

**EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL  
AGUA PARA LOS RÍOS PIENDAMÓ Y LAS PIEDRAS, UBICADOS EN EL  
DEPARTAMENTO DEL CAUCA.**



**DIANA MARCELA ERAZO ANACONA**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
POPAYÁN - CAUCA  
2021**

**EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA CALIDAD DEL  
AGUA PARA LOS RÍOS PIENDAMÓ Y LAS PIEDRAS, UBICADOS EN EL  
DEPARTAMENTO DEL CAUCA.**



**DIANA MARCELA ERAZO ANACONA**

**PASANTÍA INSTITUCIONAL de grado para optar el título de INGENIERA  
AMBIENTAL Y SANITARIA**

**Director: JUAN PABLO PRADO MEDINA  
Ing. Ambiental  
Esp. En Gestión Integral del Riesgo de Desastres  
Msc. en Estudios Interdisciplinarios de Desarrollo**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
POPAYÁN - CAUCA  
2021**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

Una vez revisado el documento final del trabajo de grado titulado **“Evaluación de la variación espaciotemporal de la calidad del agua para los ríos Piendamó y las Piedras, ubicados en el departamento del Cauca”**; realizado por la estudiante Diana Marcela Erazo Anacona, se autoriza sustentación para optar, al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.



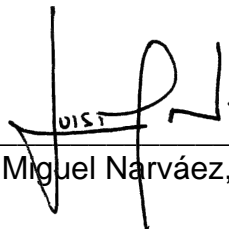
---

Esp. Juan Pablo Prado Medina  
Director  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca



---

Esp. Arnol Arias Hoyos  
Jurado  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca



---

Msc. Luis Miguel Narváez,  
Jurado  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

Popayán, 22 de octubre 2021

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia especialmente a mi madre por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional; permitiéndome una formación integra e impulsándome a lograr las metas propuestas durante este proceso y mi carrera profesional.

Diana Marcela Erazo Anacona

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi madre por su amor comprensión y apoyo incondicional a lo largo de mi carrera, a mis compañeras de universidad por los momentos compartidos y lo que aprendimos en el transcurso del tiempo juntas en la facultad, a mis directores Juan Pablo Medina y María del Mar Rivera Portilla por su guía, sabiduría conocimiento y apoyo; a mis jurados por su acompañamiento y consejo en el presente trabajo.

Por ultimo a mis Docentes del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria por su paciencia, enseñanza y todo lo aprendido durante esta etapa quienes me brindaron bases fundamentales para ser una excelente Profesional.

Diana Marcela Erazo Anacona

## CONTENIDO

	<b>Pag.</b>
INTRODUCCIÓN .....	16
CAPÍTULO I. PROBLEMA.....	17
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	17
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	19
1.3. OBJETIVOS .....	21
1.3.1. Objetivo general.....	21
1.3.2. Objetivos específicos.....	21
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	22
2.1. ANTECEDENTES .....	22
2.2. MARCO TEORICO .....	24
2.4. MARCO GEOGRAFICO .....	26
2.4.1. Generalidades Departamento del Cauca.....	26
2.4.3. Río Las Piedras .....	27
2.4.2. Río Piendamó .....	28
2.5. BASES LEGALES.....	29
2.5.1. Normatividad Ambiental sobre permiso de vertimientos .....	29
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	31
3.1. FASE I: REVISIÓN DOCUMENTAL.....	32
3.1.1 Actividad 1: Identificación y recolección del material de estudio.....	32
3.1.2 Actividad 2: Revisión detallada y análisis de la información recolectada .....	32
3.2. FASE II: CARACTERIZACIÓN DE LAS INTERVENCIONES ANTRÓPICAS ASOCIADAS A DIFERENTES TRAMOS DE LOS RÍOS PIENDAMO Y LAS PIEDRAS .....	33
3.2.1. Actividad 1. Identificación de información secundaria en relación con intervenciones antrópicas .....	33
3.2.2. Actividad 2. Recopilación de información secundaria en referencia a documentos, reportes y registros históricos de la calidad del agua.....	33
3.2.3. Actividad 3. Preparación de datos .....	34
3.2.4. Actividad 4. Cálculo de índices de calidad del agua .....	35

3.3. FASE III: ESTIMACIÓN DE LA VARIACIÓN DE CALIDAD DEL AGUA DE DIFERENTES TRAMOS DE LOS RÍOS PIENDAMO Y LAS PIEDRAS, A LO LARGO DEL RÉGIMEN PLUVIAL.....	38
3.3.1. Actividad 1. Recopilación de información secundaria en referencia a documentos, reportes y registros históricos del régimen pluviométrico en la zona de influencia de los puntos de monitoreo.....	39
3.3.2. Actividad 2. Comparación y análisis de las variables físicas y químicas respecto al régimen pluvial. ....	39
3.4. FASE IV: ESTABLECIMIENTO DE LA DINÁMICA FISICOQUÍMICA EN DIFERENTES TRAMOS DE LOS RÍOS PIENDAMO Y LAS PIEDRAS EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA.....	40
3.3.1. Actividad 1. Implementación de análisis estadístico .....	40
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
4.1. FASE I: REVISIÓN DOCUMENTAL.....	41
4.2. FASE II: CARACTERIZACIÓN DE LAS INTERVENCIONES ANTRÓPICAS ASOCIADAS A DIFERENTES TRAMOS DE LOS RÍOS PIENDAMO Y LAS PIEDRAS. ....	42
4.2.1. Actividad 1. Identificación de información secundaria en relación con intervenciones antrópicas .....	42
4.2.2. Actividad 2. Recopilación de información secundaria en referencia a documentos, reportes y registros históricos de la calidad del agua .....	48
4.2.3. Actividad 3. Preparación de datos .....	58
4.2.4. Actividad 4. Cálculo de índices de calidad del agua. ....	89
4.3. FASE III: ESTIMACIÓN DE LA VARIACIÓN DE CALIDAD DEL AGUA DE DIFERENTES TRAMOS DE LOS RÍOS PIENDAMO Y LAS PIEDRAS, A LO LARGO DEL RÉGIMEN PLUVIAL.....	91
4.3.1. Actividad 1. Recopilación de información secundaria en referencia a documentos, reportes y registros históricos del régimen pluviométrico en la zona de influencia de los puntos de monitoreo.....	91
4.3.2. Actividad 2. Comparación y análisis de las variables físicas y químicas respecto al régimen pluvial. ....	92
4.4. FASE IV: ESTABLECIMIENTO DE LA DINÁMICA FISICOQUÍMICA EN DIFERENTES TRAMOS DE LOS RÍOS PIENDAMO Y LAS PIEDRAS EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA.....	110
4.4.1. Actividad 1. Implementación de análisis estadístico .....	110
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	122

5.1. CONCLUSIONES .....	122
5.2. RECOMENDACIONES .....	123
BIBLIOGRAFIA .....	124
ANEXOS .....	128



## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de los parámetros que clasifican las aguas residuales.....	25
Tabla 2. Marco normativo relacionado con planes de saneamiento y manejo de vertimientos. ....	29
Tabla 3. Matriz de Revisión Sistémica Documental .....	32
Tabla 4. Matriz para registro de datos de calidad de aguas.....	34
Tabla 5. Matriz para registro de datos de calidad de aguas.....	36
Tabla 6. Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA.....	38
Tabla 7. Concesiones de aguas totales del río Las Piedras por sectores 2000-2019. ....	42
Tabla 8. Concesión para la PTAP del Río Las Piedras .....	44
Tabla 9. Concesiones de aguas totales del río Piendamó por sectores 2000-2019.....	47
Tabla 10. Plantas de Tratamiento de Agua potable del Río Piendamó .....	47
Tabla 11. Concesiones de aguas del río Las Piedras 2000-2019. ....	48
Tabla 12. Vertimientos de río Las Piedras. ....	52
Tabla 13. Concesiones de aguas del río Piendamó 2000-2019.....	53
Tabla 14. Vertimientos del río Piendamó. ....	57
Tabla 15. Carga contaminante generada By Pass y su cumplimiento con Res. 631 de 2015 .....	58
Tabla 16. Comportamiento de la temperatura en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras.....	61
Tabla 17. Comportamiento del Caudal en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras.....	62
Tabla 18. Comportamiento de la DBO en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras .....	64
Tabla 19. Comportamiento del Porcentaje de OD en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras.....	65
Tabla 20. Comportamiento de SST en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras .....	67
Tabla 21. Comportamiento de la Conductividad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras.....	68
Tabla 22. Comportamiento del pH en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras .....	70
Tabla 23. Comportamiento de la Alcalinidad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras.....	72
Tabla 24. Comportamiento de la Turbiedad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras.....	73
Tabla 25. Comportamiento de las Coliformes Fecales en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras.....	75

Tabla 26. Comportamiento de la Temperatura en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó.....	76
Tabla 27. Comportamiento del caudal en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó .....	78
Tabla 28 Comportamiento de DBO en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó .....	79
Tabla 29. Comportamiento del % de OD en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó.....	81
Tabla 30. Comportamiento de los SST en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó.....	82
Tabla 31. Comportamiento de la conductividad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó.....	83
Tabla 32. Comportamiento del pH en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó .....	85
Tabla 33. Comportamiento de la Turbiedad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó.....	86
Tabla 34. Comportamiento de la Alcalinidad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó.....	87
Tabla 35. Comportamiento de las Coliformes Fecales en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó .....	89
Tabla 36. Valores ICA subdivisión en campañas de los años 2017, 2018 y 2019 del Río Las Piedras .....	90
Tabla 37. Valores ICA subdivisión en campañas de los años 2017, 2018 y 2019 del Río Piendamó .....	91
Tabla 38. Puntos de Monitoreo de las Fuentes Río Piedras y Río Piendamó .....	91
Tabla 39. Decodificación en Past V 3.0, Río Las Piedras .....	110
Tabla 40. Decodificación en Past V 3.0, Río Piendamó .....	117

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Representación cartográfica de la subcuenca río Las Piedras, en el departamento del Cauca .....	27
Figura 2. Representación cartográfica de la subcuenca río Piendamó, en el departamento del Cauca .....	28
Figura 3. Metodología de la evaluación espacio-temporal de la calidad del agua para los Río Piendamó y Las Piedras.....	31
Figura 4. Mapa de cobertura vegetal del río Las Piedras.....	50
Figura 5. Puntos de Vertimiento del Río Las Piedras.....	51
Figura 6. Mapa de cobertura vegetal del río Piendamó.....	56
Figura 7. Puntos de vertimientos del Río Piendamó .....	56
Figura 8. Puntos de Monitoreo de Calidad de Agua - Río Las Piedras .....	59
Figura 9. Puntos de Monitoreo de Calidad de Agua - Río Piendamó .....	60
Figura 10. Comportamiento de la temperatura en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras .....	61
Figura 11. Comportamiento del Caudal en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras.....	62
Figura 12. Comportamiento de la DBO en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras.....	63
Figura 13. Comportamiento del Porcentaje de OD en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras.....	65
Figura 14. Comportamiento de SST en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras .....	66
Figura 15. Comportamiento de la Conductividad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras.....	68
Figura 16. Comportamiento del pH en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras .....	70
Figura 17. Comportamiento de la Alcalinidad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras.....	71
Figura 18. Comportamiento de la Turbiedad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras.....	73
Figura 19. Comportamiento de las Coliformes Fecales en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras.....	74
Figura 20. Comportamiento de la Temperatura en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó .....	76
Figura 21. Comportamiento del caudal en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó.....	77
Figura 22. Comportamiento de DBO en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó .....	79

Figura 23. Comportamiento del % de OD en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó.....	80
Figura 24. Comportamiento de los SST en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó.....	82
.Figura 25. Comportamiento de la conductividad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó .....	83
Figura 26. Comportamiento del pH en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó .....	84
Figura 27. Comportamiento de la Turbiedad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó.....	86
Figura 28. Comportamiento de la Alcalinidad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó.....	87
Figura 29. Comportamiento de las Coliformes Fecales en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó.....	88
Figura 30. Isoyetas para la determinación de la precipitación media por mes del Río Las Piedras .....	94
Figura 31. Isoyetas para la determinación de la precipitación media por mes del Río Piendamó .....	98
Figura 32. Valor ICA del Río Las Piedras año 2017.....	102
Figura 33. Valor ICA del Río Las Piedras año 2018.....	102
Figura 34. Valor ICA del Río Las Piedras año 2019.....	103
Figura 35. Precipitación Media Mensual del Río Las Piedras 2017-2019 .....	104
Figura 36. Valor del ICA del Río Piendamó 2017 .....	106
Figura 37. Valor del ICA del Río Piendamó 2018.....	106
Figura 38. Valor del ICA del Río Piendamó 2019.....	107
Figura 39. Precipitación media mensual del Río Piendamó 2017-2019.....	108
Figura 40. Precipitaciones Promedio Anual de los Ríos Las Piedras y Piendamó 2017-2019 .....	109
Figura 41. Varianza respecto a la correlación de PCA, Río Las Piedras .....	112
Figura 42. Discriminante por muestreo del Río Las Piedras .....	114
Figura 43. Discriminante por punto de monitoreo del Río Las Piedras .....	116
Figura 44. Varianza de correlación para PCA, Río Piendamó .....	119
Figura 45. Discriminante por Muestreo del Río Piendamó .....	120
Figura 46. Discriminante por punto de monitoreo del Río Piendamó .....	121

