <sub>3</sub>	<5,00	<5,00	0	0
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L N	4,53	2,48	2,44	2,16
pH y Temperatura	Unidad de pH / °C	7,14/21,0	7,22 / 21,1	7,41/20,9	7,51/20,8
Oxígeno disuelto	mg/L O <sub>2</sub>	7,48	7,56	7,91	7,88
Sólidos disueltos	mg/L SD	126	70,1	128	118
Sólidos suspendidos	mg/L SST	90	74,2	95,4	88
Sólidos totales	mg/L ST	130	73,1	133	121
Turbiedad	NTU	3,73	6,87	4	2,89
Análisis microbiológicos					
Coliformes totales	NMP/100mL	11000	6300	320	200
Escherichia coli	NMP/100mL	450	200	20	45

Fuente: Autores del proyecto con base a los resultados del laboratorio UPB.

**Tabla 13***Estadísticos descriptivos de parámetros físico-químicos del laboratorio UFPSO*

	<b>Rango</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>Error típico</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Varianza</b>
<b>Temperatura del agua</b>	1,8	17	18,8	17,95	0,2268	0,6414	0,4114
<b>Alcalinidad</b>	25	75	100	85,625	3,8309	10,8356	117,4107
<b>Cloro libre</b>	0,3	0	0,3	0,0725	0,0371	0,1051	0,0110
<b>Color real</b>	197	5	202	51	22,1979	62,7853	3942
<b>Conductividad</b>	31,4	161,4	192,8	171,8625	3,6157	10,2269	104,5912
<b>DBO<sub>5</sub></b>	10	2	12	7,25	1,2878	3,6425	13,2678
<b>DQO</b>	85	10	95	39,125	9,6980	27,4301	752,4107
<b>Dureza total</b>	16	67	83	73,5	2,0615	5,8309	34
<b>Fluoruros</b>	0,39	0	0,39	0,2187	0,0572	0,1619	0,0262
<b>Nitratos</b>	9,24	4,4	13,64	8,855	1,3237	3,7441	14,0187
<b>Nitritos</b>	0,0459	0,0036	0,0495	0,0268	0,0055	0,0157	0,0002
<b>Nitrógeno amoniacal</b>	0,27	0	0,27	0,0662	0,0331	0,0936	0,0087
<b>Oxígeno disuelto</b>	0,94	6,76	7,7	7,2912	0,1354	0,3831	0,1468
<b>pH</b>	0,56	6,45	7,01	6,675	0,0805	0,2275	0,0518
<b>Sólidos disueltos</b>	60	44	104	82,375	9,0611	25,6288	656,8393
<b>Sólidos suspendidos</b>	50	86	136	115,25	6,3266	17,8945	320,2143
<b>Sólidos totales</b>	22	114	136	126,875	2,7153	7,6799	58,9821
<b>Sulfatos</b>	6	0	6	1,865	0,6665	1,8851	3,5535
<b>Turbiedad</b>	75,76	1,14	76,9	14,9587	9,1973	26,0140	676,7298

Fuente: Autores del proyecto.

Con relación a la información suministrada en la tabla 11 y al comportamiento general de las variables, se observó que la temperatura del agua tuvo una variación entre 18 °C y 18,8°C, registrándose el valor máximo en la primera captación del tanque de almacenamiento (E-1) durante el muestreo de menos lluvias, es de resaltar que la poca variabilidad en los valores de la temperatura se deben a que las estaciones conservan una uniformidad en sus condiciones físicas un ejemplo de ello es la vegetación; además de verse este parámetro relacionado con los resultados de la concentración de oxígeno disuelto los cuales oscilan entre 6,76 mg/L (E-4) temporada de más lluvias y 7,70 mg/L (E-3) temporada de menos

lluvias, indicando que a menor temperatura mayor presencia de oxígeno disuelto, por tanto la cantidad de oxígeno disuelto en el agua es aceptable o de óptima calidad así como su nivel de saturación y solubilidad de gases siendo un indicativo de buena capacidad de reoxigenación, aparte de ser un rango adecuado para el desarrollo de la biota acuática y de los diferentes organismos.

Por otra parte, el pH registro los valores mínimos en el muestreo de menos lluvias (E-3) y los valores máximos en el muestreo de más lluvias (E-4), oscilando dichos valores entre 6,45 – 7,01 además de presentar poca variabilidad con relación a la varianza de 0,052. Esto quiere decir que, aunque los resultados obtenidos de pH sean aceptables para aguas naturales, los puntos evaluados presentan un cierto grado de acidez atribuidos a metales en disolución, ácidos minerales fuertes y ácidos débiles presentes en el cuerpo de agua. Además, dichos valores de pH inciden en los resultados de alcalinidad indicando que no existen riesgos de salud por dicho parámetro, si bien esta se supervisa solo para controlar los procesos de tratamiento. Sin embargo, es de mencionar que la mayoría de las aguas naturales contiene ácidos y bases débiles, por tanto, la acidez y la alcalinidad se pueden determinar a través del pH.

Por otra parte, en cuanto a la dureza el valor máximo fue en la estación E-4 (83 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ) en la temporada de más lluvias y el valor mínimo en la estación E-2 (67mg/L  $\text{CaCO}_3$ ) en la temporada de menos lluvias, clasificándola en el rango de aguas moderadamente blandas (75-150 mg /L  $\text{CaCO}_3$ ) lo que se atribuye a los minerales que se liberan en los

estratos del suelo propios de los ríos naturales, además de presentar una media aritmética de 73,5 mg CaCO<sub>3</sub>/L que ubica el comportamiento de dureza en el rango de clasificación otorgada para las aguas muy productivas (>25 mg CaCO<sub>3</sub>/L) según Cantera Kindz, et al. (2009); del mismo modo esta concentración de sales en disolución generan iones capaces de transportar la corriente eléctrica que están asociados al sistema carbonato (carbonatos, bicarbonatos y ácido carbónico) lo cual se relaciona con los datos obtenidos para conductividad donde los resultados se encuentra entre (161,4 - 192,8 μS/cm) y son propios de cauces en zonas de montaña (Solís-Castro, Zuñiga-Zuñiga, & Mora-Alvarado, 2018). Por otra parte, se puede observar que el valor de alcalinidad máximo se presentó en E3 y E4 (100 CaCO<sub>3</sub>) en temporada de menos lluvia, que se debe al menor caudal donde se da una mayor concentración de los carbonatos que en temporada de más lluvia. En todos los casos anteriores, los valores de estos parámetros se consideran normales de acuerdo la norma técnica de calidad del agua decreto 1594/1984.

Los sólidos suspendidos totales fue uno de los parámetros que presentó mayor variabilidad entre estaciones con valores comprendidos entre 86 mg/L SST registrados en la (E-3) y 136 mg/L SST en la (E-4). Dicho comportamiento, se debe a que estos fueron tomados en temporadas de más lluvia y menos lluvia. En general, estos registros se consideran normales de acuerdo a la ubicación de las estaciones, puesto que la (E-2) está ubicada en una parte alta de la quebrada y a medida que se desciende el cauce remueve material que hace que se aumente los sólidos aguas abajo debido a las dinámicas ecológicas que presenta la fuente de agua en cuanto a remoción de suelo, materia orgánica, al arrastre y acumulación de sedimentos, etc.

Las variables de DBO<sub>5</sub> y DQO presentaron variaciones considerables entre los periodos de muestreo, los valores mínimos registrados para los parámetros fueron de 2 mg O<sub>2</sub>/L y 10 mg O<sub>2</sub>/L en la (E-4) y los valores máximos 12 mg O<sub>2</sub>/L y 95 mg O<sub>2</sub>/L en la (E-2) en temporada de menos lluvias. No obstante, estos resultados demuestran que el cuerpo de agua presenta a lo largo de su recorrido buena capacidad de autodepuración lo cual se sustenta en los datos estadísticos descriptivos, donde para las dos variables el resultado de la varianza es relativamente alto, indicando que existe un alto grado de dispersión entre los mismos datos.

En cuanto al nitrógeno amoniacal y nitrógeno Kjeldahl todos los valores están por debajo del límite de cuantificación del método (<5) permitiendo confirmar que los valores de nitritos y nitratos cumplen con el capítulo IV en cuanto a criterios de calidad para destinación del recurso para consumo humano y doméstico del decreto 1594 de 1984.

En general, todos los parámetros evaluados a lo largo de las estaciones monitoreadas en los periodos de más y menos lluvias, estuvieron por debajo de los valores máximos permisibles establecidos por el decreto 1594/1984 y la resolución 631/2015. Esto significa que la calidad actual del agua de la microcuenca el Silencio se encuentra en condiciones óptimas para la vida de los organismos acuáticos y demás seres vivientes. Además, de indicar que la fuente de agua es apta para un tratamiento convencional de potabilización.

#### 4.2.4. Resultados de análisis microbiológicos

Según la tabla 11, los valores más altos de Coliformes totales se registraron en la E-2 para las dos temporadas y en la E-1 y E-3 para la temporada de menos lluvias se registraron valores superiores o iguales 1100 NMP/100mL y en el caso de *Escherichia coli* este valor se registró en la E-2; lo cual nos indica que existe una contaminación microbiológica que se atribuye a las heces de los animales de carga que transitan por los caminos ubicados aguas arriba de la microcuenca los cuales son arrastrados por escorrentía.

**Tabla 14**

*Estadísticos descriptivos de parámetros microbiológicos*

	<b>Rango</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Error típico</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Varianza</b>
<b>Coliformes totales</b>	890	210	1100	706,25	780	150,8006	426,5455	181941,07
<b>Escherichia coli</b>	1046	54	1100	248,625	123	124,0528	350,8743	123112,83

Fuente: Autores del proyecto.