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Revisión Sistémica Documental .....	128
Anexo 2. Datos Índice de Calidad del Agua para Río Las Piedras y Piendamó, 2017-2019 .....	134
Anexo 3. Caudales del Río Piendamó 2017-2019.....	137
Anexo 4. Caudales del Río Las Piedras 2017-2019.....	138
Anexo 5. Análisis de Componentes Principales (PCA), Río Las Piedras .....	139
Anexo 6. Análisis de Componentes Principales (PCA), Río Piendamó.....	140

## RESUMEN

El presente estudio evaluó la variación espaciotemporal de las concentraciones de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tales como DBO (mg/l), DQO (mg/l), SST (mg/l), color (UPC), turbiedad (UNT), dureza (mgCaCO<sub>3</sub>/l), alcalinidad (mgCaCO<sub>3</sub>/l), nitritos mg (NO<sub>2</sub>-n/l), nitratos mg (NO<sub>3</sub>-n/l), orto fosfatos (mg /l), coliformes totales (NMP/100ml) y coliformes fecales (NMP/100ml) de los ríos Piendamó y Las Piedras, para lo cual se utilizaron los datos obtenidos de tres estaciones de monitoreo por fuente. En cuanto al régimen pluviométrico se consolidaron proyecciones con isoyetas desde 1997 a 2016 mediante estaciones del IDEAM y de la Fundación Río Las Piedras que permitieron identificar épocas secas y húmedas, además de tener en cuenta el periodo de estudio 2017-2019, una vez realizados se asociaron con el Índice de Calidad del Agua (ICA) para posteriormente utilizar el software Past V 3.0 para su respectivo análisis estadístico por medio de análisis de componentes principales (PCA) y Discriminantes cruzadas con puntos de monitoreo y campañas, de lo anteriormente mencionado se obtuvo como resultado que los parámetros fisicoquímicos se encontraron en su mayoría dentro de los rangos permisibles; sin embargo para el Río de Las Piedras se observaron cambios en los puntos medio-bajo debido a la piscifactoría y vertimientos de tipo domésticos que presenta, en cuanto al río Piendamó se destacó por los diversos vertimientos de usos industrial y doméstico procedentes del municipio de Piendamó y Silvia, en donde es evidente la problemática de la PTAR de Silvia ya que esta realiza el respectivo tratamiento el 50% de los vertimientos y en cuanto al Bypass identificado se observa mediante informes que el mismo no está cumpliendo con la normatividad, al igual que los cambios en los parámetros por la PCH Vatia que altera las dinámicas de la fuente en este punto; el ICA de esta fuente no varía significativamente ya que cuenta con una buena capacidad depurativa. Se concluye que las dos fuentes hídricas cuentan con un índice de calidad aceptable, aunque presenten vertimientos que no cumplen con la totalidad de los límites máximos permisibles. En ninguno de los parámetros evaluados se observó una tendencia espacial definida, sin embargo, el Río Piendamó fue el que presentó más dispersión en el P2 (Después de Silvia) respecto a los parámetros fisicoquímicos de estudio, por último, se destaca los altos niveles de contaminación por materia orgánica en ambas fuentes por lo cual se hace un llamado a las autoridades competentes para una mejor regulación del cumplimiento de la norma.

**Palabras clave:** contaminación del agua, índice de calidad del agua (ICA), parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, Río Las Piedras, Río Piendamó.

## ABSTRACT

The present study evaluated the spatiotemporal variation of the concentrations of physicochemical and microbiological parameters such as BOD (mg / l), COD (mg / l), SST (mg / l), color (UPC), turbidity (UNT), hardness ( mgCaCO<sub>3</sub> / l), alkalinity (mgCaCO<sub>3</sub> / l), nitrites mg (NO<sub>2</sub>-n / l), nitrates mg (NO<sub>3</sub>-n / l), ortho phosphates (mg / l), total coliforms (NMP / 100ml) and fecal coliforms (NMP / 100ml) of the Piendamó and Las Piedras rivers, for which the data obtained from three monitoring stations per source were used. Regarding the rainfall regime, projections with isohyets were consolidated from 1997 to 2016 through IDEAM and Fundación Río Las Piedras stations that allowed identifying dry and wet seasons, in addition to taking into account the study period 2017-2019, once carried out associated with the Water Quality Index (ICA) to later use the Pat V 3.0 software for their respective statistical analysis by means of principal component analysis (PCA) and cross-discrimination points of monitoring points and campaigns. As a result, the physicochemical parameters were mostly within the permissible ranges; However, for the Río de Las Piedras changes were observed in the medium-low points due to the fish farm and domestic discharges that it presents, as for the Piendamó River it stood out for the diverse discharges of industrial and domestic uses from the municipality of Piendamó. and Silvia, where the problem of Silvia's WWTP is evident since it carries out the respective treatment for 50% of the discharges and regarding the identified Bypass, it is observed through reports that it is not complying with the regulations, as well as the changes in the parameters by the PCH Vatia that alters the dynamics of the source at this point; the ICA of this source does not vary significantly since it has a good purifying capacity. It is concluded that the two water sources have an acceptable quality index, although they present discharges that do not comply with all of the maximum permissible limits. In none of the evaluated parameters was a defined spatial trend observed, however, the Piendamó River was the one that presented the most dispersion in the P2 (After Silvia) with respect to the physicochemical parameters of the study, finally, the high levels of contamination by organic matter in both sources for which a call is made to the competent authorities for a better regulation of compliance with the standard.

**Keywords:** water pollution, water quality index (ICA), physicochemical and microbiological parameters, Río Las Piedras, Río Piendamó.

## INTRODUCCIÓN

Los ríos son corrientes naturales sometidas a los cambios climáticos y a las características propias de la cuenca, la calidad de su agua varía naturalmente a lo largo del tiempo y de su curso debido a la combinación de factores ambientales. Sin embargo, las actividades humanas alteran, a veces de manera irreversible, las características físicas, químicas y biológicas del agua. Las principales fuentes de contaminación de estos sistemas son: las descargas de tipo municipal e industrial, las actividades productivas y/o extractivas, densidad poblacional, asentamientos humanos aledaños a cuerpos de agua, entre otros [1].

El recurso hídrico es fundamental para la existencia y el mantenimiento de la vida, existiendo una relación directa entre el desarrollo social y la demanda del recurso. A lo largo de la historia, las comunidades han buscado asentarse cerca de las fuentes de agua y esto ha contribuido a la contaminación gradual, generando múltiples epidemias que han diezmando ciudades enteras en la antigüedad. A medida que la humanidad continuó su desarrollo, las descargas de aguas domésticas residuales e industriales comenzaron a contaminar los cuerpos de agua, deteriorando los ecosistemas acuáticos y los suelos cercanos [2].

Es por ello, que los gobiernos mediante normas y leyes han tomado medidas para preservar la calidad del agua. Estas medidas son jurisdicción de las corporaciones autónomas regionales, siendo implementadas mediante programas tales como: planes de saneamiento y manejo de vertimientos, implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), evaluaciones de las variaciones espacio temporales de los recursos hídricos, entre otras. Las variaciones espacio temporales evalúan parámetros fisicoquímicos, hidrobiológicos y microbiológicos de las cuencas hídricas, donde se obtiene información sobre el estado limnológico de una microcuenca, por medio de monitoreos, determinaciones in-situ y en laboratorio en escalas temporales y espaciales [3].

Considerando lo descrito anteriormente, se realiza el siguiente trabajo de pasantía: *Evaluación de la variación espacio-temporal de la calidad del agua para los ríos Piendamó y Las Piedras, ubicados en el departamento del Cauca*, identificando las diferentes intervenciones antrópicas que degradan los cuerpos hídricos evaluado. El trabajo se estructura en cinco capítulos, el primero hace mención del problema de interés, así como los objetivos planteados para el desarrollo del tema. El segundo capítulo contiene antecedentes, marco referencial y bases legales que permiten la comprensión de los temas abordados en el desarrollo del trabajo. El tercer capítulo refiere a la metodología que indica las fases, actividades, instrumentos, y el tipo de análisis. El cuarto capítulo presenta los resultados de la pasantía y, por último, el capítulo cinco describe las conclusiones y recomendaciones.



## CAPÍTULO I. PROBLEMA

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los ríos constituyen un sistema de circulación lineal, vectorial, jerarquizado y estructurado para trasladar sedimentos y fluidos vitales a través de las Cuencas Hidrográficas y sus desembocaduras, realizando complejas reacciones dinámicas, mecánicas, energéticas, químicas y bioquímicas con el propósito de dar sustento en todo su recorrido a la vida en sus diferentes formas [4]

Las corrientes hídricas, han tenido y tienen un papel esencial en la vida del planeta, ya que son ecosistemas de gran productividad y riqueza biológica, permitiendo así la existencia de diferentes formas de vida. De igual manera, la vida de la sociedad humana ha estado íntimamente ligada a los ecosistemas fluviales, ya que en ellos han encontrado las condiciones apropiadas para el desarrollo de la civilización, debido a que estos han proporcionado numerosos recursos a las personas como proveedores de agua, alimentos, materiales de construcción y tejido, sistemas de transporte, vías de comunicación, riego para la agricultura, energía para las industrias e incluso sumideros para los residuos [5].

A razón de esto, las fuentes hídricas son uno de los eventos geológicos más importantes, que se han estudiado a lo largo del tiempo con el fin de poder evaluar su comportamiento y sus características, considerando que en su mayoría presentan una alteración en su calidad como consecuencia del aprovechamiento y la presión antrópica.

Asimismo, el permanente y sistemático monitoreo de las variables que gobiernan los flujos del recurso hídrico son indispensables, ya que permiten obtener información primaria de la calidad del agua. Desde el punto de vista ambiental, esta información abarca datos tales como: caracterizaciones físicas y químicas, las cuales permiten obtener un diagnóstico sobre el entorno ambiental y la calidad del recurso, que puede ser utilizado por las entidades competentes que intervienen en la gestión integral de las corrientes hídricas, para de esta manera ayudar en la toma de decisiones y la realización de acciones encaminadas a la conservación, protección y manejo del recurso, beneficiando a las poblaciones aledañas y a los ecosistemas que se encuentran a su alrededor [6].

Según el reporte del Estudio Nacional del Agua (ENA) del 2018, en el cual se evalúa la calidad del recurso a nivel nacional y que toma como focos de contaminación el sector doméstico, industrial y del café, se reportó que el sector industrial es el mayor aportante de carga orgánica neta que se vierte a las corrientes hídricas, estimado en el 51% en demanda biológica de oxígeno (DBO) y 62% en demanda química de oxígeno (DQO), con respecto a la carga total sumados los tres sectores. En el sector doméstico el mayor aporte lo hacen los sólidos suspendidos totales (SST) con el 80%, nutrientes en fósforo (PT) 91% y nitrógeno total (NT) 74%. Así mismo, se determinó que Colombia cuenta con

información de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) únicamente para 352 municipios, en las cuales para el año 2016 el caudal tratado por las PTAR fue de 26,6 m<sup>3</sup>/s, caudal vertido estimado 62,9 m<sup>3</sup>/s y el porcentaje de aguas residuales tratadas en términos de caudal es del 42,2 %, esto de acuerdo con la información reportada por la Súper Intendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [7].

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante mencionar que el estudio del recurso hídrico requiere la definición de unidades de análisis que faciliten la evaluación y seguimiento, es por ello que, dentro del sistema ambiental nacional y departamental se cuenta con entes administradores de los recursos naturales que, para el caso de los ecosistemas estratégicos del departamento del Cauca se tiene la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC); esta, en sus bases de funcionamiento tiene como pilar velar por la gestión integral del recurso hídrico, estas actividades incluyen los ríos Piendamó y Piedras, de los cuales se tienen registros de monitoreos en los que se describen principalmente la variabilidad en los parámetros de las fuentes hídricas mencionadas, sin embargo no se cuenta con un informe en el que se compile y analice la información desde el año 2017.

En este sentido, se resalta que el problema radica en la poca o nula información analítica que se posee sobre los ríos Piendamó y las Piedras, y se hace necesario un estudio evaluativo que permita resultados en cuanto a la variabilidad de las actividades antrópicas que ponen en riesgo los ecosistemas, además es necesario resaltar que el aumento de estas, supone un incremento de presión sobre los recursos naturales poniendo en riesgo la población localizada aguas abajo y que se beneficia de dicha fuente [8]. Motivo por el cual, es necesario conocer ¿Qué presiones antrópicas se ejercen sobre los ríos Piendamó y Las Piedras? Y con esto, ¿Cómo estas intervenciones antrópicas afectan la dinámica fisicoquímica del recurso hídrico?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

La calidad del agua a nivel mundial está disminuyendo y esto se debe fundamentalmente a la actividad antrópica; el incesante aumento poblacional, la creciente urbanización, el mayor uso de agua per cápita debido a cuestiones sanitarias y culturales, la mayor industrialización, el aumento de vertido de microorganismos, materia orgánica, sustancias químicas, y cambios físicos del agua, la contaminación ocasionada por el lavado de plaguicidas y fertilizantes, entre otras, son las causas principales de la pérdida de la calidad del agua [9].