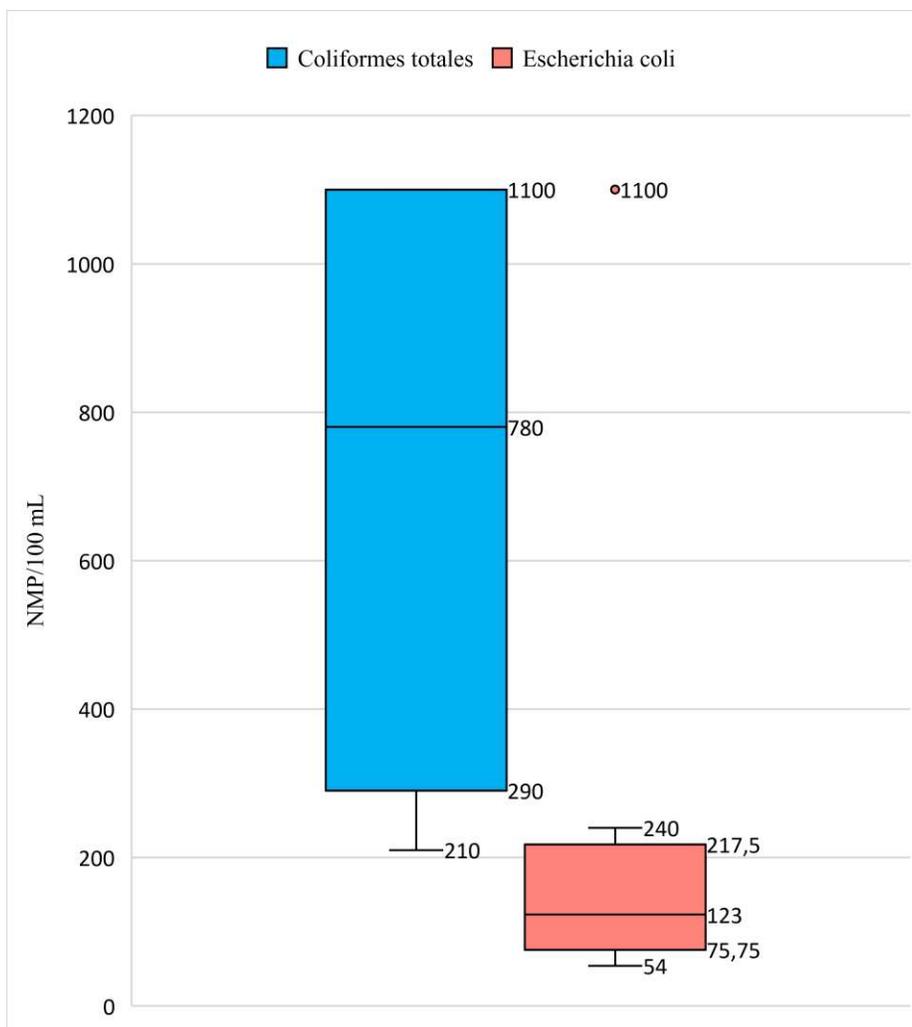


Figura 7. Gráfico Boxplot para resultados microbiológicos.  
Autores del proyecto

Según el diagrama de caja y bigote para coliformes totales (figura 7) existe una asimetría positiva o segada, debido a que el 50% de los datos están muy agrupados por encima de la media hasta el punto que el valor máximo se incluye en la caja, por consiguiente, en el cuartil 1 y el cuartil 2 los datos presentan una mayor dispersión, lo cual se debe al valor de 1100 NMP/100mL.

Para los resultados de *Escherichia coli* se presenta una asimetría positiva en la caja donde el 25% de los datos están concentrados en el segundo cuartil y más dispersos entre el 50% y 75 % de la distribución, es decir el cuartil 2 y el cuartil 3; indicando que la mayoría de los datos se encuentran por debajo de la mediana. Lo anterior se establece porque se presenta un valor atípico en la E-2 en temporada de menos lluvia (1100 NMP/100mL) el cual se atribuye a alguna alteración inusual en el cauce aguas arriba de esta estación.

En general los resultados obtenidos por los laboratorios sobre Coliformes totales y *Escherichia coli* realizados en las cuatro estaciones de muestreo en temporada de más lluvias y de menos lluvias son inferiores al límite máximo permisible establecido en el artículo 38 del decreto 1594 de 1984, el cual indica que se requiera solamente tratamiento convencional para su potabilización. Sin embargo, aunque los valores están en los límites establecidos por la norma, la presencia de estos grupos de bacterias para la temporada de más lluvia es relativamente alta, lo cual se puede confirmar con los resultados del laboratorio de la UPB (Tabla 12); permitiendo deducir que debido a las lluvias la escorrentía transporta materia orgánica de la parte alta, ocasionado que se alteren las características del recurso en relación a la temporada de menos lluvia.

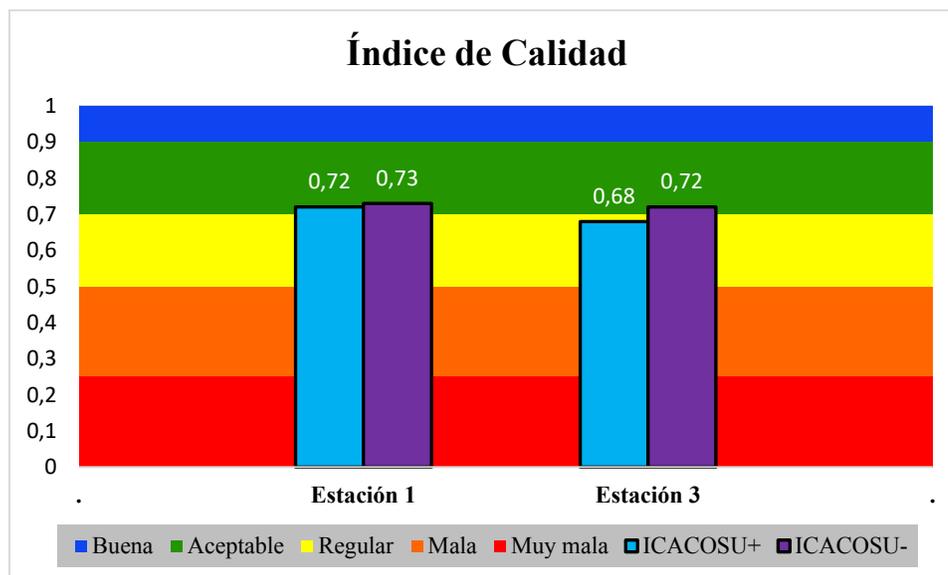
### 4.3. Determinación de índice de calidad del agua en corrientes superficiales

**Tabla 15**

*Índice de calidad para las dos estaciones en los puntos de captación*

	Sub. OD	Sub. SST	Sub. DQO	Sub. Conductividad	Sub. pH	Sub. NT/PT	Valor ICA
Estación 1 + Lluvia	0,7792	1	0,91	0,5632	1	0,15	0,72
Estación 3 + Lluvia	0,7875	1	0,71	0,5062	1	0,15	0,68
Estación 1 - Lluvia	0,8239	1	0,91	0,5390	1	0,15	0,73
Estación 3- Lluvia	0,8338	1	0,91	0,4937	1	0,15	0,72

Nota: Los colores indican el grado de contaminación para ICACOSU. Fuente: Autores del proyecto.



*Figura 8.* índice de calidad para las dos estaciones en los puntos de captación.  
Autores del proyecto

Según los valores obtenidos en la tabla 15 para el índice de calidad del agua en corrientes superficiales determinados para las estaciones ubicadas en las dos captaciones del

acueducto; la E-1 se clasifica en el rango de aceptable para las dos temporadas y la E-3 solo se clasifico en este rango en la temporada de menos lluvia, debido a que en temporada de más lluvia se clasificó en regular.

Estos resultados de ICA se deben principalmente a la relación NT/PT ya que en todas las estaciones los valores de la relación son superiores a 68, indicando que el agua es deficitaria de fosforo, y que la convierte en una limitante para la producción de clorofila debido a que los valores óptimos de NT/PT están entre 20-50 donde se garantiza que no hay limitación por nutrientes para los productores primarios (Guildford & Hecky, 2000). Es de aclarar que en este punto se tratan son la relación de nutrientes y no de los valores obtenidos en laboratorio los cuales son muy bajos y cumplen con la norma.

Por otra parte, el parámetro de conductividad también influyo en estos valores debido a que los resultados oscilan entre (146–163  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) indicando contenidos de minerales en el agua y para la E-3 en la temporada de menos lluvia el parámetro que vario respecto a las otras estaciones fue la DQO lo cual se atribuye a las características físicas de esta estación y a las lluvias las cuales pudieron ocasionar remoción de materia orgánica.

En términos generales la quebrada el Silencio según el índice de calidad del agua en corrientes superficiales presenta una tendencia de estabilidad y es óptima para la biota acuática y para sus diversos usos al no presentar contaminación atribuida a vertimientos.

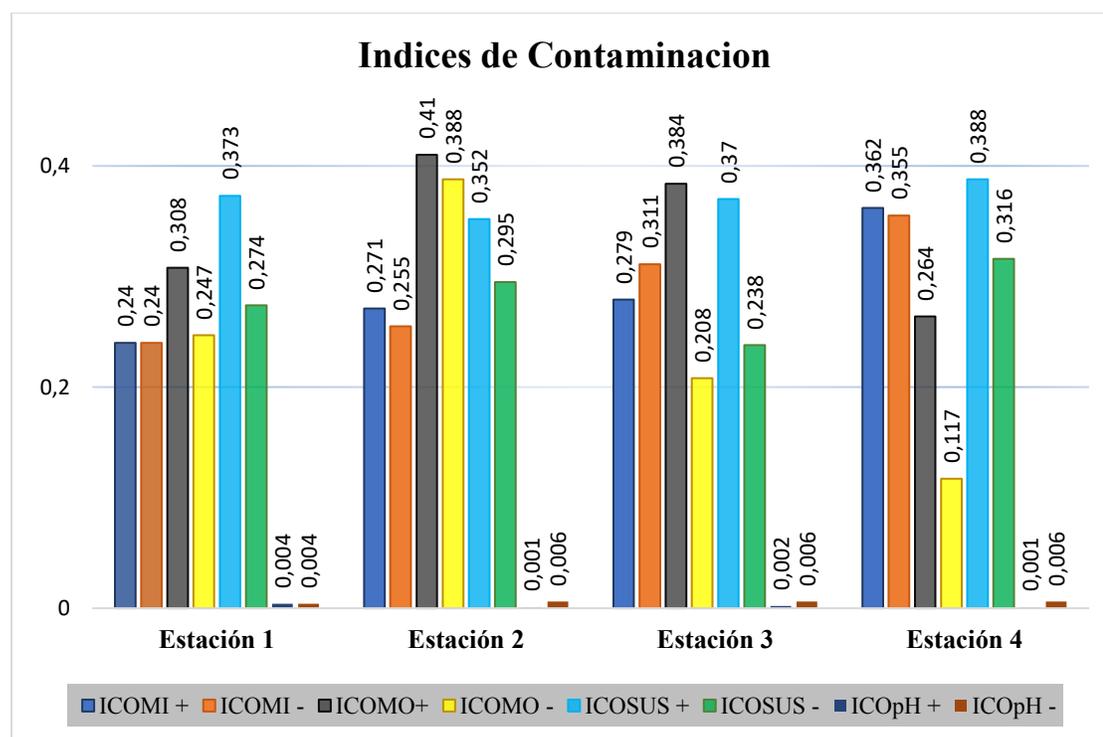
#### 4.4. Determinación de índice de contaminación del agua

**Tabla 16**

*Índices de contaminación determinados para cada estación y épocas de estudio*

ICO	E-1	PROM	E-2	PROM	E-3	PROM	E-4	PROM
ICOMI +	0,24	0,24	0,271	0,263	0,279	0,295	0,362	0,359
ICOMI -	0,24		0,255		0,311		0,355	
ICOMO+	0,308	0,278	0,41	0,399	0,384	0,296	0,264	0,191
ICOMO -	0,247		0,388		0,208		0,117	
ICOSUS +	0,373	0,324	0,352	0,324	0,37	0,304	0,388	0,352
ICOSUS -	0,274		0,295		0,238		0,316	
ICOpH +	0,004	0,004	0,001	0,004	0,002	0,004	0,001	0,004
ICOpH -	0,004		0,006		0,006		0,006	

Nota: Los colores indican el grado de contaminación para ICOs Fuente: Autores del proyecto.