En áreas urbanas del departamento del Cauca, la infraestructura municipal e industrial para el saneamiento o tratamiento de agua es ineficiente por inexistencia y/o capacidad, respecto a la exigencia por la normatividad de los desechos y aguas residuales, por lo cual pueden afectar al medio ambiente directa o indirectamente especialmente la calidad del agua. Por consiguiente y teniendo en cuenta que todas las personas tienen derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, se han creado una serie de normas que buscan el control, prevención y la sanción de la contaminación del medio ambiente [10].

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado y dando cumplimiento a lo establecido en el artículo 2.2.9.7.6.2 del Decreto 1076 de 2015 “Monitoreo del recurso hídrico” [11]. La autoridad ambiental competente realiza actividades de seguimiento y control de la calidad del agua por medio de monitoreos a fuentes hídricas priorizadas en el departamento, las cuales se vienen desarrollando desde varios años atrás limitándose a la adquisición de datos de análisis fisicoquímicos e índices de calidad, por lo que no se cuenta con estudios más avanzados y específicos de los datos recolectados, conllevando a la inexistencia de estudios espacio temporales que permitan evaluar el estado de los ríos y dimensionar el deterioro y/o mejora de los mismos y limitando la veracidad en la toma de decisiones para la conservación y descontaminación de las fuentes hídricas.

Por este motivo, se plantea el análisis de calidad del agua a través del tiempo en función de las fuentes de contaminación antrópica del recurso y de los índices de calidad para dos fuentes hídricas del departamento del Cauca, las cuales comprenden los ríos Piendamó y Las Piedras; considerando, que estas fuentes hídricas presentan vertidos de aguas residuales y que los puntos de monitoreo de calidad del agua están asociados a intervenciones sobre el recurso hídrico, los cuales permiten realizar la evaluación de la calidad del recurso en función de parámetros fisicoquímicos.

Asimismo, cabe mencionar que la importancia del estudio de estas fuentes radica en que para el caso del río Piendamó se tienen vertimientos originarios de los municipios de Silvia y Piendamó, siendo estos provenientes de la PTAR y de las redes de alcantarillado, respectivamente; y para el caso del río Las Piedras se tiene un vertimiento puntual identificado proveniente de una piscifactoría. Igualmente se debe tener en cuenta que los ríos seleccionados para el estudio son de vital importancia para la región, ya que estos

además de ser fuentes receptoras de vertimientos líquidos, también son fuentes abastecedoras de agua para diversos cascos rurales, al igual que para cascos urbanos como lo son los municipios de Popayán, Piendamó y Silvia.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar la variación espaciotemporal de la calidad del agua para los ríos Piendamó y Las Piedras, ubicados en el departamento del Cauca.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- ✓ Caracterizar las intervenciones antrópicas asociadas a diferentes tramos de los ríos Piendamó y Las Piedras.
- ✓ Estimar la variación de calidad del agua de diferentes tramos de los ríos Piendamó y Las Piedras, a lo largo del régimen pluvial.
- ✓ Establecer la dinámica fisicoquímica en diferentes tramos de los ríos Piendamó y Las Piedras, en el departamento del Cauca.

## CAPÍTULO II: REFERENTES TEÓRICOS

### 2.1. ANTECEDENTES

Para el desarrollo de la investigación en modalidad pasantía se presentan casos relacionados a la temática planteada a nivel internacional, nacional, regional y local que muestran avances y resultados en el campo de análisis y evaluación espaciotemporal de la calidad del agua, destacando los siguientes:

En el estado de aguas calientes, México se realizó un estudio de calidad de agua denominado “Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro”, fue de gran importancia puesto que permitió la evaluación la variación espacial y temporal de las concentraciones de materia orgánica, nutrientes, tóxicos orgánicos, organismos coliformes y metales pesados en el río San Pedro, obteniendo el grado de contaminación del recurso, que para este caso arrojó un resultado alto de contaminación [12].

Por otro lado, a nivel nacional en el departamento de Cundinamarca se realizó un estudio denominado, “Variables más influyentes en la calidad del agua del río Bogotá mediante análisis de datos” del 2016, en el cual, se analiza la calidad del agua del río Bogotá correspondiente al periodo 2008-2015, con datos proporcionados por la Corporación Autónoma Regional (CAR) de Cundinamarca, según fases de la minería de datos, con el fin de comprobar patrones de comportamiento y la definición de variables de mayor impacto en la calidad del agua de la Cuenca [13].

A nivel departamental, la investigación “metodología para la adaptación de un índice de calidad del agua a las condiciones medioambientales del río Cauca” esta metodología se basa en la revisión y evaluación de diferentes índices de calidad de agua (ICA), aplicados a la información obtenida a través de monitores realizados por la Corporación Autónoma Regional del valle del Cauca (CVC). En donde se haya la correlación entre información documental y evaluación de calidad del recurso hídrico adaptado para el río Cauca denominado ICAUCA, involucra los siguientes parámetros Oxígeno Disuelto, coliformes fecales, DBO5, Turbiedad, Sólidos Totales, Fosforo Total, pH, Nitrógeno Total, Sólidos suspendidos y Color [14].

La Corporación Autónoma Regional del Cauca – CRC, ha realizado el monitoreo a diferentes fuentes hídricas superficiales priorizadas en todo el departamento del Cauca, en el marco del proyecto “Gestión de la Calidad del Agua”, en el cual se realizan monitoreos de calidad en treinta y un (31) fuentes hídricas superficiales y setenta y cinco puntos de monitoreo ya establecidos en todo el departamento del Cauca; lo cual fue vital para realizar el presente trabajo puesto que esta información fue base para la conceptualización y análisis de datos[9].

En este sentido, se realizó el trabajo de grado titulado Análisis de la Oferta Hídrica de Zonas de Conservación, Soluciones de Agua y Acueductos Veredales en las Subcuencas Río Las Piedras Y Río Molino al igual que el Análisis de Parámetros Físico Químicos Y Bacteriológicos de las Principales Fuentes de Abastecimiento de Agua para el Municipio de Popayán, se obtuvo información base acerca del comportamiento de la cuenca del Río Las piedras en los meses octubre de 2015 a febrero de 2016; en donde se presentó una precipitación de 88 mm en la temporada seca (octubre 1015), seguido de la temporada húmeda en el mes de noviembre de 2015 aumento a 259 mm en diciembre bajo drásticamente a 2 mm, en el mes de enero de 2016 aumento a 161 mm y en febrero de 2016 volvió a disminuir a 67 mm, al ser comparados estos valores con los valores de los caudales mensuales presentados se observó que en los meses de octubre de 2015 y diciembre de 2015, en varios de los puntos de muestreo, se presentaron valores más bajos que en los otros meses respecto a su caudal, lo que corresponden a las precipitaciones bajas en estos meses [15].

La Universidad del Cauca en convenio con la CRC, estudiaron el comportamiento del río Piendamó teniendo en cuenta la corriente superficial y su potencial hídrico del cual se extrajeron datos en cuanto su morfometría y caudales que permitieron descubrir de manera aproximada el comportamiento del río Piendamó y algunos de sus afluentes. En cuanto a los caudales existe una estrecha relación con las características físicas y climáticas, los caudales máximos en el primer semestre del año se presentan en el mes de enero, febrero, marzo y en el segundo semestre los caudales máximos se presentan en el mes de noviembre y diciembre. De acuerdo al estudio se concluye que el agua del río Piendamó, posee características aceptables según los índices de la RAS 2000 y la resolución 330 del 2017; aunque no se detectaron puntos críticos en los sitios de muestreo se apreció una disminución en porcentaje de saturación de oxígeno disuelto y leve tendencia acida en sus aguas, junto al incremento de concentraciones de DBO y DQO y sus respectivas cargas contaminantes a medida que desciende el piso altitudinal [16].

## 2.2. MARCO TEORICO

El recurso hídrico es considerado renovable, debido a que constantemente se renueva mediante el ciclo hidrológico, cabe resaltar que esto no significa que es infinito. Este recurso es de vital importancia para la realización de actividades cotidianas del humano, y también en las dinámicas que diariamente los ecosistemas naturales realizan; es por ello que se debe garantizar una seguridad y calidad hídrica en los espacios y lugares donde existe aprovechamiento del recurso [17].

En consecuencia, y para el mejoramiento y gestión del recurso hídrico se han desarrollado mecanismos de gestión y de regulación basados objetivamente en la protección y uso sostenible del recurso, para ello una de las herramientas es el estudio de los Índices de Calidad del Agua (ICA); que permiten una visualización de la situación actual de un efluente. Es por ello, que el presente trabajo se desarrolla en el marco de la variación espacio-temporal de calidad de agua teniendo en cuenta precipitación pluvial, en la cual se considera la información histórica partiendo de la importancia de los datos generados por medio de estaciones climatológicas del servicio meteorológico entre los años 1997-2016.

Esta metodología partió de estudios antes realizados como la variación espacio-temporal de la precipitación pluvial en México: una aproximación a la evaluación de impacto, en donde se probó el ajuste con respecto a la distribución de dos parámetros en los periodos anual y mayo-octubre; este último, por registrar el 80% de la precipitación pluvial anual en México, observando 1.786 estaciones del periodo anual y en 1.727 del periodo mayo-octubre y a su vez se evaluaron técnicas de interpolación espacial considerando la interpolación de los parámetros de forma y escala, para generar mapas de precipitación pluvial siendo un método eficiente para la investigación de la modelación del ciclo hidrológico, al estudio del cambio climático y a la delimitación de zonas vulnerables en la zona [18].

Además, se resalta como las metodologías estadísticas permiten la correlación de datos en función al comportamiento de las fuentes ya sea en temporada seca y/o lluviosa; además del levantamiento de información base para la modelación temporal espacial adecuadas para la planeación de campo apropiada y los controles que se deben implementar según los resultados establecidos [19].

La aplicación de este tipo de estudios permite tomar medidas adaptativas en función al comportamiento espacio temporal de las cuencas, como por ejemplo para la agricultura a la hora de enfrentarse a la variabilidad climática, se toman en cuenta los registros tomados en el transcurso del presente año y transversal se da fortalecimiento a las prácticas de la comunidad de su zona respectiva [20].

Para la aplicación de las metodologías y evaluación espaciotemporal de la calidad de agua se tienen en cuenta las características de las aguas residuales estas se pueden



dividir en físicas, químicas y microbiológicas, tanto de tipo industrial como domésticas y varían de acuerdo a la complejidad de los agentes contaminantes, donde se destacan compuestos tóxicos y peligrosos como los fenoles e hidrocarburos [21].

En este sentido, las características físicas son sensoriales (detectadas por los sentidos) que pueden influir en la aceptación o el rechazo del agua; las siglas LMA (Límite Máximo Aceptable) se refieren a valores de características no detectadas por el consumidor, o si las detecta son consideradas despreciables. Por el lado de los parámetros químicos, estos permiten evidenciar la composición química natural de las aguas que puede alterarse por actividades antrópicas como las agrícolas, ganaderas e industriales, que mediante vertidos de aguas residuales o por escorrentía estas sustancias se incorporan al cuerpo de agua, provocando la afectación de calidad de agua y en consecuencia la modificación de los ecosistemas acuáticos, riesgos para la salud, entre otros [22].

Por último, los parámetros microbiológicos se basan en el estudio de organismos patógenos tales como las bacterias, estas se encuentran presentes en todas partes, el agua subterránea no es la excepción, por este motivo es necesario realizar pruebas bacteriológicas para determinar el grado de contaminación que tiene la misma, las fuentes hídricas pueden contener pequeñas contaminaciones de aguas negras, las cuales no pueden ser detectadas mediante análisis físicos o químicos, en cambio, las pruebas bacteriológicas se han diseñado de tal manera que puedan detectarlas [23].

Teniendo en cuenta las características de las aguas residuales, es necesario identificar los parámetros que debido a las actividades antrópicas y naturales están en constante cambio, y de esta forma tratar de minimizar la contaminación con estrategias que permitan asegurar la calidad, continuidad y cantidad del recurso hídrico, la tabla 1 presentada a continuación muestra los principales contaminantes que caracterizan las aguas residuales:

Tabla 1. Clasificación de los parámetros que clasifican las aguas residuales

CARACTERÍSTICAS	PARÁMETROS
Físico	Sólidos totales
	Sólidos en suspensión
	Temperatura
	Color
	Densidad
	Olor
Químicos	Hidratos de carbono
	Proteínas
	Lípidos orgánicos
	Grasas y aceites
	pH
	Alcalinidad
	Arena
	Metales pesados
Nutrientes N y P	

	Cloruros inorgánicos
	Azufre
	Sulfuro de hidrógeno
	Gases
Microbiológico	Bacterias
	Algas
	Protozoos
	Virus
	Coliformes

Fuente: Adaptado de [21]

Los parámetros anteriormente descritos hacen parte del estudio de la calidad de agua, la cual es una herramienta importante dentro del análisis del agua; el ICA permite el estudio de varios parámetros físicos, químicos y biológicos, utiliza una ecuación matemática, mediante la cual se evalúa el estado de un cuerpo de agua, de esta manera se puede determinar la vulnerabilidad del cuerpo frente a amenazas potenciales. [24].

Por último, es importante mencionar que para un completo análisis y evaluación de calidad de agua es vital tener en cuenta los planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV), ya que dentro de él se contempla un conjunto de programas, proyectos y actividades, con sus respectivos cronogramas e inversiones necesarias para avanzar en el saneamiento y tratamiento de los vertimientos, incluyendo la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales descargadas al sistema público de alcantarillado, tanto sanitario como pluvial, los cuales deberán estar articulados con los objetivos y las metas de calidad y uso que defina la autoridad ambiental competente para la corriente, tramo o cuerpo de agua [25] [26].

## 2.4. MARCO GEOGRAFICO

El área de estudio implicada en el marco del proyecto Evaluación de la variación espacio-temporal de la calidad del agua está definida dentro de los ríos Piendamó y Las Piedras, ubicados en el departamento del Cauca, abarcando el área hidrográfica correspondiente a Magdalena-Cauca

### 2.4.1. Generalidades Departamento del Cauca

Situado en el suroeste del país entre las regiones andina y pacífica; cuenta con una superficie de 29.308 km<sup>2</sup> lo que representa el 2.56 % del territorio nacional; Limita por el Norte con el departamento del Valle del Cauca, por el Este con los departamentos de Tolima, Huila y Caquetá, por el Sur con Nariño y Putumayo y por el Oeste con el océano Pacífico. El relieve del territorio del departamento del Cauca pertenece al sistema andino, El sistema hidrográfico del Cauca, está constituido por cinco grandes cuencas: Alto Cauca, Pacífico, Alto Magdalena, Patía y Caquetá; Alto Cauca, conformada por el río Cauca y sus afluentes río Palo, Guengué, Negro, Teta, Desbaratado y Quilichao,

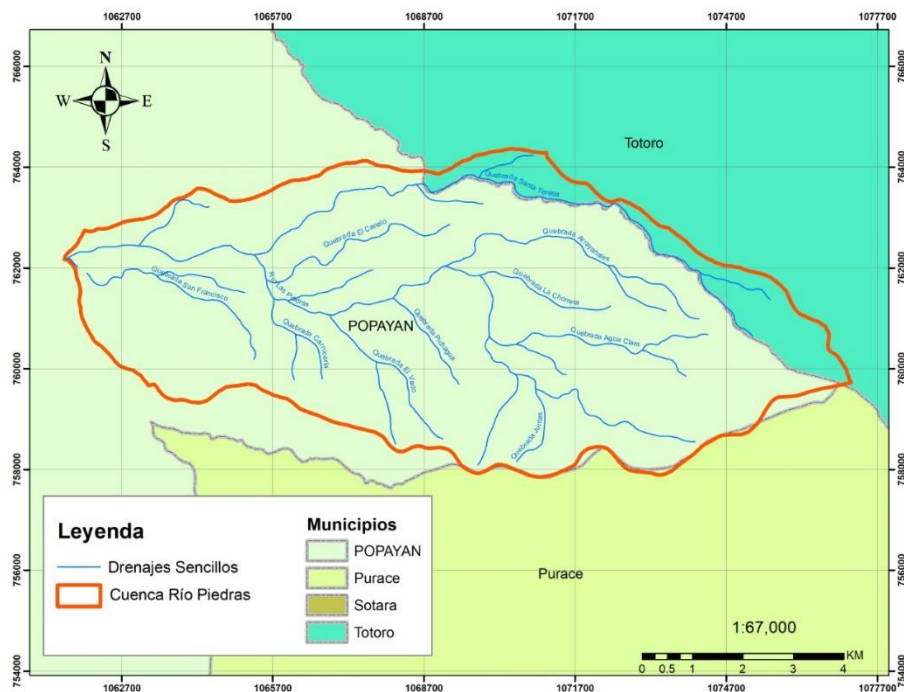
Mondomo, Ovejas, Pescador, Robles, Piedras, Sucio, Palacé, Cofre, Honda, Cajibío, Piendamó, Tunía, Molino, Timbío y Blanco [9] [27]. Los ríos Piendamó y las piedras que se describen a continuación:

### 2.4.3. Río Las Piedras

La cuenca río Las Piedras es una de las cuencas principales del municipio de Popayán, está ubicada en el municipio de Popayán y Totoró, al nororiente de la ciudad, sobre el flanco occidental de la cordillera Central. Se encuentra a ( $76^{\circ} 31' 10''$ ) al Oeste de Greenwich y ( $2^{\circ} 21' 45''$ ) de latitud Norte, en el nacimiento del río y a ( $76^{\circ} 23' 45''$ ) longitud Oeste y ( $2^{\circ} 25' 40''$ ) de latitud Norte en la desembocadura del río Cauca. Tiene una extensión de 6.626 Ha y una altitud variable entre 1.980 y 3.820 msnm, y 3.820 msnm, con zonas de páramo, subpáramo, bosques alto-andinos, andinos y subandinos (Ver figura 1) [28].

Esta cuenca hidrográfica constituye un ecosistema estratégico debido a que es la principal fuente abastecedora de agua para Popayán y además de esto, constituye la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Natural Puracé. Los cultivos principales en la cuenca son maíz, papa y frijol, así como la mora y las hortalizas [28].

Figura 1. Representación cartográfica de la subcuenca río Las Piedras, en el departamento del Cauca

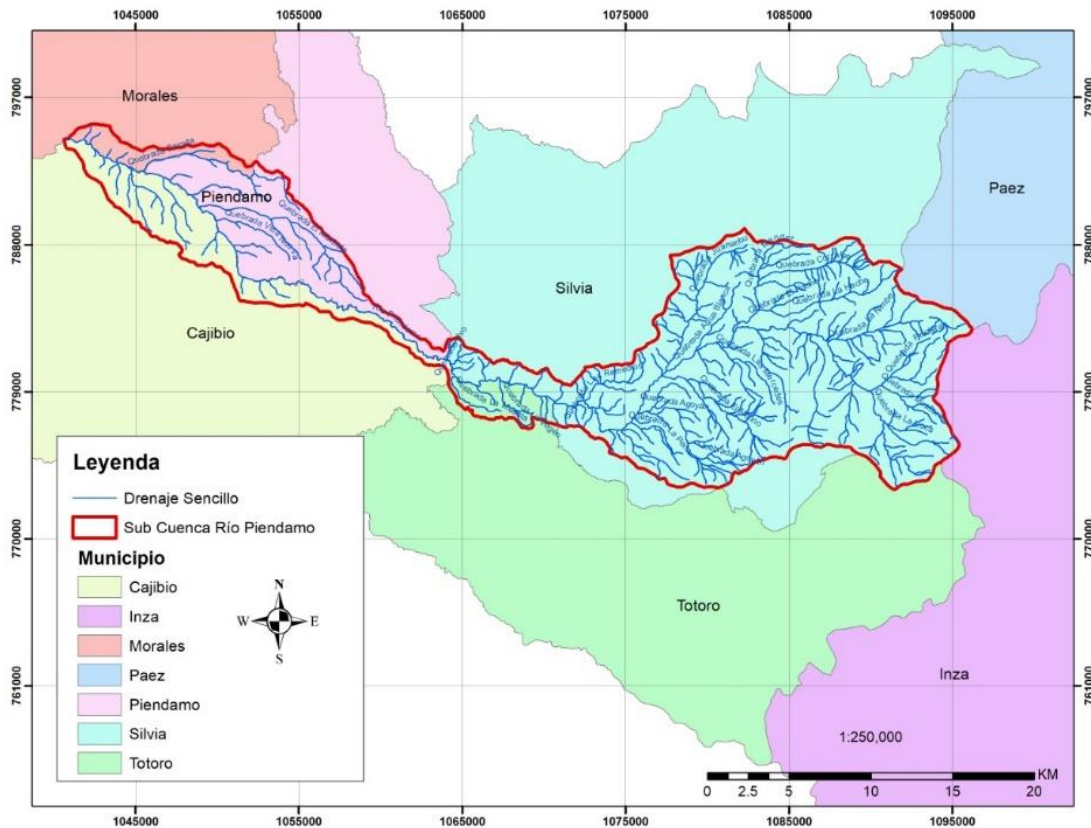


Fuente: Elaboración Propia

## 2.4.2. Río Piendamó

La subcuenca río Piendamó, con un área de 39.167 Ha, pertenece a la subzona hidrográfica de río Piendamó, zona hidrográfica Cauca. El río Piendamó nace en la vereda Ñimbe, municipio de Silvia (1094247,532 W, 782306,9 N), a aproximadamente 3600 msnm. Su cauce principal recorre 82,93 km entre los municipios de Silvia, Totoró, Piendamó y Cajibío, desembocando en el río Cauca. Este río además de ser una fuente abastecedora de poblaciones del municipio de Piendamó y Morales, es una fuente receptora de vertimientos líquidos municipales (Ver figura 2) [29].

Figura 2. Representación cartográfica de la subcuenca río Piendamó, en el departamento del Cauca



Fuente: Fuente Propia

## 2.5. BASES LEGALES

La norma fundamental para la gestión integral del recurso hídrico el cual permite a las entidades competentes la Corporación Autónoma Regional del Cauca y Fundación Procuencia Río Las Piedras llevar a cabo el control y monitoreo de las cuencas y su comportamiento en cuanto a cantidad, calidad y continuidad, por medio de la regulación de aspectos como valores máximos permisibles de parámetros físicos y químicos que conducen a conservar la calidad de las fuentes hídricas, y que contribuyen a mantener la calidad de la macro y micro biota tanto de la fuente como de su ronda y a su vez a la calidad del recurso para consumo humano y actividades antrópicas como la agricultura, ganadería, industria, entre otras; todos estos criterios son esenciales puesto que permitieron identificar el estado de los Ríos Las Piedras y Piendamó. A continuación, se encuentran las resoluciones, leyes y decretos (Tabla 2), aplicables al presente trabajo para su desarrollo.

### 2.5.1. Normatividad Ambiental sobre permiso de vertimientos

Tabla 2. Marco normativo relacionado con planes de saneamiento y manejo de vertimientos.

NORMA	DESCRIPCIÓN
Decreto 2811 de 1974	Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente [30].
Ley 9 de 1979	Código Sanitario Nacional [31].
Decreto 1594 de 1984	Uso del agua y vertimientos [32].
Constitución Política de la República de Colombia de 1991	Esta constitución hizo del medio ambiente un elemento esencial para el desarrollo humano, al proponer en 33 de sus artículos la defensa y conservación del patrimonio ambiental del país, catalogándose como una Constitución ecológica, a partir de lo cual se promulga la norma magna del componente ambiental: Ley general ambiental (Ley 99/1993) [33].
Ley 99 de 1993	Organiza el SINA y crea el Ministerio del Medio Ambiente [8].
Ley 142 de 1994	Régimen de los servicios públicos domiciliarios [34].
Ley 373 de 1997	Uso Eficiente y Ahorro del agua [35]
Resolución 372 de 1998	Monto de las tasas mínimas para las tasas retributivas [36].
Resolución 1096 de 2000	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento – RAS [37].
Decreto 1180 de 2003	Licencias Ambientales [38].
Decreto 3100 de 2003	Tasas retributivas [39].
Decreto 155 de 2004	Tasas por utilización del agua [40].