*Figura 9.* índice de contaminación para cada estación en las dos épocas de estudio.  
Autores del proyecto

Los índices de contaminación propuestos por Ramírez y Viña (1997) y determinados para las cuatro estaciones de muestreo según la tabla 16 y la figura 9, el 68,75% de los datos se categorizan en el grado de contaminación baja, el 28,125% en ninguna y un 3,125% en contaminación media.

En todas las estaciones se presentó contaminación baja por mineralización (ICOMI) el cual relaciona las variables de conductividad, dureza y alcalinidad, sin embargo se observan datos superiores a 0,3 en la tabla 16 que según el grafico de ICATEST V.1.0 se debe a los resultados de conductividad; debido a que el fenómeno de mineralización está ampliamente relacionado con la capacidad de disolver aniones y cationes, los cuales se hallan en la cantidad de solidos disueltos que son reflejados en el valor de la conductividad (Cañas, 2014).

Los valores del índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) en su mayoría se clasifican en contaminación baja, lográndose observar el valor más alto en la temporada de más lluvia donde se presentó contaminación media en la E-2 (0,41) y para la temporada de menos lluvia la E-4 (0,117) no presentó ninguna contaminación. Estos valores están relacionados con los resultados de DBO<sub>5</sub> que se debe a la materia orgánica presente en el cuerpo de agua descrita en el análisis físico-químico, además la variación de este índice se debe a los valores de coliformes totales que en la E-2 está por encima de los 1100 NMP/100mL. Sin embargo, los resultados de DBO<sub>5</sub> son óptimos ya que evidencia la poca

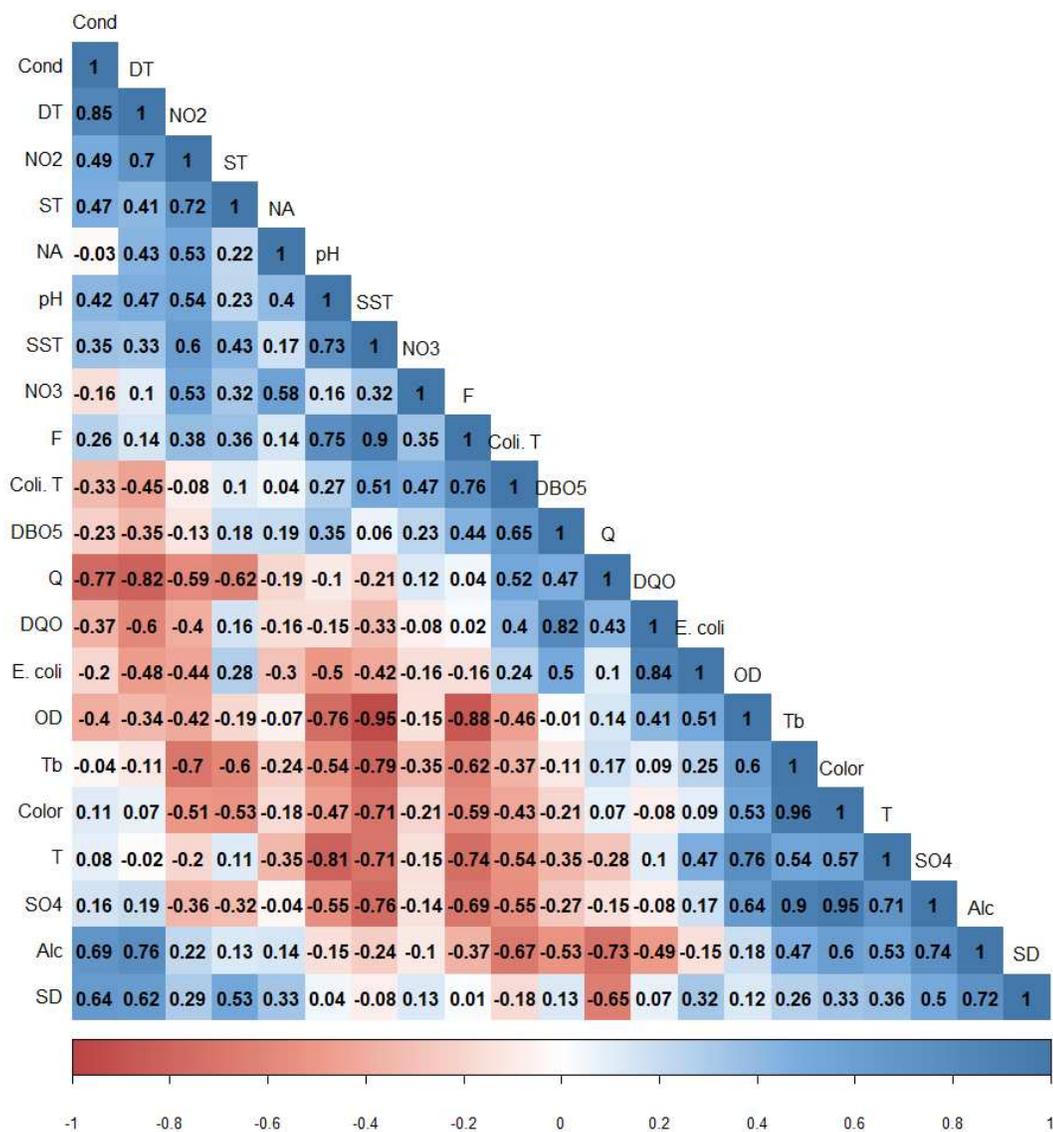
carga de contaminantes orgánicos y por ende la poca presencia de microorganismos en la fuente de agua.

En cuanto a los valores del índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) la quebrada el Silencio presenta contaminación baja, lo cual se asocia al arrastre y resuspensión de sólidos debido al flujo que son típicas en quebradas de montaña y además a la poca intervención antrópica que se da en la zona y a su amplia cobertura vegetal (Chavarro & Gelvez, 2016). Para el índice de contaminación por pH (ICOpH) no se presentó ningún tipo de contaminación en las estaciones de muestreo, con promedios por estación de 0,004 con tendencia a 0, que indica que la contaminación por pH es casi nula.

#### **4.5. Análisis de relación para variables físico-químicas y microbiológicas**

##### **4.5.1. Análisis de correlación lineal.**

Para el análisis de los datos se implementó el coeficiente de correlación de Pearson el cual se define como la covarianza estandarizada, la matriz de correlación (Apéndice H) relaciona todas las variables físico-químicas y microbiológicas recíprocamente.



*Figura 10.* Grafica de los índices de correlación para las variables físico-químicas y microbiológicas. Nota: Los recuadros rojos indican correlación negativa y los azules correlación positiva, del mismo modo la intensidad del color indica el grado de relación. Autores del proyecto

Para el análisis de las correlaciones presentadas en el apéndice H y la figura 10, se interpretaron los índices de Pearson superiores a 0,75 teniendo en cuenta si la relación es fuerte o débil, debido a que indican que existe una relación mayor al 75% entre las variables.

Según lo anterior se observa que el parámetro de caudal presenta una relación negativa fuerte con la variable de conductividad y dureza total, indicando que a medida que aumenta el caudal se da un descenso en los resultados de estas variables, debido a que la dureza depende de los minerales disueltos en el agua los cuales pueden contener sales en disolución que generan iones capaces de transportar la corriente eléctrica. Por su parte la dureza total se relaciona fuertemente de forma positiva con las variables de alcalinidad y conductividad con un índice mayor a 0,75.

Para las variables de DQO y DBO<sub>5</sub> se presentó una relación positiva fuerte de 0,82 que se debe a las características de estas dos variables, donde la DQO se distingue por descomponer químicamente todo el material orgánico biodegradable y no biodegradable incluyendo en su medición la DBO<sub>5</sub> permitiendo que la primera sea mayor que la segunda. Generalmente se mantiene esta relación para cada cuerpo de agua (García et al., 1998).

La temperatura y el pH tienen una relación inversamente proporcional al presentar un índice de correlación negativo de 0,81 el cual se explica debido a que cuando se da un aumento de la temperatura las moléculas tienden a separarse (H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) aumentando de proporción las moléculas que a su vez aumenta el potencial de hidrogeno. Para el caso de la temperatura y oxígeno disuelto la relación es directamente proporcional con un índice de 0,76 lo cual no concuerda con la literatura y explicándose a partir de los resultados de los muestreos debido a que los datos están muy concentrados y no presentan una uniformidad en su relación atribuyéndose a las características físicas del cuerpo de agua.

La turbidez presento una relación negativa fuerte con los sólidos suspendidos de 0,79 sin embargo, la relación entre la turbidez y el color fue mayor aproximándose a una relación positiva perfecta con un índice de 0,96, lo cual se debe a que los materiales que provocan la turbidez son responsables del color debido a que la concentración de sustancias determina la transparencia del agua puesto que limita el paso de la luz (García et al., 1998).

Para los parámetros microbiológicos la *Escherichia coli* presento una relación positiva fuerte de 0,84 con relación a la DQO, indicando que a medida que aumenta la materia orgánica se produce un aumento de esta bacteria; por su parte los Coliformos totales presentaron también una relación positiva fuerte ante los fluoruros de 0,76; es de recalcar que los resultados de los fluoruros a nivel general fueron relativamente bajos.

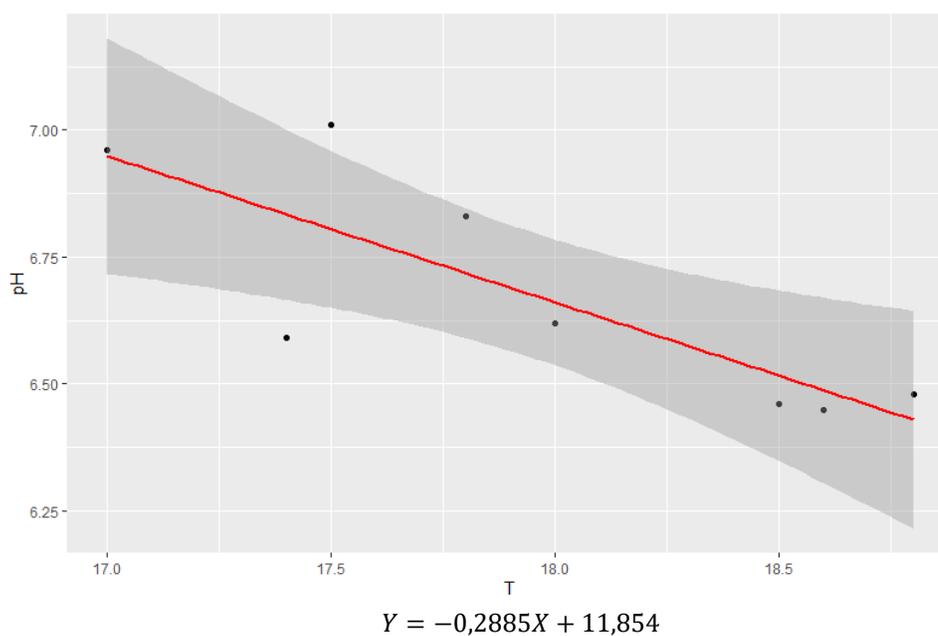
#### **4.5.2. Análisis de regresión lineal.**

Para el análisis de regresión se tuvo en cuenta el análisis correlacional desarrollando en el punto anterior, debido a que es una de las condiciones para generar el modelo predictor en el cual se trabajaron para este punto los parámetros de temperatura, caudal y pH como variables independientes.

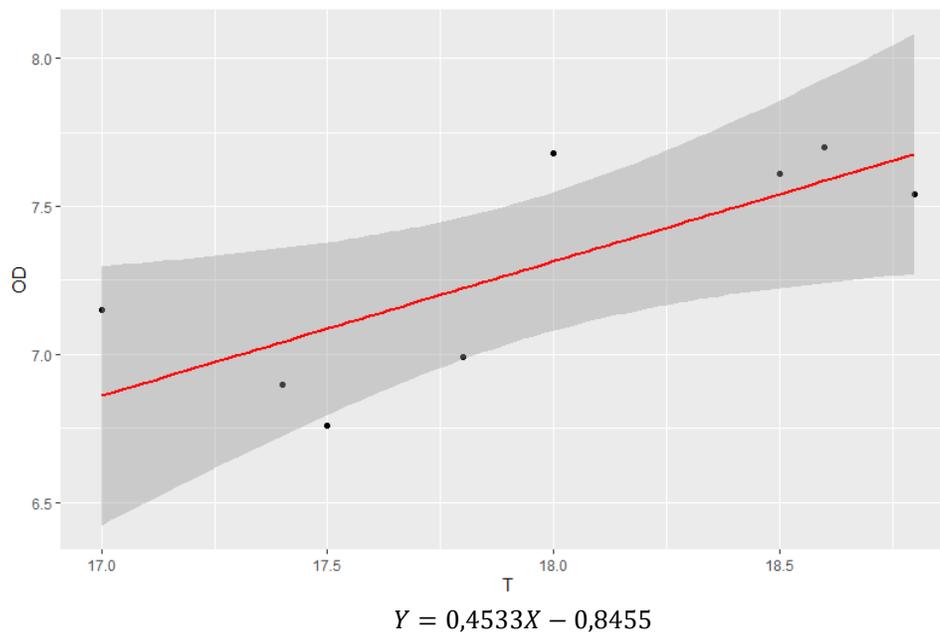
**Tabla 17***Análisis de regresión para la temperatura con pH y oxígeno disuelto*

Variable independiente	Variable dependiente	Coefficientes de regresión y estadísticos asociados	Ecuación
Temperatura	pH	Coeficiente de intercepción: 11,854 Coeficiente angular: -0,28854 Coeficiente de determinación R <sup>2</sup> : 0,6613 Coeficiente de determinación R <sup>2</sup> ajustado: 0,6048 p-value: 0,0141	$Y = -0,2885X + 11,854$
	Oxígeno disuelto	Coeficiente de intercepción: -0,8455 Coeficiente angular: 0,4533 Coeficiente de determinación R <sup>2</sup> : 0,5758 Coeficiente de determinación R <sup>2</sup> ajustado: 0,5051 p-value: 0,02903	$Y = 0,4533X - 0,8455$

Autores del proyecto

*Figura 11.* Gráfica de regresión para temperatura y pH.

Autores del proyecto



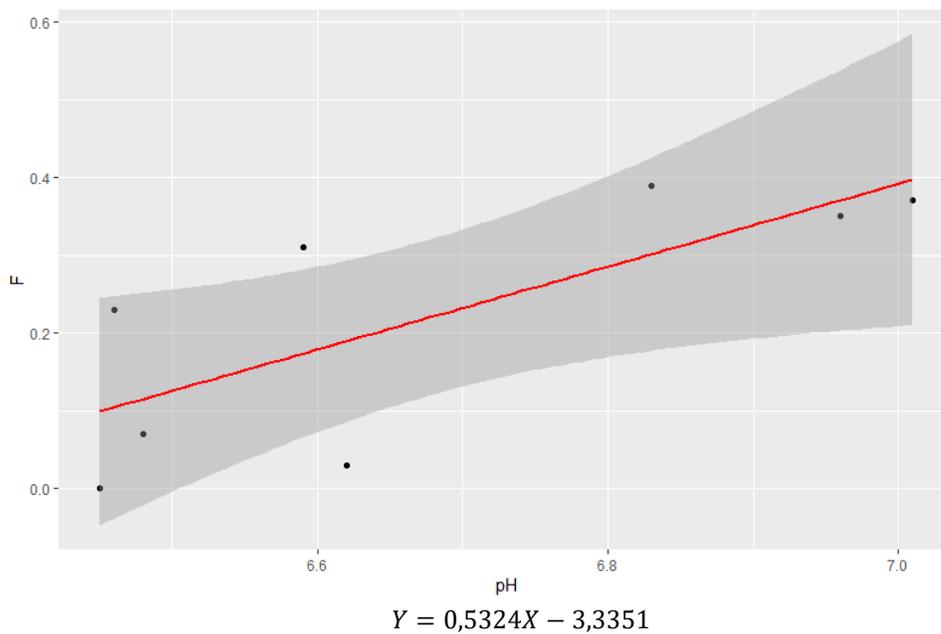
*Figura 12.* Gráfica de regresión para temperatura y oxígeno disuelto.  
Autores del proyecto

**Tabla 18**

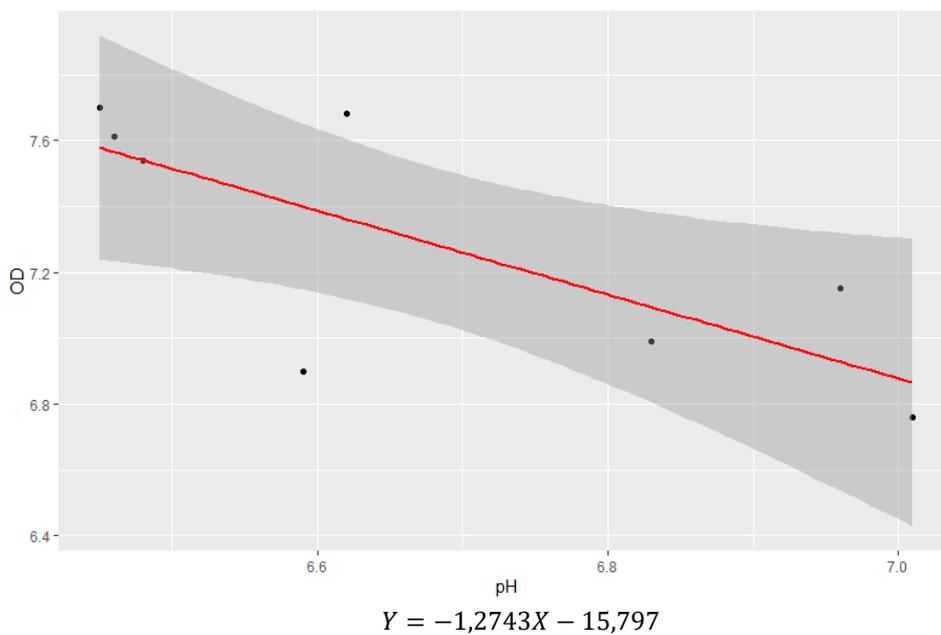
*Análisis de regresión para el pH con fluoruros y oxígeno disuelto*

Variable independiente	Variable dependiente	Coefficientes de regresión y estadísticos asociados	Ecuación
pH	Fluoruros	Coeficiente de intercepción: -3,3351 Coeficiente angular: 0,5324 Coeficiente de determinación $R^2$ : 0,5602 Coeficiente de determinación $R^2$ ajustado: 0,4868 p-value: 0,0141	$Y = 0,5324X - 3,3351$
	Oxígeno disuelto	Coeficiente de intercepción: 15,7970 Coeficiente angular: -1,2743 Coeficiente de determinación $R^2$ : 0,5729 Coeficiente de determinación $R^2$ ajustado: 0,5017 p-value: 0,02968	$Y = -1,2743X + 15,797$

Autores del proyecto



*Figura 13.* Grafica de regresión para pH y fluoruros.  
Fuente. Autores del proyecto

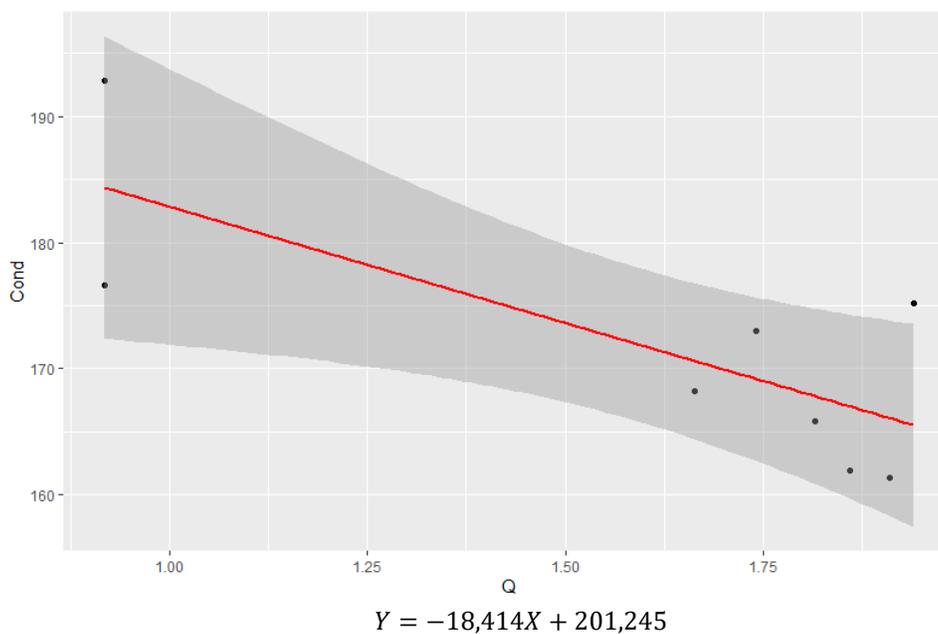


*Figura 14.* Grafica de regresión para pH y oxígeno disuelto.  
Fuente. Autores del proyecto