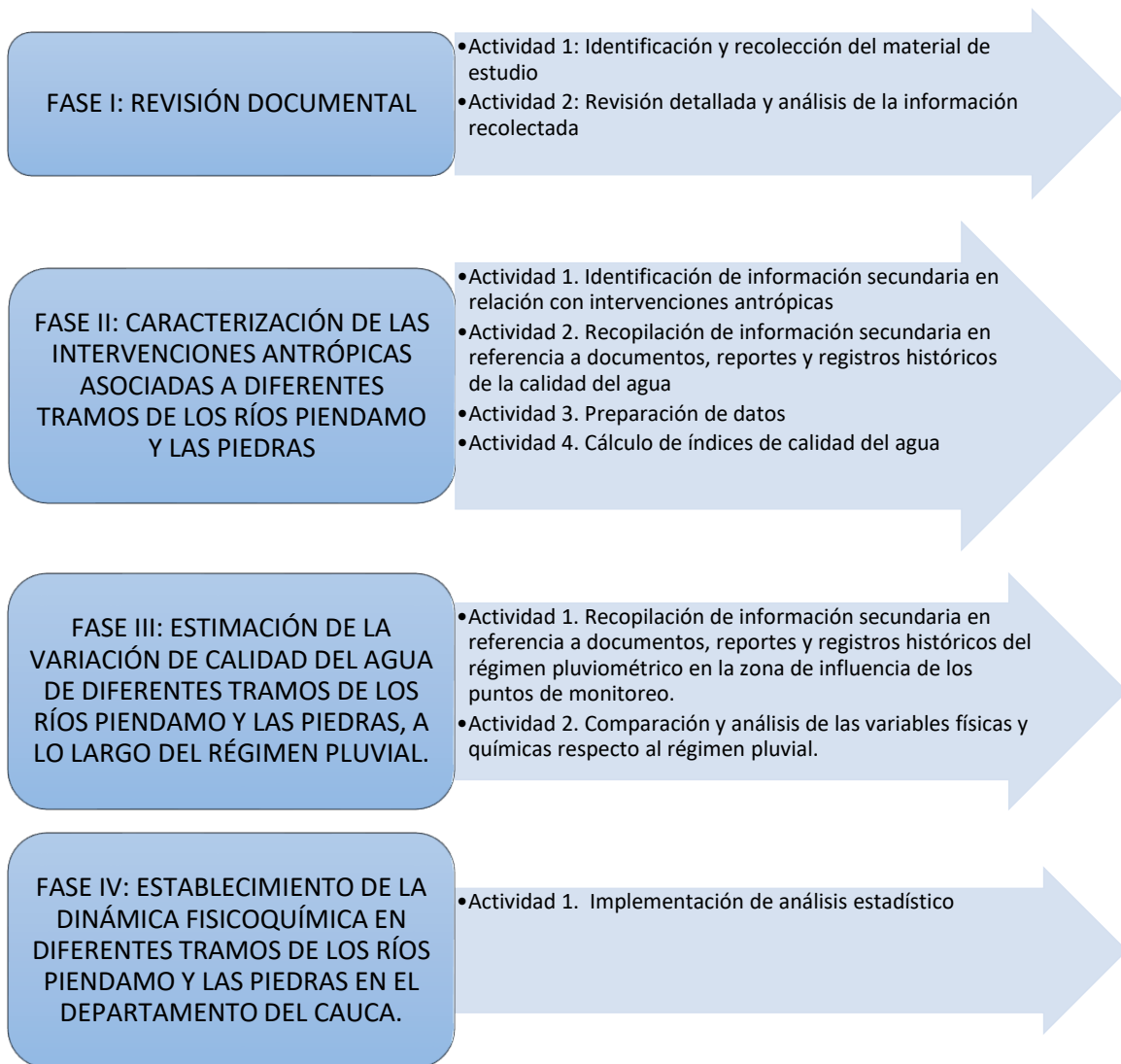
Resolución 240 de 2004	Establece tarifa mínima para las tasas por utilización de agua [41].
Decreto 3930 de 2010	Artículo 24: establece como Prohibiciones, en el sentido de que no se admiten vertimientos en las cabeceras de las fuentes de agua, en acuíferos, en los cuerpos de aguas o aguas costeras [42].
Resolución 0631 de 2015	Norma de vertimientos, permite el control de sustancias contaminantes que llegan a los cuerpos de agua vertidas por 73 actividades presentes en ocho sectores económicos del país [10].
Decreto 1076 de 2015 (Decreto 3930 de 2010)	Promueve el reusó de aguas residuales a través de los planes de reconversión de tecnologías limpias en gestión de vertimientos – PRTLGV; Artículo 2.2.3.3.5.1 [43]
Decreto 050/2018	Decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible en relación con los consejos ambientales regionales de la macrocuenca (CARMAC), el ordenamiento del recurso hídrico y vertimientos se dictan otras disposiciones [44].
Nuevo PND Ley 1955 de 2019	Ha establecido que no se exigirá permiso de vertimientos a aquellos usuarios que viertan las aguas residuales en alcantarillados municipales siempre y cuando estos sistemas de tratamiento cuenten con una infraestructura adecuada [45].
Decreto 1541 de 1978	Artículo 28, define el derecho al uso de las aguas y de los cauces en los siguientes términos: por ministerio de la Ley, por concesión, por permiso, y por asociación [46].

Fuente: Elaboración propia, con datos de Legislación ambiental colombiana.

### CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

Para desarrollar el presente trabajo de pasantía encaminado al apoyo en la evaluación de la variación espacio-temporal de la calidad del agua para los ríos Piendamó y Las Piedras, ubicados en el Departamento del Cauca, se llevó a cabo la siguiente metodología, abordada mediante tres fases como se observa en la Figura 3:

Figura 3. Metodología de la evaluación espacio-temporal de la calidad del agua para los Ríos Piendamó y Las Piedras.



Elaboración: Fuente Propia

### 3.1. FASE I: REVISIÓN DOCUMENTAL

Esta fase se realizó con el ánimo de recolectar la información relacionada con el tema de estudio, dentro de esta se realizaron dos actividades las cuales se describen a continuación:

#### 3.1.1 Actividad 1: Identificación y recolección del material de estudio

Para lograr la identificación de la documentación necesaria se emplearon diferentes métodos de búsqueda por medio de la web, consulta de normas y documentación bibliográfica. En segundo lugar, se efectuó un listado de los documentos de interés, empleando herramientas ofimáticas. La información que se recolectó fueron documentos y datos de la CRC, IDEAM y referentes bibliográficos como tesis de grado y artículos de investigación con temas relacionados la Evaluación Espacio Temporal de las fuentes hídricas; obteniendo la mayor información y lo más detallado posible para así proceder a su análisis en cada una de las fases respecto a la información recolectada para el presente trabajo.

#### 3.1.2 Actividad 2: Revisión detallada y análisis de la información recolectada

Para el desarrollo de dicha actividad se construyó una matriz de revisión sistémica (tabla 3) empleando el programa Excel 2019 del paquete de herramientas Microsoft office 2019. Esta tabla permitió organizar la información en orden cronológico, de tal forma que se pudiera visualizar y analizar de una manera detallada. Donde se describe los principales precedentes de evaluación espacio temporal y documentos de interés respecto a regímenes pluviales y comportamientos de cuencas, además de la norma respecto a los parámetros dentro de los límites permisibles. El formato de la tabla contaba con el año, título del documento, autor o autores, objetivo general y específicos, metodología empleada, resultados esperados y conclusiones.

Tabla 3. Matriz de Revisión Sistémica Documental

Nº	TÍTULO	AÑO	AUTORES	RESUMEN	APORTES AL TRABAJO	LINK

Fuente: Elaboración Propia

A su vez la Matriz de revisión sistémica permitió el análisis de revisión documental. Dicha herramienta facilitó la interpretación y análisis de la información de estudio debido a que permitió registrar y visualizar toda la información necesaria para el desarrollo de esta actividad, además de dar a conocer si la documentación estudiada tenía pertinencia con el trabajo de grado desarrollado a través de la evaluación de referentes bibliográficos y/o estado del arte, que contempla la información relevante y a fin con el presente trabajo.



## **3.2. FASE II: CARACTERIZACIÓN DE LAS INTERVENCIONES ANTRÓPICAS ASOCIADAS A DIFERENTES TRAMOS DE LOS RÍOS PIENDAMO Y LAS PIEDRAS**

Como primera instancia, se tuvo en cuenta los registros históricos de la calidad del agua, obtenidos en las campañas de monitoreos realizados por la Corporación Autónoma Regional del Cauca – CRC; el cumplimiento de esta fase se desarrolló por medio de cuatro actividades, a continuación, descritas:

### **3.2.1. Actividad 1. Identificación de información secundaria en relación con intervenciones antrópicas**

Se realizó una revisión documental mediante tablas de información en relación para el presente trabajo respecto a los tramos a estudiar de las fuentes hídricas mediante la herramienta ofimática Microsoft Excel 2019 teniendo en cuenta la información relevante, identificando los proyectos ejecutados por parte de la CRC en el Rio Piendamó y el Rio las Piedras, para de esta manera conocer los registros físicos y digitales de concesiones de aguas, calidad de aguas, cartografía y planes de saneamiento y manejo de vertimientos.

### **3.2.2. Actividad 2. Recopilación de información secundaria en referencia a documentos, reportes y registros históricos de la calidad del agua**

Se recolectó la información secundaria en referencia a documentos y registros actuales e históricos a través de una matriz de chequeo conforme a especificaciones del tramo a estudiar realizada en Microsoft Excel 2019, que contemplan datos referentes a calidad de aguas, concesiones de aguas, cartografía de los tramos a estudiar y Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) para los ríos Piendamó y Las Piedras. Para ello, se empleó una revisión documental del archivo perteneciente a la subdirección de gestión ambiental de la CRC entre los años 2017-2019. Estos archivos contienen información referente a:

- ✓ **Concesiones de aguas:** Se realizó una búsqueda en las bases de datos de la Corporación sobre concesiones de aguas otorgadas para aprovechamiento del Rio Piendamó y Rio Las Piedras, en esta revisión se identificó el número de concesiones, su tipo de aprovechamiento y su cumplimiento con la normatividad ambiental respectiva.
- ✓ **Calidad de aguas:** En los archivos de calidad de aguas se recolectó información referente a caracterizaciones de la calidad del agua, datos de campo, laboratorio y análisis de cada uno de los puntos de monitoreo para las dos fuentes hídricas estudiadas; es decir los ríos Piendamó y Las Piedras.
- ✓ **Cartografía:** Se ejecutó una revisión cartográfica que permitió observar las coberturas vegetales en las zonas de influencia para cada uno de los tramos estudiados.

Lo anterior, se realizó con el fin de determinar cómo se han visto afectadas las fuentes hídricas a causa de los impactos antrópicos presentes en el lugar. El análisis de la información cartográfica, permitió la obtención de mapas de coberturas del uso de la tierra asociadas al recurso hídrico.

✓ **Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV):** se realizó una revisión detallada de los PSMV otorgados en las zonas de influencia de los diferentes puntos de monitoreo, en las dos fuentes hídricas de estudio, lo anterior, se realizó con el objetivo de determinar las diferentes acciones antrópicas que intervienen en el deterioro del recurso [9][47].

### 3.2.3. Actividad 3. Preparación de datos

Esta actividad, se dividió en dos subactividades la primera fue la estructuración y análisis de información cualitativa donde se realizó una comparación entre los datos del Rio las Piedras y el Rio Piendamó, determinando el estado de cada uno de ellos, utilizando el programa de Excel 2019 en donde se prepararon y organizaron los datos cualitativos y cuantitativos mediante una tabla inicial donde se diligenciaron los parámetros de los registros obtenidos para las tres campañas 2017-2019 (Anexo 2) de los tres puntos de las fuentes hídricas para el posteriormente realizar el cálculo del índice de calidad del agua (ICA) en relación a los parámetros físico químicos; por otro lado, la segunda subactividad fue la recopilación y organización de la información mediante el diligenciamiento de una matriz de revisión sistémica elaborada por la CRC para el registro de información; donde se contemplaron aspectos tales como:

Tabla 4. Matriz para registro de datos de calidad de aguas

<b>Descripción de la zona de estudio</b>	Estación de monitoreo
	Área hidrográfica
	Zona hidrográfica
	Sub zona hidrográfica
	Corriente
	Punto de monitoreo
<b>Georreferenciación</b>	Norte
	Este
	a.s.n.m.
<b>Datos de campo</b>	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
	pH
	Temperatura (°c)
	Conductividad (µs/cm)
	Oxígeno disuelto (mg/l)
	% de OD
<b>Datos de laboratorio</b>	DBO (mg/l)

	DQO (mg/l)
	SST (mg/l)
	Color (upc)
	Turbiedad (unt)
	Dureza (mgcaco3/l)
	Alcalinidad (mgcaco3/l)
	Nitritos mg (no2-n/l)
	Nitratos mg (no3-n/l)
	Orto fosfatos (mg po4-p/l)
	Coliformes totales (nmp/100ml)
	Coliformes fecales (nmp/100ml)

Fuente. Corporación Autónoma Regional del Cauca – CRC.

### 3.2.4. Actividad 4. Cálculo de índices de calidad del agua

Los cálculos del índice de la calidad del agua se realizaron de acuerdo a lo establecido por la guía metodológica de: “*Índice de Calidad del Agua en Corrientes Superficiales (ICA)*”, establecida por el IDEAM.

El cálculo del indicador se ejecutó a partir de los datos de concentración de un conjunto de variables fisicoquímicas que, para el caso de estudio, estas variables fueron medidas en seis (6) estaciones que conforman la red de monitoreo de la Corporación, en tres campañas por año durante un periodo de tiempo de tres (3) años, empleando cinco (5) parámetros para el cálculo del índice.

La fórmula general para la implementación del cálculo realizado es la siguiente:

#### Ecuación 1.

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

**Donde:**

**ICA:** Es el índice de calidad del agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t, evaluado con base en n variables

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

**$I_{kjt}$ :** 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 [47].

A continuación, se describen las variables que se involucraron en el cálculo del indicador, con la implementación de cinco variables, la unidad de medida de las mismas y la ponderación que tienen dentro de la fórmula de cálculo.

Tabla 5. Matriz para registro de datos de calidad de aguas.

VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	PONDERACIÓN
Oxígeno disuelto (OD)	% de saturación	0,2
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	0,2
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	0,2
Conductividad eléctrica (C.E)	$\mu$ S/cm	0,2
pH	Unidades de pH	0,2

Fuente: Guía metodología para el cálculo de índices de calidad de agua IDEAM.

El procedimiento general para el cálculo del valor de cada variable, consistió en ingresar el valor que en una determinada medición haya registrado la variable de calidad  $i$ , en la curva funcional correspondiente y estimar el valor  $I_{ikjt}$  [47]. A continuación, se muestran las ecuaciones de referencia:

✓ **Oxígeno disuelto (OD):**

Esta variable tiene el papel biológico fundamental de definir la presencia o ausencia potencial de especies acuáticas. Para el cálculo del índice del oxígeno disuelto, es importante tener en cuenta que el valor numérico deberá estar en función de porcentaje de saturación [47]. Una vez obtenido este dato, se procedió a calcular el valor, mediante la siguiente fórmula:

**Ecuación 2.**

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * PS_{OD})$$

Cuando el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto es mayor al 100%, se tiene que:

**Ecuación 3.**

$$I_{OD} = 1 - (0,01 ** PS_{OD} - 1)$$

**Donde:**

**PS<sub>OD</sub>**: Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto.

✓ **Sólidos suspendidos totales (SST):**

La presencia de sólidos en suspensión en los cuerpos de agua indica cambio en el estado de las condiciones hidrológicas de la corriente [47].