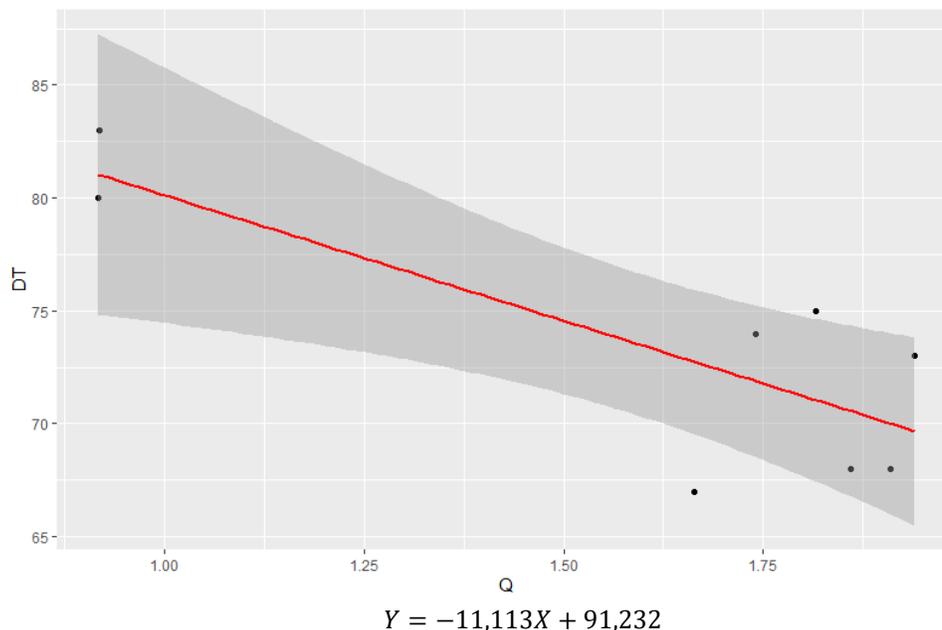
**Tabla 19***Análisis de regresión para el caudal con conductividad y dureza total*

Variable independiente	Variable dependiente	Coefficientes de regresión y estadísticos asociados	Ecuación
Caudal	Conductividad	Coeficiente de intercepción: 201,245 Coeficiente angular: -18,414 Coeficiente de determinación R <sup>2</sup> : 0,5934 Coeficiente de determinación R <sup>2</sup> ajustado: 0,5257 p-value: 0,02531	$Y = -18,414X + 201,245$
	Dureza total	Coeficiente de intercepción: 91,232 Coeficiente angular: -11,113 Coeficiente de determinación R <sup>2</sup> : 0,6648 Coeficiente de determinación R <sup>2</sup> ajustado: 0,609 p-value: 0,01364	$Y = -11,113X + 91,232$

Autores del proyecto

*Figura 15.* Gráfica de regresión para caudal y conductividad.

Fuente. Autores del proyecto



*Figura 16. Grafica de regresión para caudal y dureza total.*  
Fuente. Autores del proyecto

El modelo de regresión para las variables de temperatura y pH (tabla 17), según el valor de probabilidad (p-value) el cual es inferior a 0,05 indica que el modelo tiene significancia estadística en cuanto a la calidad de los coeficientes de regresión para las dos variables, del mismo modo el análisis de varianza según el coeficiente de determinación  $R^2$  expresa que el ajuste del modelo explica entre un 60,48% a 66,13% de la variabilidad global del pH (Figura 11). Para el caso de la temperatura y el oxígeno disuelto la significancia estadística es menor debido a que p-value tiene un valor cercano a 0,03 y el modelo solo es capaz de explicar como máximo un 57,58% según el análisis de varianza (figura 12).

Para la relación entre pH y fluoruros (tabla 18) el resultado de p-value es inferior a 0,05 indicando que la variable independiente aporta al modelo y tiene significancia estadística; en general el modelo de regresión explica entre un 48,68 % a un 56% la varianza de la variable

Y (figura 13); caso similar ocurre para el pH y el oxígeno disuelto donde el modelo explica entre un 50,15% y 57,29% de la varianza, además el modelo presenta significancia estadística (figura 14).

El análisis de regresión entre el caudal y las variables de conductividad y dureza total presentan significancia estadística al p-value ser inferior al 0,05, del mismo modo los dos modelos explican más del 50% de la variabilidad de la variable dependiente, sin embargo, el modelo de regresión entre caudal y dureza total (figura 16) explica mejor la variación de la variable dependiente debido a que el análisis presenta datos más confiables (tabla 19).

En general todos los modelos, aunque presentan significancia estadística, esta no es relevante debido a que p-value es superior a 0,01; del mismo modo los coeficientes de determinación  $R^2$  ajustados solo alcanzan a explicar como máximo un 60,9% de la variación para el modelo entre caudal y dureza total, siendo este el modelo con mejores resultados para predecir la variable independiente.

## Capítulo 5. Conclusiones

La microcuenca el Silencio es un subsistema que se encuentra localizada en una zona muy montañosa con pendientes altas que presenta un área 3,28 km<sup>2</sup>, 14 tributarios, con una longitud de cauce de la red hídrica de 7,47 km, esta microcuenca presenta asimetría entre sus vertientes y un sistema de drenaje caracterizado por aguas claras y poco profundas.

Los parámetros físico-químicos presentaron poca variabilidad para cada época y estación de monitoreo, en cuanto a las variables microbiológicas los valores presentaron una mayor dispersión arrojando valores relativamente altos en la temporada de más lluvia para *Escherichia coli* lo cual se atribuye al material que discurre producto de la escorrentía; sin embargo, todos los resultados están por debajo de los valores máximos permisibles establecidos en el capítulo IV del decreto 1594/1984 el cual indica que para potabilización del recurso solo se requiere tratamiento convencional, del mismo modo ninguno de los resultados supera los valores establecidos en la resolución 631/2015.

Los resultados obtenidos mediante la utilización de la metodología de los índices de contaminación propuesta por Ramírez y Viña (1997) muestran que en la quebrada el Silencio existe una “baja contaminación” por materia Orgánica (ICOMO), por Mineralización (ICOMI) y por sólidos suspendidos (ICOSUS) indicando una “buena calidad del agua” en todas las estaciones monitoreadas en los dos periodos de estudio. Exceptuando la estación (E-2) en la temporada de más lluvias, la cual presento aumento en el grado de contaminación

por materia orgánica, lo cual puede ser debido al arrastre de sedimento producto de la escorrentía, indicando un incremento en la cantidad y tipo de materia orgánica. Además de no existir contaminación por alteración en el pH del agua (ICOpH) en todas las estaciones para ambos periodos de muestreo. Indicando que el cuerpo de agua presenta variabilidad y contaminación leve producto del material orgánico natural, sin embargo, las condiciones fisicoquímicas que se dan en la lámina de agua son adecuadas para el establecimiento y desarrollo de la biota acuática.

Para el índice de calidad en corrientes superficiales (ICASOSU) la quebrada el Silencio se clasifico en las dos estaciones de monitoreo en aceptable, a excepción de la estación 3 que en temporada de más lluvia se clasificó en regular. Estos resultados son debido a la relación de nutrientes del cuerpo de agua indicando que existe limitación para el desarrollo de los productores primarios.

En cuanto al análisis de correlación permite identificar relaciones entre parámetros físico-químicos y microbiológicos que indican estabilidad del recurso, sin embargo, los modelos de regresión no brindan una alta confiabilidad debido a que ninguno alcanza a explicar más del 70% de la variabilidad, indicando que el modelo lineal no describe óptimamente la relación que existe entre las variables.

Los resultados de la evaluación de la quebrada el Silencio permitieron concluir que la calidad del agua es óptima para su uso en distintas actividades como para la biota acuática,

aunque presenta algunas alteraciones con relación a coliformes y sólidos suspendidos, estos son de fácil tratamiento en el proceso de potabilización. Sin embargo, la microcuenca se ha visto afectada por la intervención antrópica por lo que se deben implementar acciones que ayuden a evitar el proceso de deterioro de este ecosistema y así mantener los servicios ecosistémicos que este brinda, principalmente el de aprovisionamiento de agua.

## Capítulo 6. Recomendaciones

Se recomienda continuar con una segunda etapa de la investigación en cual se determine la calidad del recurso que está llegando a los usuarios y del mismo modo se evalúe la eficiencia del sistema de tratamiento, con el propósito de establecer objetivos que permitan mantener el recurso y crear estrategias para la consolidación de un sistema modelo en la región.

Se deben realizar más estudios sobre la calidad del agua en la microcuenca, puesto que la información que se encuentra es poca y no es la suficiente para proponer estrategias de conservación o planes de control y manejo que aseguren la gestión integral del recurso, así como su biodiversidad.

Ejecutar programas de información a los usuarios del corregimiento de Otare a través de los diferentes medios de comunicación regional (emisora, tv, redes sociales, etc.) sobre el estado actual del recurso y en temáticas alusivas a la reducción del consumo, conservación del recurso y protección de las áreas de reserva existentes.

Realizar coordinaciones con las autoridades competentes en temas de protección de la microcuenca el Silencio que permitan elaborar y ejecutar un plan de manejo ambiental identificando la calidad socioeconómica de la población y la relación con los usos

potenciales del suelo, logrando un desarrollo sostenible del recurso debido a que la quebrada el Silencio es la principal fuente de abastecimiento de agua para el corregimiento de Otare.

Se debe dar apoyo y continuidad a este tipo de estudios ya que estos arrojan importantes resultados y datos que ayudan a mejorar las condiciones ambientales de los recursos hídricos. Además, de generar conciencia a la población ya que el problema de la contaminación y calidad del agua es algo que nos afecta a todos.

Implementar programas de educación ambiental para toda la población que se abastece del recurso a través de espacios de formación que impulsen procesos integrales para el desarrollo social y ambiental, así como sensibilizar y culturalizar a la población en temas ambientales como el aprovechamiento, cuidado y uso adecuado del agua.