El subíndice de calidad para sólidos suspendidos se calculó de la siguiente manera:

**Ecuación 4.**

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

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

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

✓ **Demanda química de oxígeno (DQO):**

Refleja la presencia de sustancias químicas susceptibles de ser oxidadas a condiciones fuertemente ácidas y alta temperatura [47].

Mediante adaptación de la propuesta de la Universidad Politécnica de Catalunya se calculó la siguiente fórmula:

**Ecuación 5.**

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.):**

Está íntimamente relacionada con la suma de cationes y aniones determinada en forma química (31). La C.E se calculó mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 6.**

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

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

✓ **Potencial de hidrógeno (pH):**

Mide la acidez, valores extremos pueden afectar la flora y fauna acuáticas [47].

### Ecuación 7.

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

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

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

Si  $8 < \text{pH} \leq 11$ , entonces  $I_{\text{pH}} = 1 * e^{[(\text{pH}-8)-0,518774]^2}$

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

Finalmente, después de la obtención de los valores para cada una de las variables implicadas para el cálculo del índice de calidad del agua, se procedió a realizar la interpretación general de los resultados obtenidos, en los cuales los valores optativos que puede llegar a tomar el indicador se clasificaron en diferentes categorías, de acuerdo a ellos se califica la calidad del agua de las corrientes superficiales, al cual se le ha asociado un color como señal de alerta. En la siguiente tabla se registra la relación entre valores y calificación:

Tabla 6. Calificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA

CATEGORÍAS DE VALORES QUE PUEDE TOMAR EL INDICADOR	CALIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA	SEÑAL DE ALERTA
0,00 - 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 - 0,50	Mala	Naranja
0,51 - 0,70	Regular	Amarillo
0,71 - 0,90	Aceptable	Verde
0,91 - 1,00	Buena	Azul

Fuente: Guía metodología para el cálculo de índices de calidad de agua IDEAM.

Se llevó a cabo la consolidación de una base de datos, ya que, disponer de una base de datos de calidad de agua durante un largo período de registros permite caracterizar al recurso hídrico superficial, conocer sus particularidades y comparar valores actuales e iniciales para visualizar tendencias y causas de contaminación.

### 3.3. FASE III: ESTIMACIÓN DE LA VARIACIÓN DE CALIDAD DEL AGUA DE DIFERENTES TRAMOS DE LOS RÍOS PIENDAMO Y LAS PIEDRAS, A LO LARGO DEL RÉGIMEN PLUVIAL.

Para la determinación de la variación de la calidad del agua de las fuentes hídricas de estudio con respecto al régimen pluvial, se tomaron como referencia los registros históricos del comportamiento pluvial a lo largo de las épocas y de los años en los cuales se llevaron a cabo la toma de muestras tanto de campo como de laboratorio en los ríos Piendamó y Las Piedras, ejecutadas por la CRC. La cual ha realizado monitoreos a lo largo de tres (3) años en el marco del proyecto "Gestión de la Calidad del Agua". Para dar cumplimiento a lo anterior se ejecutaron las siguientes actividades:

### **3.3.1. Actividad 1. Recopilación de información secundaria en referencia a documentos, reportes y registros históricos del régimen pluviométrico en la zona de influencia de los puntos de monitoreo.**

Se recolectó toda la información correspondiente y reportada por entidades encargadas del manejo de la información científica, hidrológica y meteorológica en el país, como lo es el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el cual cuenta con datos de uso libre referentes al tema y que se encuentran actualizados hasta el año 2019. Esta actividad se realizó teniendo en cuenta lo siguiente:

- ✓ **Ejecución de la distribución espacial de las estaciones de precipitación empleadas en el estudio:** en este punto se identificaron todas las estaciones de monitoreo implementadas por el IDEAM. Lo anterior, con el fin de aplicar un criterio de selección, tomando como fuente de información aquellas que contenían el mayor número de datos dentro del periodo 2017-2019.
- ✓ **Caracterización del régimen pluvial:** para realizar la agrupación de los datos se tuvo en cuenta el comportamiento de las diferentes épocas climatológicas en el transcurso del año, con el fin, de identificar la homogeneidad en que se presentaron los periodos de altas y bajas precipitaciones, ya que estas variables influyen el ciclo del agua y los ciclos biológicos de las especies. Por ende, se llevó a cabo la caracterización del régimen pluvial para cada una de las campañas de monitoreo a lo largo de los tres (3) años de estudio determinando (4) categorías de estado de las precipitaciones, las cuales comprenden altas precipitaciones, transición de altas a bajas precipitaciones, bajas precipitaciones y transición de bajas a altas precipitaciones.
- ✓ **Sistematización y organización de información:** una vez recopilada la información necesaria para el estudio de datos, se procedió a organizar los valores obtenidos en una hoja de cálculo de Excel por campaña a lo largo de los tres (3) años de estudio. De esta manera se determinó si los monitoreos se realizaron en temporada de altas precipitaciones, transición de altas a bajas precipitaciones, bajas precipitaciones o transición de bajas a altas precipitaciones. Facilitando así, un posterior análisis y comparación de datos.

### **3.3.2. Actividad 2. Comparación y análisis de las variables físicas y químicas respecto al régimen pluvial.**

Una vez obtenidos y organizados los datos referentes a los parámetros fisicoquímicos de cada uno de los puntos de monitoreo, así como la información adquirida del régimen pluvial; se realizó un análisis comparativo entre estas dos fuentes de información secundaria, con el fin de comparar grupos y estudiar relaciones entre determinadas variables. Para lo cual, se organizaron las variables de los puntos de monitoreo y la información pluviométrica en dos matrices; posterior a ello, se llevó a cabo un análisis de datos avanzado con variables cuantitativas.

Del mismo modo se analizó la dinámica de las lluvias con respecto al cambio de caudal de los ríos; dado lo anterior, esta variable fue tomada como punto de referencia para la posterior comparación de los demás parámetros fisicoquímicos.

### **3.4. FASE IV: ESTABLECIMIENTO DE LA DINÁMICA FISICOQUÍMICA EN DIFERENTES TRAMOS DE LOS RÍOS PIENDAMO Y LAS PIEDRAS EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA.**

Para determinar la dinámica fisicoquímica de los ríos estudiados se realizó un modelo de análisis estadístico, obteniendo información acerca de la interacción de las variables fisicoquímicas de las fuentes hídricas con respecto a la variabilidad del caudal. Lo anterior, con el fin de llevar a cabo una comparación entre variables para cada punto de estudio, así como también un análisis individual de parámetros que permitió una evaluación del río. Para dar cumplimiento a lo mencionado se llevaron a cabo las siguientes actividades:

#### **3.3.1. Actividad 1. Implementación de análisis estadístico**

El modelo estadístico que se utilizó en el análisis de datos es la correlación lineal de Pearson con la implementación de análisis de componentes principales (PCA) y análisis discriminante mediante el programa Past 3.0, los cuales permitieron determinar los parámetros fisicoquímicos más influyentes sobre la calidad de los ríos. Estos modelos estadísticos consisten en:

- ✓ **Análisis de componentes principales (PCA):** por medio del método PCA, se condensó la información aportada por múltiples variables en solo unos pocos componentes (Caudal, pH, temperatura, conductividad, % de OD, DBO, DQO, SST, color, turbiedad, dureza, alcalinidad, nitritos, nitratos y ortofosfatos). De tal manera que se determinó cuáles son las variables que más están influenciando en el grupo totalitario de variables tomadas, permitiendo depurar datos e inferir sobre posible información futura por medio de la herramienta ofimática Past 3.0 [48]. Esto permite, por un lado, establecer qué parámetros físico-químicos marcan las posibles agrupaciones y, por el otro, optimizar estrategias de muestreo y los costes, indicando variables prioritarias para cada tipología y/o grupo homogéneo.
- ✓ **Análisis Discriminante (AD):** El AD se aplica con fines explicativos y predictivos. En el uso explicativo se trata de determinar la contribución de cada variable clasificadora a la clasificación correcta de cada uno de los individuos u observaciones. En una aplicación predictiva, se trata de determinar el grupo al que pertenece un individuo u observación, en este caso se aplicó para los puntos de monitoreo y muestreos en cuanto a los parámetros fisicoquímicos (Caudal, pH, temperatura, conductividad, % de OD, DBO, DQO, SST, color, turbiedad, dureza, alcalinidad, nitritos, nitratos y ortofosfatos).



## **CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

A continuación, se describen los resultados y análisis obtenidos, en la ejecución metodológica aborda en el presente trabajo.

### **4.1. FASE I: REVISIÓN DOCUMENTAL**

Como resultado de esta fase se obtuvo el material documental relacionado con la evaluación de la variación espaciotemporal de la calidad del agua a través de la puesta en marcha de dos actividades, las cuales se describen a continuación:

Tanto para la actividad uno (Identificación y recolección del material de estudio) como para la actividad dos (Recolección y análisis del material de estudio) para lo cual fue necesario la elaboración de un listado que permitió la colecta de información con referentes bibliográficos respecto al tema. Dentro de los cuales se destaca la investigación del Río San Pedro en México debido a que fue una base para la metodología de regímenes históricos pluviométricos, técnicas de interpolación espacial y estadístico en conjunto con los mapas raster para su debido análisis [1], además de la base de datos local de los Ríos Las Piedras y Piendamó [28] [49] [15] [20], y por último los documentos de la CRC. Dicha tabla permitió además de conocer el tipo de información necesaria, facilitó su visualización y organización de forma cronológica. La adquisición de la documentación se realizó a través de diversos métodos de búsqueda como lo son: consulta en la web, registros y documentos (Ver Anexo 1).

En cuanto el análisis de los referentes bibliográficos antes descritos se utilizó según aplicación a cada una de las fases del presente trabajo lo que permitió identificar en la fase I, la información respecto a este trabajo la cual fue significativa pero desactualizada en algunos sectores tanto en informes internos de la CRC como de la web; respecto a la fase II se encontraron las principales actividades antrópicas por registros de la CRC como las concesiones para agricultura, sector doméstico, industrial y energético, además se resalta que la información de la zona de estudio publica es poca y desactualizada, especialmente para el río las Piendamó y el sector energético, por lo que se sugiere actualizar esta información para las áreas de estudio aferentes a las fuentes. En cuanto al análisis fisicoquímico se encontró una amplia literatura para explicar los comportamientos en sus diferentes tramos al igual que el comportamiento pluvial y las isoyetas generadas con la información base en la fase III para la cual existen artículos y trabajos antecedentes de los comportamientos de los ríos Las Piedras y Piendamó.

Por último, para la fase estadística respecto a los parámetros fisicoquímicos y su régimen pluvial, al igual que los puntos de monitoreo, se realizó una búsqueda del software más apropiado multivariable, con facilidad de acceso y que presenta la automatización en varianza y proyecciones para una mejor comprensión de los comportamientos de las fuentes teniendo en cuenta los múltiples métodos evidenciados en la revisión documental.

## 4.2. FASE II: CARACTERIZACIÓN DE LAS INTERVENCIONES ANTRÓPICAS ASOCIADAS A DIFERENTES TRAMOS DE LOS RÍOS PIENDAMO Y LAS PIEDRAS.

### 4.2.1. Actividad 1. Identificación de información secundaria en relación con intervenciones antrópicas

De acuerdo a la base de datos generada de las bases de datos físicas y digitales de la CRC se obtiene que las intervenciones antrópicas de mayor relevancia son aquellas que hacen referencia a las practicas económicas de la zona de estudio.

#### INTERVENCIONES ANTRÓPICAS AL RIO LAS PIEDRAS

Entre las intervenciones de la cuenca se destacan las registradas en la base de datos de la CRC del 2000 al 2019, destacando las concesiones para abastecimiento con 858.3 LPS y piscícola con 732 LPS, teniendo en cuenta que el sector que se destaca es el último mencionado como se observa en la Tabla 7.

Tabla 7. Concesiones de aguas totales del río Las Piedras por sectores 2000-2019.

CONCESIONES RÍO LAS PIEDRAS	
TIPO DE CONCESION	CAUDAL (LPS)
Uso Agropecuario	2
Uso Industrial	11.5
Uso Piscícola	792
Uso Pecuario	2
Uso de Abastecimiento	858.3
TOTAL	1665.8

Fuente: Adaptada CRC

#### ✓ **Agricultura**

La cuenca Río Las Piedras está dividida geográficamente en tres zonas principales, de acuerdo a la altitud: partes baja, media y alta. Entre estas zonas, existen nueve veredas: Las Huacas, Los Laureles, El Canelo, Quintana, San Juan, Santa Teresa, La Laguna, San Ignacio y San Isidro. Los cultivos principales en la cuenca son maíz, papa y fríjol, así como la mora y las hortalizas, pero el tipo y la cantidad de los cultivos que producen los campesinos dependen en gran medida de la zona de la cuenca donde estén ubicados. Hay una gran diversidad de cultivos en las fincas campesinas, y también hay ganado vacuno, ovino, especies menores y el cultivo de trucha [28].

#### ✓ **Piscícolas**

El impacto ambiental de la actividad acuícola depende en gran medida de la especie, el método de cultivo, la densidad del stock, el tipo de alimentación y las condiciones hidrográficas. Los impactos ambientales se producen tanto en la columna de agua como en el fondo del lecho y sus efectos pueden ser físicos, químicos y biológicos.

Existen 11 concesiones piscícolas con un consumo promedio por concesión de 1-5 LPS y la Piscifactoría El Diviso con 700 LPS, debido a esto se hace énfasis en la última mencionada por su elevado consumo del recurso hídrico y por consiguiente posibles impactos antrópicos ambientales y sanitarios.

La Piscifactoría El Diviso de la vereda Quintana, municipio de Popayán cuenta con sus respectivos registros como se evidencia en el (Anexo 10 del registro interno de la CRC), correspondiente a la evaluación ambiental del vertimiento piscifactoría del año 2017, en el cual presenta el cumplimiento de requerimientos de información solicitados en los trámites por la Corporación Autónoma Regional del Cauca CRC

Con una ubicación a 16 km del casco urbano de la ciudad de Popayán al oriente sobre las estribaciones de la Cordillera Central; sus puntos de georreferencia satelital está enmarcada dentro de las siguientes coordenadas amarradas en la cartografía nacional del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Latitud norte 2° 26' 17.50 "

Latitud oeste 76 ° 26' 8.2 " a una altitud de 2196 m

Los procesos que se desarrollan en las instalaciones de la compañía son la incubación de huevos, el engorde, sacrificio, aislamiento, almacenamiento y comercialización de la trucha. Estas actividades listadas anteriormente generan durante todos los procesos diferentes tipos de aguas residuales, las cuáles son características de estas actividades y son tratadas por unidades sanitarias PTAR, que al final son vertidos al cauce del río Las Piedras Los procesos anteriormente descritos a necesarios para efectuar la actividad producción y comercialización de la misma la cual en un 90% se exporta a mercados de Estados Unidos y Europa [50].

La bocatoma fue construida en el año 1986 por la compañía El Diviso y se encuentra en la parte alta de sus terrenos. Con una cantidad de 550 a 600 litros por segundo en época de invierno y en época de verano desciende hasta 220 litros por segundo aproximadamente para las plantas de producción. el permiso otorgado por la CRC autorizo máxima de captación de agua de 700 litros por segundo, el cual permite deducir que está asignación de caudal satisface los niveles requeridos para sus actividades productivas. A su vez genera a la fecha tres tipos de vertimientos de origen doméstico, industrial y producto de los lodos del estanque de producción [50].

Los tratamientos de la PTAR se caracterizan por una trampa de grasas, captación y depuración, seguido del tanque de laberintos y posteriormente un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) para la depuración final del agua. Para la planta de aguas residuales de tanques de producción, cuenta como tratamiento primario con un drenaje de los tanques del sistema de succión de fondo, la sedimentación y separación de las aguas residuales o decantación primaria y por último en tanques de laberintos depuración de aguas y sedimentos.

**Descripción de la tecnología empleada en el manejo y tratamiento de los vertimientos de las aguas residuales, generados en la piscifactoría:** La planta de la piscifactoría genera 3 tipos de aguas residuales:

1. **Aguas residuales de origen doméstico:** proviene de las cabañas, del casino y de los campamentos, el tratamiento previo que se le realiza a este tipo de residuos consiste en un filtro anaerobio de flujo ascendente FAFA.
2. **Aguas residuales de origen industrial:** tienen su origen en la fase de procesos y están conformadas por: agua de sangre, pequeños residuos biológicos, residuos químicos de jabones y germicidas, una vez realizado el proceso de tratamiento y depuración son vertidos al cauce del río Las Piedras.
3. **Las aguas residuales de los lodos de tanques producto de la truchinaza:** Estas aguas residuales son tratadas por decantación primaria y por último en tanques de laberintos depuración de aguas y sedimentos, que reducen los impactos de los lixiviados de los lodos generados por la cadena comercial de la trucha.

Cómo conclusión la CRC en su informe del funcionamiento y cumplimiento de la Piscifactoría identificó que respecto a la producción y los tratamientos realizados a sus vertimientos, no generan impactos mayores al recurso agua sobre todo de índole irreversible, hay calificación de índole positivo para los puntos de salida y entrega a la cuenca de las piedras [50].

✓ **Domestico**

En la Tabla 8 se observa la concesión para aprovechamiento de uso doméstico del Acueducto Y Alcantarillado De Popayán S.A. E.S.P; puesto que es la principal planta que abastece a la ciudad de Popayán junto a dos fuentes principales para el abastecimiento de agua potable de acuerdo a los registros realizados a través del Sistema único de información SUI, a saber: Cuenca Molino y Cuenca Pisojé.

Tabla 8. Concesión para la PTAP del Río Las Piedras

Nombres Usuario	Nombre Predio	Municipio	Nro. Resolución	Fecha Resolución	Usos Resolución
Acueducto Y Alcantarillado De Popayán S.A. E.S.P.	Planta	Popayán	388	24/04/2003	Abastecimiento: 850 Lps

Fuente Elaboración Propia

## INTERVENCIONES ANTRÓPICAS AL RIO PIENDAMÓ

los sectores económicos presentan la siguiente participación: cultivos de otros productos agrícolas (8,85%); silvicultura, extracción de madera y actividades conexas (3,33%); producción pecuaria y caza incluyendo las actividades veterinarias (1,83%); pesca, producción de peces en criaderos y granjas piscícolas actividades de servicios relacionadas con la pesca (0,08%) [51].

### ✓ **Agricultura**

En el subsector agrícola se destaca la producción de caña, siendo el cultivo de mayor producción en el 2010 con 318.203 toneladas, es importante mencionar la disminución que presenta este producto entre 2010 y 2015, donde disminuyó un 76,37% (TCA), adicionalmente, en los demás años no se logra una producción mayor a 234 toneladas. Por otra parte, otros productos como yuca, plátano, café, piña, mango y cítricos presentaron en el 2010 una producción de más de 1.500 toneladas cada uno, sin embargo, su producción es nula en el periodo 2011-2015 con excepción de la yuca que presenta una baja producción equivalente a 10 toneladas en el 2012, 2013 y 2015, y el café que produce 6 y 3 toneladas en el 2011 y en el 2012, respectivamente [51].

Esta actividad, afecta a los ecosistemas naturales en mayor o menor grado, siendo alguno de sus efectos negativos los siguientes:

- 1. Disminución de la productividad del suelo:** por erosión o compactación, pérdida de materia orgánica, retención hídrica, actividad biológica y salinización.
- 2. Acumulación de contaminantes:** sedimentos, fertilizantes, pesticidas, etc.
- 3. Falta de agua por sobreexplotación:** al no respetar los ciclos naturales que mantienen su disponibilidad.

En cuanto al documento programa de uso eficiente y ahorro del agua de la planta Silvia en el proceso de seguridad y salud en el trabajo y medio ambiente. Contempla que la pequeña central hidroeléctrica Silvia ubicada en el municipio de Silvia en el nororiente departamento del Cauca al suroccidente Colombia, ubicada entre el río Piendamó y la quebrada Manchay, se destacan los subsectores económicos del mismo municipio como lo son el sector piscícola, la agroindustria, sector minero, comercial, servicios que incluyen el turismo financieros y artesanía. De lo anteriormente mencionado es importante destacar que los tres primeros sectores agropecuario, piscícola y agroindustria son los sectores más importantes del municipio a nivel general [52].

En cuanto a las demás actividades son importantes, pero tienen una cobertura mucho más reducida en términos de ofertar real que deben ser evaluados y analizados. En la zona indígena de la subcuenca río Piendamó se determinó la predominancia de los cultivos permanentes en menor porcentaje, en cuanto a la zona no indígena, es decir en la parte media y baja de la subcuenca, se encuentra el predominio de los cultivos permanentes. Respecto a los cultivos permanentes de la zona de indígena, se resaltan el café, plátano, caña, panela, yuca, frutales, flores, tomate, espárragos y flores. En cuanto a los semipermanentes se encuentra la papa, cebolla, junca, maíz, trigo, cebolla, cabezona, ollucos y frijol; resaltando que los cultivos de maíz y papá de esta zona

predominan en la parte media de la subcuenca y los de frijol en el mismo sector y sector suroeste de la Cuenca [52].

### ✓ **Energética**

En la resolución 261 del 01 de abril de 2002 la corporación Autónoma Regional del Cauca en ejercicio de sus funciones legales otorgó la concesión de aguas de la subcuenca del Río Piendamó en el municipio de Silvia departamento del Cauca a la planta de energía denominada electrificadora centrales eléctricas del cauca, con una cantidad de 1500 litros por segundo equivalente al 85.7% de la fuente aforada en 1750 litros por segundo que es remanente disponible de 250 litros por segundo equivalente al 14.3%, se resalta que la capacidad instalada es de 375 Kw desde 1994 fecha en que se efectuó su recuperación y repotenciación [52].

Cuenta con una sección rectangular de 0.92 m de altura por 1.20 m de ancho su longitud es de 880 metros en el tramo de conducción, en cuanto su bocatoma comprende una presa de 12 m de longitud constituida por concreto con una captación lateral rejilla. Posteriormente cuenta con el sistema desarenador tanque descarga, tubería de presión, casa de máquinas, canal descarga o fuga para su posterior aprovechamiento; a una altura de 2661 m.s.n.m.

Es importante el reconocimiento que se realizó en cuanto a la determinación de índice escasez y tasa por uso de la subcuenca del río Piendamó elaborado por la CRC. En dónde se estimó que la parte alta de la Cuenca del municipio de Silvia a la altura de la estación hidrométrica El Cortijo, tuvo un caudal medio mensual de 4.4 m<sup>3</sup>/s dónde se determinó que no existen perjuicios.

La servidumbre del Acueducto está en el marco del proyecto desarrollado en el territorio del Cabildo indígena guambia con un permiso desde el año 2001 por CEDELCA y el Cabildo de guambia consignado en la resolución 036 de 2002.

Donde se estableció respecto al uso y preservación ambiental el compromiso de adelantar establecimiento y mantenimiento de la cobertura del Bosque protector de la parte alta y media de la microcuenca para estabilizar el régimen hidrológico en conformidad con el proyecto visibilizado por la CRC denominado aumento de la cobertura forestal y disminución de áreas afectadas por procesos erosivos en la cuenca del Río Cauca y sus subcuencas incluyendo al Río Piendamó, el cual deberá desarrollarse en forma armónica con el componente ambiental del plan de vida del pueblo Guambiano.

La concesión de aguas de uso público se podrá renovar y prolongar quedando sujeta al pago anual por parte de Vatia SA ESP y en favor de la CRC por los servicios de seguimiento de la concesión de agua de uso público en lo establecido en la resolución 1783 del 2011 y cualquiera que la sustituya. Se resalta que no hubo ninguna oposición, siendo viable la otorgación y la renovación de la presente concesión [52].

✓ **Concesiones de agua**

En cuanto a las captaciones de los Ríos Las Piedras y Piendamó pueden tener repercusiones en la fuente y su entorno según el tipo uso y de acuerdo a la magnitud del proyecto estas pueden generar impactos negativos ambientales y sociales, si superan la capacidad de la fuente.

**Las concesiones del Río Piendamó cuenta con un total de 2230.51 LPS de los cuales se resalta el uso para los sectores energético (Vatia S.A E.S.P.), piscícola y de abastecimiento como se observa en la tabla 9.**

Tabla 9. Concesiones de aguas totales del río Piendamó por sectores 2000-2019.

<b>CONCESIONES RÍO PIENDAMÓ</b>	
<b>TIPO DE CONCESION</b>	<b>CAUDAL (LPS)</b>
Uso Agropecuario	0.7
Uso Industrial	4
Uso Piscícola	425.61
Uso Energético	1500
Uso para riego y silvicultura	1.4
Uso Pecuario	16.4
Uso de Abastecimiento	282.4
<b>TOTAL</b>	<b>2230.51</b>

Fuente: Adaptada CRC

✓ **Domestico**

Para la Cuenca del Río Piendamó las Plantas de potabilización que se observan en la tabla 10 son las que abastecen la mayoría de la población del corredor de la fuente.

Tabla 10. Plantas de Tratamiento de Agua potable del Río Piendamó

<b>Nombres Usuario</b>	<b>Nombre Predio</b>	<b>Municipio</b>	<b>Nro. Resolución</b>	<b>Fecha Resolución</b>	<b>Usos Resolución</b>
APC - Acueducto Piendamó Morales Organización Autorizada	Piedragrande	Silvia	21	29/06/2010	Abastecimiento: 70 Lps

Empresa De Acueducto Y Alcantarillado De Silvia E.A.A.S E.S.P. En Liquidación	Área urbana y corregimientos	Silvia	8715	22/03/2016	Abastecimiento: 30 Lps
Asociación De Usuarios Del Acueducto De La Vereda El Hogar Pinar En Liquidación	El Mirador	Piendamó	5605	14/07/2014	Abastecimiento: 12 Lps

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.2. Actividad 2. Recopilación de información secundaria en referencia a documentos, reportes y registros históricos de la calidad del agua

##### INFORMACIÓN SECUNDARIA DEL RIO LAS PIEDRAS

###### ✓ Concesiones de agua:

Mediante la revisión de información secundaria contemplada en los archivos de la CRC se identificaron las concesiones correspondientes a las fuentes hídricas estudiadas.