## Referencias

- Aparicio, F. J. (1992). *FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE*. México, D.F.: Editorial Limusa S.A, de C.V, Grupo Noriega Editores.
- Aznar, A. (2000). *DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE CALIDAD DE LAS AGUAS*. Madrid: Universidad Carlos III. Obtenido de <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>
- Behar, G., Zúñiga, M., & Rojas, O. (1997). Análisis y Valoración del Índice de Calidad de Agua (ICA) de la NSF: Casos Ríos Cali y Meléndez. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 1(1), 17-21. doi:<https://doi.org/10.25100/iyc.v1i1.2361>
- Borge, M., & Cantora, E. (2016). La importancia ecológica de las algas en los ríos. *Hidrobiológica*, 26(1), 1-8. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v26n1/0188-8897-hbio-26-01-00001.pdf>
- CAN. (2005). *Promedio del total de sólidos en suspensión (PTSS)*. IDEAM. Obtenido de [http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125581/33-3.19\\_HM\\_Promedio\\_solidos\\_suspension\\_3\\_FI.pdf/d537daf0-1a6f-49d5-b876-ed31de6ae594#:~:text=Los%20S%C3%B3lidos%20Suspendidos%20Totales%20hac en,Se%20determinan%20mediante%20m%C3%A9todo%20gravim%C3%A9trico.](http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125581/33-3.19_HM_Promedio_solidos_suspension_3_FI.pdf/d537daf0-1a6f-49d5-b876-ed31de6ae594#:~:text=Los%20S%C3%B3lidos%20Suspendidos%20Totales%20hac en,Se%20determinan%20mediante%20m%C3%A9todo%20gravim%C3%A9trico.)
- Cañas, J. (2014). Determinación y evaluación de índices de contaminación (ICOs) en cuerpos de agua (Tesis de especialización). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/10901>

Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Díaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 111-124.

doi:<http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.811>

Chavarro, A., & Gelvez, E. (2016). Caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo. *Revista Mutis*, 6(2), 19-31.

doi:<https://doi.org/10.21789/22561498.1148>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. (2016). *Boletín del índice de calidad del agua en corrientes superficiales "ICA" 2016 - II*. Obtenido de Dirección de Monitoreo, Modelamiento y Laboratorio Ambiental:

<https://www.car.gov.co/uploads/files/5ada17b483d5a.pdf>

Cruz, B., Gasparil, F., Rodríguez, A., Carrillo, F., & Téllez, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia*, 23(64), 26-34. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/674/67441039004.pdf>

Departamento Administrativo de la Función Pública. (2007). *Decreto 1575 de 2007*. Bogotá, D. C.: Diario Oficial. Obtenido de

[https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma\\_pdf.php?i=30007](https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=30007)

Duque, G. (2017). *MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS*. Manizales: bdigital Repositorio Institucional UN. Obtenido de

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/336/aguassuperficiales.pdf>

Fernandez, N., & Solano, F. (2005). *Índices de Calidad y de Contaminación del Agua*.

Pamplona: Universidad de Pamplona .

García, M., Sánchez, F., Marín, R., Guzmán, H., Verdugo, N., Domínguez, E., . . . Cortés, G. (1998). *El agua. El medio ambiente en Colombia*. Bogotá, Colombia: TYPO

DISEÑO GRÁFICO LTDA. Obtenido de

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/000001.htm>

Gaspari, F. J., Rodríguez, A. M., Senisterra, G., Denegri, G., Delgado, M., & Besteiro, S.

(2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *Revista científica del Comité de Medio Ambiente del Grupo*

*Montevideo*, 4, 143-158. Obtenido de

<https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/download/476/505/0>

González, M., Barrenetxea, C., Pérez, A., Alfayate, J., & Rodríguez, F. (2002).

*Contaminación ambiental. Una visión desde la química*. Madrid: Paraninfo.

González, S. (2007). CONTAMINACIÓN DIFUSA DE LAS AGUAS. *INIA Tierra Adentro*,

21- 25. Obtenido de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/05/contaminacion-difusa-de-las-aguas.pdf>

Guildford, S., & Hecky, R. (2000). Total nitrogen, total phosphorus, and nutrient limitation

in lakes and oceans: Is there a common relationship? *Limnology and Oceanography*,

45(6), 1213-1223. doi:<https://doi.org/10.4319/lo.2000.45.6.1213>

Henao, A. J., & Gómez-Rey, A. (2018). DE LA COMPLEJIDAD JURÍDICA DE LOS

VERTIMIENTOS. *Prolegómenos*, 21(41). doi:<https://doi.org/10.18359/prole.3328>

Hernández, C. (2016). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano y propuesta

de alternativas tendientes a su mejora, en la Comunidad de 4 Millas de Matina,

Limón. Heredia: UNIVERSIDAD NACIONAL. Obtenido de

<https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/13212/2016%20Hern+%C3%ADnde%20Lic%20Contaminaci+%C2%A6n%20Agua.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hernández, K., & Ramírez, R. (2016). EVALUACIÓN Y VALORACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DEL RÍO ALGODONAL ENTRE LOS MUNICIPIOS DE ABREGO Y OCAÑA, NORTE DE SANTANDER. Ocaña, N.S: Repositorio Institucional UFPSO.

Hernández-Antonio, A., & Hansen, A. M. (2011). USO DE PLAGUICIDAS EN DOS ZONAS AGRÍCOLAS DE MÉXICO Y EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUA Y SEDIMENTOS. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(2), 115-127. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992011000200003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000200003)

Ibañez, G. (2012). ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANEJO AMBIENTAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA SUB CUENCA DEL RÍO SAN PABLO EN EL CANTÓN LA MANÁ, PROVINCIA DE COTOPAXI. Latacunga, Ecuador: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI. Obtenido de [https://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS\\_20/Ingenieria%20de%20Medio%20Ambiente/T-UTC-2129.pdf](https://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Ingenieria%20de%20Medio%20Ambiente/T-UTC-2129.pdf)

IDEAM. (2007). *DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRIA*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>

IDEAM. (2007). *Protocolo para monitoreo y seguimiento del agua*. Bogotá D.C.: Imprenta Nacional de Colombia.

IDEAM. (2018). *PROTOCOLO DE MONITOREO DEL AGUA*. Bogotá D.C.: IDEAM.

Obtenido de

[http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023773/PROTOCOLO\\_MONITOREO\\_AGUA\\_IDEAM.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023773/PROTOCOLO_MONITOREO_AGUA_IDEAM.pdf)

IDEAM. (Marzo de 2019). *Estudios Nacional del Agua 2018*. Bogotá D.C: Panamericana

Formas e Impresos S.A. Obtenido de Bogota, ideam: 422pp:

[https://cta.org.co/biblionet/estudio-nacional-del-agua-](https://cta.org.co/biblionet/estudio-nacional-del-agua-2018/#:~:text=Estudio%20Nacional%20del%20Agua%202018.,las%20%20%20%20%20subzonas%20hidrogr%C3%A1ficas).)

2018/#:~:text=Estudio%20Nacional%20del%20Agua%202018.,las%20%20%20%20%20subzonas%20hidrogr%C3%A1ficas).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2011). *Hoja*

*metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1)*. Obtenido de

Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua

superficial. 10 p.: [http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-](http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031)

[3.21\\_HM\\_Indice\\_calidad\\_agua\\_3\\_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031](http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21_HM_Indice_calidad_agua_3_FI.pdf/9d28de9c-8b53-470e-82ab-daca2d0b0031)

INVENMAR. (2003). MANUAL DE TÉCNICAS ANALÍTICAS PARA LA

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y

CONTAMINANTES MARINOS (AGUAS, SEDIMENTOS Y ORGANISMOS).

Santa Marta: Cargraphics. Obtenido de

<http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/7010manualTecnicasanaliticas..pdf>

Jiménez, D. L. (2014). PROPUESTA PARTICIPATIVA PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DE LAS MICROCUENCAS LA LORA Y LA MANCHA EN EL MUNICIPIO DE RESTREPO, VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA. SANTIAGO DE CALI: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/8546/1/T06337.pdf>

MADS. (2012). *Decreto 1640*. Bogota D.C: Republica de Colombia. Obtenido de [https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2012/dec\\_1640\\_2012.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2012/dec_1640_2012.pdf)

MADS. (2018). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA FORMULACIÓN DE LOS PLANES DE MANEJO AMBIENTAL DE MICROCUENCAS – PMAM*. Bogotá D.C.: Minambiente. Obtenido de <http://www.andi.com.co/Uploads/GU%C3%8DA%20PMA%20de%20Microcuencia.pdf>

Martínez, J. L., Gonzáles-Rodríguez, M., Belmonte, A., & Garrido, A. (2004). Estudio de la contaminación por pesticidas en aguas ambientales de la provincia de Almería. *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 13(3), 30-38. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/16361361.pdf>

Meza, Y. A. (2014). DETERMINACION DE LA OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA DE LA MICROCUENCA EL SILENCIO LOCALIZADA EN EL CORREGIMIENTO DE OTARE DEL MUNICIPIO DE OCAÑA EN APOYO PARA SU

- REGLAMENTACIÓN. Ocaña: Repositorio Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Obtenido de <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/244/1/25203.pdf>
- Miranda, R., Ramírez, R., Hernández, K., & Angarita, W. (2019). Evaluación de Calidad del Agua del Rio Algodonal, Tramo Abrego-Ocaña, Norte Santander. *Revista De Investigación, 12(1)*, 45-62. doi:<https://doi.org/10.29097/2011-639X.238>
- OPS. (1988). Guías para la Calidad del Agua Potable "Control de la Calidad del Agua Potable en Sistemas de Abastecimiento para Pequeñas Comunidades. Lima: Organización Panamericana de la Salud.
- OPS. (2005). *GUÍA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA A NIVEL CASERO*. Lima: OPS. Obtenido de <https://docplayer.es/220767-Guia-para-el-mejoramiento-de-la-calidad-del-agua-a-nivel-casero.html>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2005). *El agua, fuente de vida*. Nueva York, N.Y.: Departamento de Información Pública de las Naciones Unidas. Obtenido de <https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/waterforlifebklt-s.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud. (1988). Guías para la Calidad del Agua Potable "Control de la Calidad del Agua Potable en Sistemas de Abastecimiento para Pequeñas Comunidades. Lima: Organización Panamericana de la Salud.
- Payeras, A. (2011). *Parámetros de calidad de las aguas de riego*. Obtenido de Bonsai Menorca: <http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/#S%C3%B3lidos%20Disueltos>

PNUD. (2005). *Agua para vivir: Cómo proteger el agua comunitaria*. California:

Flacsoandes. Obtenido de <http://openbiblio.flacsoandes.edu.ec/libros/144524-opac>

POMCA RIO ALGONONAL. (2018). *AJUSTE Y/O ACTUALIZACIÓN DEL POMCA DEL RÍO ALGODONAL (ALTO CATATUMBO) – NORTE DE SANTANDER*. San José de Cúcuta: ACTUALIZACIÓN DEL POMCA DEL RÍO - NORTE DE SANTANDER (1605).

Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). CUATRO ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN PARA CARACTERIZACIÓN DE AGUAS CONTINENTALES.

FORMULACIONES Y APLICACIÓN. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(3),

135-153. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/ctyf/v1n3/v1n3a09.pdf>

Rodríguez, A. M., Suárez, S., & Palacio, D. E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372-387.

Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/hie/v52n3/hig10314.pdf>

Rodríguez, M. (2009). ¿Hacer más verde al Estado colombiano? *Revista de Estudios*

*Sociales*, 32, 18-33. Obtenido de

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-)

885X2009000100002

Roldán Pérez, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col*. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de

Antioquia. Obtenido de

<https://books.google.com.co/books?id=ZEjgIKZTF2UC&pg=PA4&lpg=PA4&dq=lo>

[s+materiales+que+provocan+la+turbiedad+son+los+responsables+del+color,+la+con](https://books.google.com.co/books?id=ZEjgIKZTF2UC&pg=PA4&lpg=PA4&dq=lo)

centraci%C3%B3n de las sustancias determinan la transparencia del agua puesto que limita el paso de luz a tr

Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del metodo BMWP/Col*. Medellin, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.

Obtenido de

<https://books.google.com.co/books?id=ZEjgIKZTF2UC&pg=PA4&lpg=PA4&dq=los+materiales+que+provocan+la+turbiedad+son+los+responsables+del+color,+la+concentraci%C3%B3n+de+las+sustancias+determinan+la+transparencia+del+agua+puesto+que+limita+el+paso+de+luz+a+tr>

Romero, M. (2005). GUÍA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA A NIVEL CASERO. Lima.

Salamanca, E. (2016). Tratamiento de aguas para el consumo humano. *Módulo Arquitectura CUC*, 17(1), 29-48.

Salcedo Garduño, M. G., Castañeda Chávez, M. d., & Lango Reynoso, F. (2019). Presión Antrópica sobre la Calidad del Agua en la Cuenca Baja del Río Usumacinta. En I. Galaviz Villa, & C. A. Sosa Villalobos, *FUENTES DIFUSAS Y PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN. Calidad de las aguas superficiales y subterráneas* (pág. 46). México: Instituto Tecnológico de Boca del Río.

Salcedo, M. G., Castañeda, M., & Lango, F. (2019). Presión Antrópica sobre la Calidad del Agua en la Cuenca Baja del Río Usumacinta. En I. Galaviz Villa, & C. A. Sosa Villalobos, *FUENTES DIFUSAS Y PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN. Calidad*

- de las aguas superficiales y subterráneas* (pág. 46). México: Instituto Tecnológico de Boca del Río.
- Samboni, N., Escobar, Y., & Escobar, J. (diciembre de 2007). Revisión de parámetros físicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *REVISTA INGENIERIA E INVESTIGACIÓN*, 27(3), 172-181. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v27n3/v27n3a19.pdf>
- Sierra, R. A. (2011). *Calidad del agua evaluación y diagnóstico*. Medellín: Ediciones de la U.
- Solís-Castro, Y., Zuñiga-Zuñiga, L., & Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 31(1), 35-46. doi:10.18845/tm.v31i1.3495
- Sutorius, M., & Rodríguez, S. (2015). La fundamentalidad del derecho al agua en Colombia. *Revista Derecho del Estado*, 35, 243-265. doi:<http://dx.doi.org/10.18601/01229893.n35.09>
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2009). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>
- UNESCO. (2003). *WATER FOR PEOPLE, WATER FOR LIFE*. Paris: UNESCO/Mundi-Prensa Libros. Obtenido de <https://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf>

UNESCO. (2009). *El agua en un mundo en constante cambio*. Estambul: Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP). Obtenido de

[http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/display-single-publication/news/water\\_in\\_a\\_changing\\_world/](http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/display-single-publication/news/water_in_a_changing_world/)

USGS. (29 de agosto de 2017). *El uso del agua superficial en los Estados Unidos*. Obtenido de Servicio geológico de Estados Unidos:

<https://water.usgs.gov/gotita/wusw.html#:~:text=El%20uso%20del%20agua%20superficial,diaria%20de%20toda%20la%20poblaci%C3%B3n.&text=Treinta%20y%20nueve%20por ciento%20del,a%20la%20irrigaci%C3%B3n%20de%20cosechas.>

Velázquez, O. G. (8 de octubre de 2007). *Reseña histórica del corregimiento de Otaré*.

Obtenido de Monografía de Otaré: [https://otare.es.tl/Monograf%EDa-de-Otar-e2-%3Cmeta-name%3D-g-google\\_site\\_verification-g--content%3D-g-cgsnvK\\_YAIonvY5A1\\_Wu0vDL9caISoeqD3z-.-~.-Ywhqvkg-g---s-%3E.htm](https://otare.es.tl/Monograf%EDa-de-Otar-e2-%3Cmeta-name%3D-g-google_site_verification-g--content%3D-g-cgsnvK_YAIonvY5A1_Wu0vDL9caISoeqD3z-.-~.-Ywhqvkg-g---s-%3E.htm)

Viscaíno, L. (2009). *Índice de Calidad del Agua (ICA), Forma de Estimarlos y Aplicación en la cuenca Lerma-Chapala*. Obtenido de Instituto Mexicano de Tecnología del Agua:

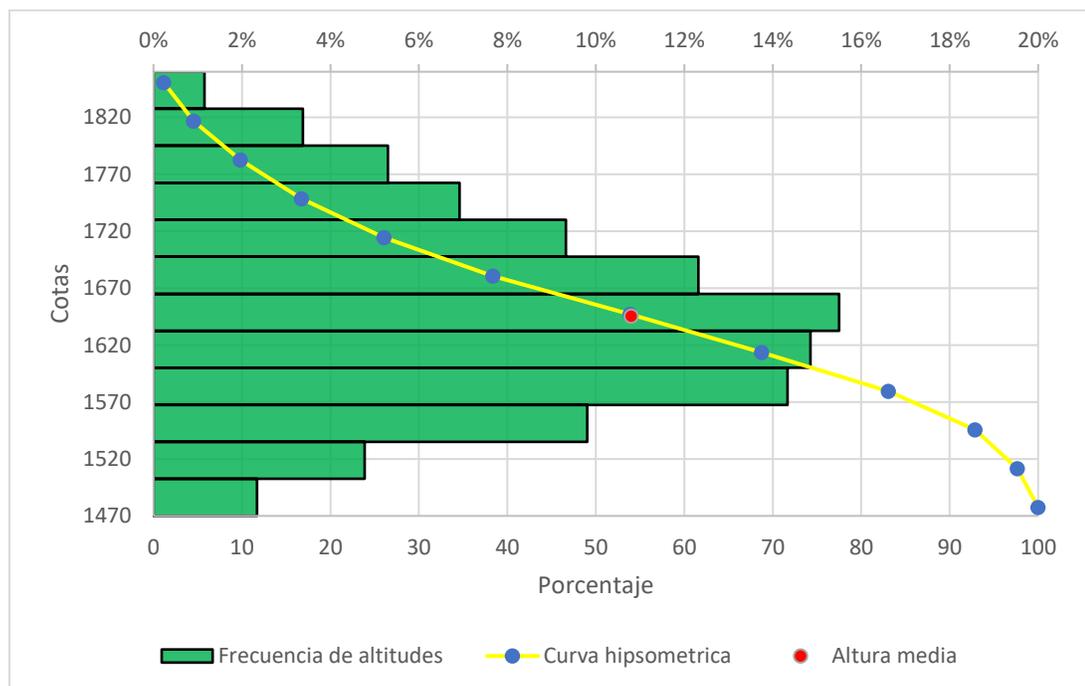
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6147/1/ICA%20Forma%20de%20estimarlos.pdf>

## Apéndices

### Apéndice A. Resultados de elevación media de la microcuenca el Silencio

N°	Cota(msnm)				Área (km <sup>2</sup> )			A <sub>i</sub> *e <sub>i</sub>
	Mínimo	Máximo	Promedio	Intervalo	Acumulado	% Acum	% Inter	
1	1461	1494	1477,5	0,07671875	3,27796875	100	2,34	113,3519531
2	1495	1528	1511,5	0,1565625	3,20125	97,66	4,78	236,6442188
3	1529	1562	1545,5	0,32140625	3,0446875	92,88	9,81	496,7333594
4	1563	1596	1579,5	0,46984375	2,72328125	83,08	14,33	742,1182031
5	1597	1630	1613,5	0,486875	2,2534375	68,74	14,85	785,5728125
6	1631	1663	1647	0,508125	1,7665625	53,89	15,50	836,881875
7	1664	1697	1680,5	0,40390625	1,2584375	38,39	12,32	678,7644531
8	1698	1731	1714,5	0,305625	0,85453125	26,07	9,32	523,9940625
9	1732	1765	1748,5	0,22671875	0,54890625	16,75	6,92	396,4177344
10	1766	1799	1782,5	0,17375	0,3221875	9,83	5,30	309,709375
11	1800	1833	1816,5	0,110625	0,1484375	4,53	3,37	200,9503125
12	1834	1867	1850,5	0,0378125	0,0378125	1,15	1,15	69,97203125
3,27796875								5391,110391
Alt media cuenca								1645,123866

### Apéndice B. Curva Hipsométrica y Frecuencia de altitudes



### Apéndice C. Lista de chequeo de materiales para la toma de muestras

Fecha: \_\_\_\_\_

Responsable: \_\_\_\_\_

Materiales	Aplica	No aplica	N° de unidades	Observaciones
<b>Medición de parámetros de Campo</b>				
Formato de captura de datos de campo				
Geoposicionador (GPS)				
Equipo para medición in situ				
Cámara fotográfica				
Instructivos para la toma de muestras				
<b>Para la Toma de Muestras</b>				
Recipientes de plástico (muestra físico química)				
Envases esterilizados para bacteriológico				
Bolsas de hielo				
Bolsa pequeña de basura				
Nevera de Icopor o de plástico				
Medidor de pH				
Cinta de enmascarar				
Toallas o papel absorbente				
Material debidamente rotulado (frascos y recipientes)				
<b>Para protección y seguridad de las personas que efectúan el muestreo</b>				
Overol o ropa de trabajo cómoda				
Gafas de Seguridad				
Guantes de látex				
Botas de Caucho				
Machete				
Máscara respiradora				
<b>Equipos para la medición del aforo</b>				
Cartera de aforos				
Cinta métrica				
Flotador				
Balde				

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### Apéndice D. Ficha de campo con datos generales para la toma de muestra

#### FORMATO DE CAPTURA DE DATOS DE CAMPO

LOCALIDAD:		CODIGO DE ESTACION:	
CUENCA:		FECHA:	
PROV/DPTO:		HORA DE INICIO:	
RESPONSABLE:		HORA TERMINO:	
PERSONAL DE CAMPO			
COORDENADAS	X:	Y:	ALTITUD:
CONDICIONES METEOROLÓGICAS Sol ____ Nublado ____ Lluvia ____ viento ____		LLUVIAS EN LOS ULTIMOS 7 DÍAS SI ____ NO ____	
Registro fotográfico SI ____ NO ____			
Descripción de acceso al lugar:			
Actividades en la zona cercana al punto de muestreo			
<b>VEGETACIÓN RIPARIA</b> Indicar el tipo de vegetación predominante Arboles ____ Arbustos ____ Pastos ____ Herbáceas ____		<b>COBERTURA DE DOSEL</b> Parcialmente abierto ____ Sombreado ____ Parcialmente sombreado ____ Abierto ____	
<b>PARAMETROS FIJADOS EN CAMPO</b>			
<b>Olor del agua</b> Normal/Ninguno ____ Desagüe: ____ Petróleo ____ Químico ____ Pescado ____ Otro ____		<b>Turbidez (si no es medida)</b> Clara ____ Levemente turbio ____ Turbio ____ Otro ____	
Color		Materia flotante	
Temperatura ambiente (°C):		Temperatura del agua (°C):	
pH:		OD (mg/L):	
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA</b>			
Número de la muestra:		Cantidad de muestra:	
Tipo de la muestra:			
<b>HERRAMIENTAS DE MUESTREO</b>			
Tipo de muestreador:			
Material de recipiente:			
Prelavado del recipiente:			
<b>ENVIO DE LA MUESTRA</b>			
Preservación de la muestra:			
Medio de transporte:			
Destino de la muestra			
Análisis a realizar:			

Apéndice E. Ficha para de captura de dato para los aforos

**MEDICIÓN DE CAUDAL**

**Volumen 11 Lt**

Cuenca: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Lugar: \_\_\_\_\_

Responsable: \_\_\_\_\_

Estación 1				
Tiempos (Seg)				
T1 _____	T2 _____	T3 _____	T4 _____	T5 _____
Observación				

Estación 2				
Tiempos (Seg)				
T1 _____	T2 _____	T3 _____	T4 _____	T5 _____
Observación				

Estación 3				
Tiempos (Seg)				
T1 _____	T2 _____	T3 _____	T4 _____	T5 _____
Observación				

Estación 4				
Tiempos (Seg)				
T1 _____	T2 _____	T3 _____	T4 _____	T5 _____
Observación				

## Apendice F. Tabla para la toma y transporte de la muestra para analisis físico-químicos.

PRESERVACION DE MUESTRAS (AGUA SUPERFICIAL)						
Variable	Cantidad de Muestras	Volumen minimo de muestra/Tipo de envase	Cabeza de aire	Muestra Simple/Puntual	Tiempo Maximo de Almacenamiento	Preservación
Alcalinidad Total	1	500 mL Plástico	No	No	14 días	refrigeración <= 6°C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	2	1000ml plástico	No	Si	48 horas	refrigeración <= 6°C
Fluoruros	1	500 mL Plástico	Si	Si	28 días	refrigeración <= 6°C

Variable	Cantidad de Muestras	Volumen minimo de muestra/Tipo de envase	Cabeza de aire	Muestra Simple/Puntual	Preservación
DOO	1	2000 ml plástico	Si	Si	refrigeración <= 6°C, H2SO4 pH < a 2
Dureza Total					
Fosforo Total					
Nitrogeno Amomiacal					
Nitrogeno Kjeldahl					

Variable	Cantidad de Muestras	Volumen minimo de muestra/Tipo de envase	Cabeza de aire	Muestra Simple/Puntual	Tiempo Maximo de Almacenamiento	Preservación
Nitrito	1	500 mL Plástico	Si	Si	48 Horas	refrigeración <= 6°C
Nitrito						

Variable	Cantidad de Muestras	Volumen minimo de muestra/Tipo de envase	Cabeza de aire	Muestra Simple/Puntual	Tiempo Maximo de Almacenamiento	Preservación
Cloruros	1	500 mL Plástico	Si	Si	26 días	refrigeración <= 6°C

Variable	Cantidad de Muestras	Volumen minimo de muestra/Tipo de envase	Cabeza de aire	Muestra Simple/Puntual	Tiempo Maximo de Almacenamiento	Preservación
Sólidos Suspendedos Totales	1	1000 mL Plástico	Si	Si	7 días	refrigeración <= 6°C
Sólidos Totales						
Sólidos disueltos						

Variable	Cantidad de Muestras	Volumen minimo de muestra/Tipo de envase	Cabeza de aire	Muestra Simple/Puntual	Tiempo Maximo de Almacenamiento	Preservación
pH y Temperatura	1	500 mL Plástico	NO	Si		refrigeración <= 6°C
Turbiedad						
Conductividad						
Oxígeno Disuelto						

Variable	Cantidad de Muestras	Volumen minimo de muestra/Tipo de envase	Cabeza de aire	Muestra Simple/Puntual	Tiempo Maximo de Almacenamiento	Preservación
Coliformes Totales	1	500 mL/plástico ó Vidrio Esterilizado	Si	Si	24 horas	refrigeración <= 6°C
Escherichia Ecoli						

NOTA: Estos datos corresponden a un solo punto, si se requiere otro punto tomar la misma cantidad de muestra desconta en las tablas. muestras deben estar rotuladas con la siguiente información: Punto de muestreo, fecha y hora de la toma de muestra, identificación de la variable a analizar.						Todas las
---	--	--	--	--	--	-----------

### Apéndice G. Rotulo de muestras físico-químicas para análisis en laboratorio

Fecha:				Hora:			
Ciudad/ Dpto.:							
Lugar:							
Naturaleza de la muestra:							
Tipo de muestra							
Puntual				Compuesta			
Tipo de preservación							
Refrigeración		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		NHO <sub>3</sub>		Tiosulfato	
Punto de muestro:							
Cantidad de la muestra:							
Parámetros a determinar:							
Responsable:							

### Apéndice H. Matriz de correlación para parámetros físico-químicos y microbiológicos.

	Q	T	Alc	Color	Cond	DBO5	DQO	DT	F	NO3	NO2	NA	OD	pH	SD	SST	ST	SO4	Tb	Coli. T	E. coli
Q	1	-0.28	-0.73	0.07	-0.77	0.47	0.43	-0.82	0.04	0.12	-0.59	-0.19	0.14	-0.1	-0.65	-0.21	-0.62	-0.15	0.17	0.52	0.1
T	-0.28	1	0.53	0.57	0.08	-0.35	0.1	-0.02	-0.74	-0.15	-0.2	-0.35	0.76	-0.81	0.36	-0.71	0.11	0.71	0.54	-0.54	0.47
Alc	-0.73	0.53	1	0.6	0.69	-0.53	-0.49	0.76	-0.37	-0.1	0.22	0.14	0.18	-0.15	0.72	-0.24	0.13	0.74	0.47	-0.67	-0.15
Color	0.07	0.57	0.6	1	0.11	-0.21	-0.08	0.07	-0.59	-0.21	-0.51	-0.18	0.53	-0.47	0.33	-0.71	-0.53	0.95	0.96	-0.43	0.09
Cond	-0.77	0.08	0.69	0.11	1	-0.23	-0.37	0.85	0.26	-0.16	0.49	-0.03	-0.4	0.42	0.64	0.35	0.47	0.16	-0.04	-0.33	-0.2
DBO5	0.47	-0.35	-0.53	-0.21	-0.23	1	0.82	-0.35	0.44	0.23	-0.13	0.19	-0.01	0.35	0.13	0.06	0.18	-0.27	-0.11	0.65	0.5
DQO	0.43	0.1	-0.49	-0.08	-0.37	0.82	1	-0.6	0.02	-0.08	-0.4	-0.16	0.41	-0.15	0.07	-0.33	0.16	-0.08	0.09	0.4	0.84
DT	-0.82	-0.02	0.76	0.07	0.85	-0.35	-0.6	1	0.14	0.1	0.7	0.43	-0.34	0.47	0.62	0.33	0.41	0.19	-0.11	-0.45	-0.48
F	0.04	-0.74	-0.37	-0.59	0.26	0.44	0.02	0.14	1	0.35	0.38	0.14	-0.88	0.75	0.01	0.9	0.36	-0.69	-0.62	0.76	-0.16
NO3	0.12	-0.15	-0.1	-0.21	-0.16	0.23	-0.08	0.1	0.35	1	0.53	0.58	-0.15	0.16	0.13	0.32	0.32	-0.14	-0.35	0.47	-0.16
NO2	-0.59	-0.2	0.22	-0.51	0.49	-0.13	-0.4	0.7	0.38	0.53	1	0.53	-0.42	0.54	0.29	0.6	0.72	-0.36	-0.7	-0.08	-0.44
NA	-0.19	-0.35	0.14	-0.18	-0.03	0.19	-0.16	0.43	0.14	0.58	0.53	1	-0.07	0.4	0.33	0.17	0.22	-0.04	-0.24	0.04	-0.3
OD	0.14	0.76	0.18	0.53	-0.4	-0.01	0.41	-0.34	-0.88	-0.15	-0.42	-0.07	1	-0.76	0.12	-0.95	-0.19	0.64	0.6	-0.46	0.51
pH	-0.1	-0.81	-0.15	-0.47	0.42	0.35	-0.15	0.47	0.75	0.16	0.54	0.4	-0.76	1	0.04	0.73	0.23	-0.55	-0.54	0.27	-0.5
SD	-0.65	0.36	0.72	0.33	0.64	0.13	0.07	0.62	0.01	0.13	0.29	0.33	0.12	0.04	1	-0.08	0.53	0.5	0.26	-0.18	0.32
SST	-0.21	-0.71	-0.24	-0.71	0.35	0.06	-0.33	0.33	0.9	0.32	0.6	0.17	-0.95	0.73	-0.08	1	0.43	-0.76	-0.79	0.51	-0.42
ST	-0.62	0.11	0.13	-0.53	0.47	0.18	0.16	0.41	0.36	0.32	0.72	0.22	-0.19	0.23	0.53	0.43	1	-0.32	-0.6	0.1	0.28
SO4	-0.15	0.71	0.74	0.95	0.16	-0.27	-0.08	0.19	-0.69	-0.14	-0.36	-0.04	0.64	-0.55	0.5	-0.76	-0.32	1	0.9	-0.55	0.17
Tb	0.17	0.54	0.47	0.96	-0.04	-0.11	0.09	-0.11	-0.62	-0.35	-0.7	-0.24	0.6	-0.54	0.26	-0.79	-0.6	0.9	1	-0.37	0.25
Coli. T	0.52	-0.54	-0.67	-0.43	-0.33	0.65	0.4	-0.45	0.76	0.47	-0.08	0.04	-0.46	0.27	-0.18	0.51	0.1	-0.55	-0.37	1	0.24
E. coli	0.1	0.47	-0.15	0.09	-0.2	0.5	0.84	-0.48	-0.16	-0.16	-0.44	-0.3	0.51	-0.5	0.32	-0.42	0.28	0.17	0.25	0.24	1

## Apéndice I. Puntos de monitoreo en la quebrada el Silencio



**Estacion 1.** Captacion 1 del acueducto.



**Estación 2.** Aguas arriba de la captación 2 del acueducto.



**Estación 3.** Captación 2 del acueducto



**Estacion 4.** Aguas abajo del tanque de almacenamiento.

**Fuente:** Autores del proyecto

**Apéndice J. Trabajo de campo**



**Fuente:** Autores del proyecto