En la tabla 11 se ilustran los aspectos más relevantes respecto a las concesiones otorgadas por la autoridad ambiental para el río Las Piedras

Tabla 11. Concesiones de aguas del río Las Piedras 2000-2019.

Municipio Captación	Sub-cuenca	Subzona	Tipo Captación	Área Captación (m <sup>2</sup> )	Estado Captación	Q captación (Lps)	Usos
Popayán	Piedras	Alto Río Cauca	Captación Móvil Con Elevación Mecánica	51,00	Bueno	1	Industrial
Popayán	Piedras	Alto Río Cauca	Toma Lateral	10,00	Regular	2	Piscícola
Popayán	Piedras	Alto Río Cauca	Toma Lateral	11,00	Regular	2	Piscícola
Popayán	Piedras	Alto Río Cauca	Toma Lateral	2,50	Regular	3	Piscícola
Popayán	Piedras	Alto Río Cauca	Toma De Rejilla	2,50	Regular	2	Piscícola



El Tambo	Piedras	Alto Río Cauca	Gravedad	0,09	Bueno	68	Piscícola
Popayán	Piedras	Alto Río Cauca	Gravedad			850	Abastecimiento
Popayán	Piedras	Alto Río Cauca	Toma De Rejilla	0,30	Regular	2	Piscícola
Popayán	Piedras	Alto Río Cauca				700	Piscícola
Popayán	Piedras	Alto Río Cauca	Cámara De Toma Directa	0,01	Bueno	10	Industrial
Popayán	Piedras	Alto Río Cauca	Cámara De Toma Directa	0,01	Bueno	1	Piscícola
Popayán	Piedras	Alto Río Cauca	Cámara De Toma Directa	0,01	Bueno	1	Piscícola
Popayán	Piedras	Alto Río Cauca	Bombeo	0,01	Bueno	5	Piscícola
Popayán	Piedras	Alto Río Cauca	Toma Lateral	1,00	Bueno	5	Piscícola
Suárez	Piedras	Alto Río Cauca	Presa De Derivación	0,01	Regular	0.5	Industrial
El Tambo	Piedras	Alto Río Cauca				2	Pecuario
El Tambo	Piedras	Alto Río Cauca				1	Piscícola
Popayán	Piedras	Alto Río Cauca				3	Doméstico
Popayán	Piedras	Alto Río Cauca				1.5	Doméstico
Popayán	Piedras	Alto Río Cauca				0.1	Agropecuaria
Popayán	Piedras	Alto Río Cauca				3.3	Doméstico
Popayán	Piedras	Alto Río Cauca				0.5	Doméstico
Purace	Piedras	Alto Río Cauca				2	Agropecuaria

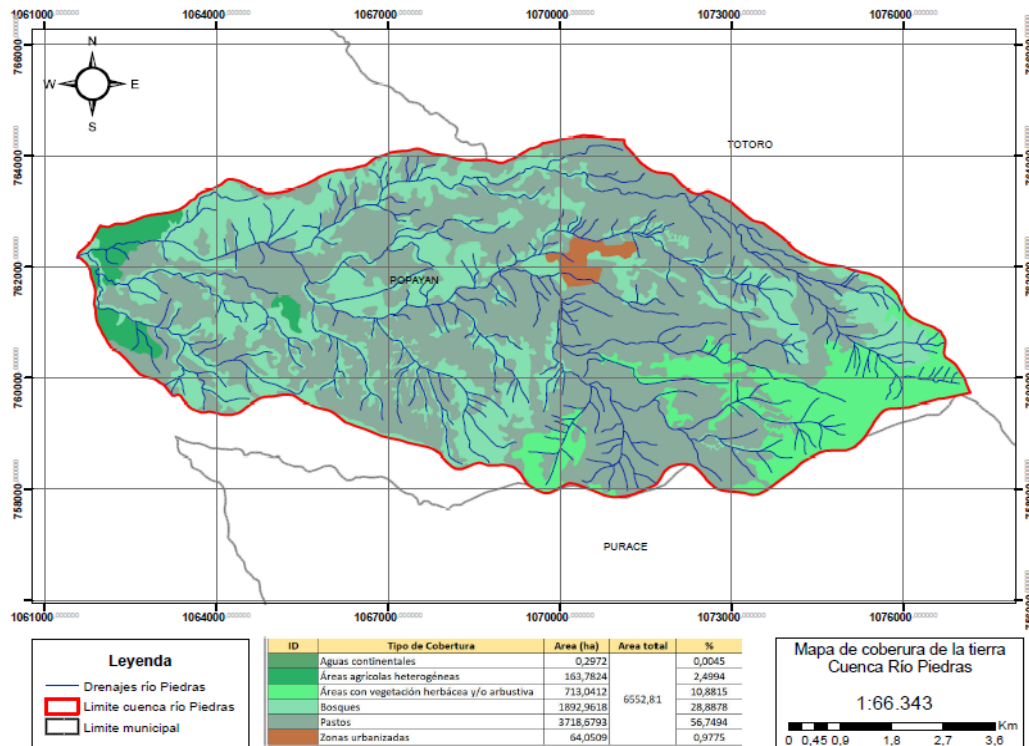
**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la CRC.

El Río Las Piedras se categoriza como aguas de dominio público, es decir, que las personas de tipo: naturales o jurídicas, públicas o privadas tienen derecho al aprovechamiento de dicho recurso [53].

La Corporación Autónoma Regional del Cauca ha otorgado 23 concesiones de agua correspondientes al río Las Piedras de las cuales se destacan usos como: abastecimiento doméstico, piscícolas e industrias, las concesiones otorgadas por la autoridad ambiental garantizan la conservación y manejo adecuado de las aguas y sus cauces, asegurando el uso racional del agua, de manera tal que esta se pueda aprovechar y distribuir equitativamente a los habitantes aledaños a las fuentes hídricas, teniendo en cuenta cuál es la oferta de agua existente y cuál es la demanda [53].

Además, es importante tener en cuenta la composición de cobertura de la tierra para las dos fuentes hídricas de estudio, ya que esta permite reconocer la capacidad de recuperación de las fuentes en cuanto calidad y cantidad del recurso. Por este motivo, a continuación, se muestran el mapa de cobertura vegetal para el año 2018 en la Figura 4 donde se observa una vegetación boscosa, por lo que se puede inferir una amplia zona de protección y/o amortiguación respecto a las diversas actividades antrópicas que se practican a su alrededor.

Figura 4. Mapa de cobertura vegetal del río Las Piedras.

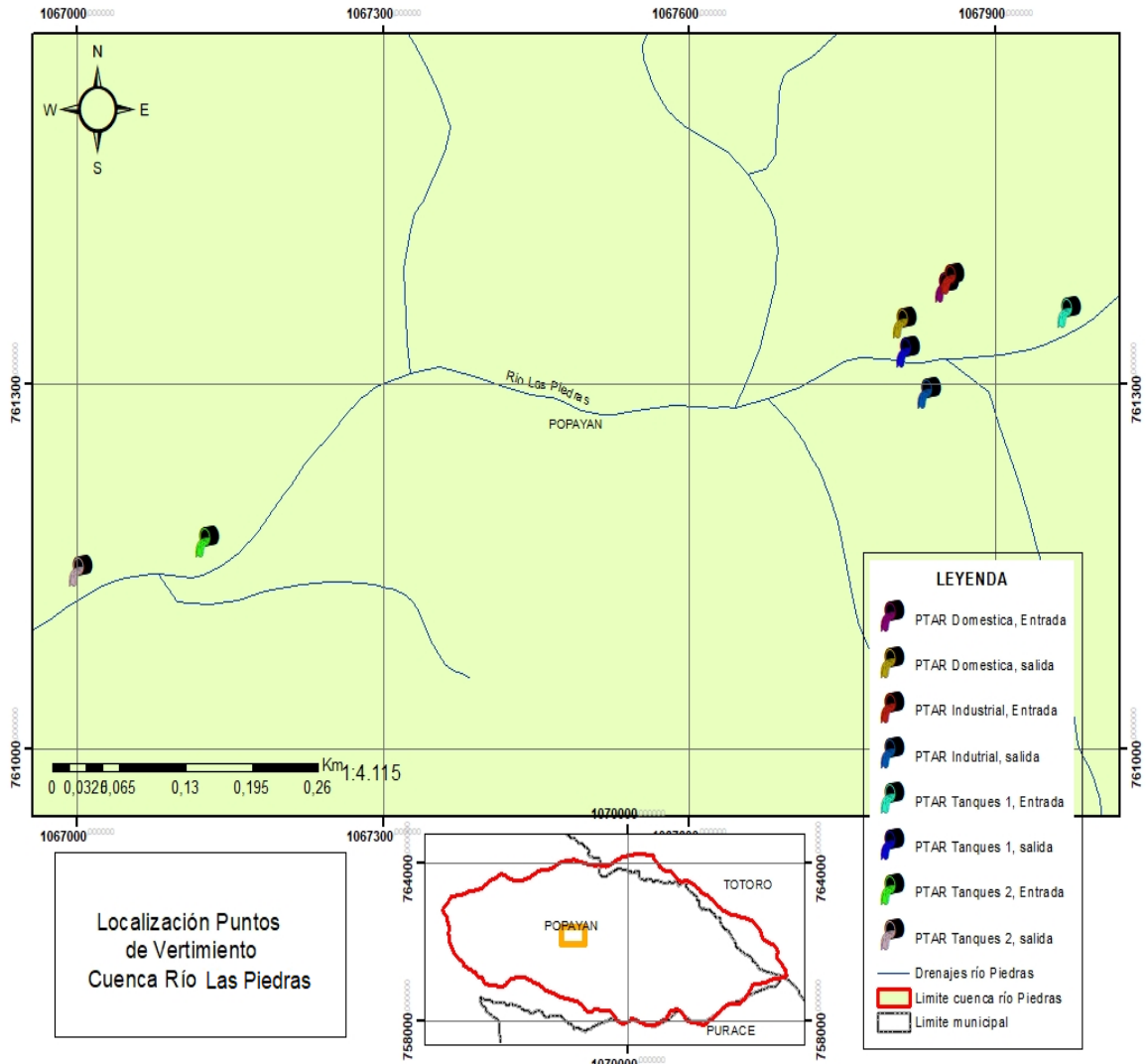


Fuente: Elaboración propia, con datos de la CRC.

✓ **Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV):**

Teniendo en Cuenta el PSMV de la Cuenca se obtuvo sus respectivos puntos de vertimientos como se observa en la Figura 5.

Figura 5. Puntos de Vertimiento del Río Las Piedras.



En la tabla 12 se identifica la calidad del agua proveniente de las PTAR Industrial y domestica de la Piscifactoría.

Tabla 12. Vertimientos de río Las Piedras.

PUNTO VTO	N	W	a.s.n.m	FUENTE RECEPTORA	CALIDAD DEL AGUA	Q MEDIO VTO
PTAR D	2°26'16.36"	76°28'04.50"	2.272	Río Las Piedras	BUENA	0.10 LPS
PTAR I	2°26'14.48"	76°28'10.19"	2.266	Río Las Piedras	BUENA	0.56 LPS

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la CRC.

Estos residuos se generan en los tanques de producción de la piscifactoría, son manejados mediante unos tanques de laberinto de decantación, los cuales están dotados de rejillas que permiten la filtración de las aguas que pasan de un laberinto hacia otros. Producto de esta operación se obtiene la depuración y la limpieza de las aguas de los lodos de los tanques, las cuales hacen su vertimiento al río Las Piedras.

Los vertimientos directos son la mayor amenaza al recurso hídrico por la introducción incontrolada de contaminantes, ya sean de origen doméstico, comercial e industrial; provocando un impacto a corto y largo plazo sobre la fuente receptora. Estas descargas generan problemas ambientales como la alteración en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua, con el consecuente efecto sobre la salud pública.

Los vertimientos industriales generados en la piscifactoría El Diviso se caracterizan por tener una alta carga contaminante de compuestos orgánicos los cuales ocasionan malos olores en los cuerpos de agua receptores, coloración oscura y posibles efectos de eutrofización. Asimismo, las poblaciones que realizan captaciones aguas abajo del vertimiento pueden contraer problemas en su salud. Lo anterior, debido a que las aguas residuales son la principal fuente de microorganismos patógenos que se transfieren a través del ambiente y que llegan a la población particularmente en el agua contaminada que se usa para beber, en cultivos de vegetales, en la elaboración de comida, para lavar, o en diversos usos recreativos.

Por último, es importante resaltar que a pesar de que la piscifactoría cumpla con los valores límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 0631 de 2015 para las diferentes cargas contaminantes evaluadas, estas descargas a largo plazo pueden ocasionar alteración a las propiedades físicas, químicas y microbiológicas a los ecosistemas que se encuentran alrededor del cuerpo de agua receptor. Por ende, resulta imprescindible realizar monitoreos periódicos a los afluentes, con el objetivo de garantizar una sostenibilidad ambiental.

## INFORMACIÓN SECUNDARIA DEL RIO PIENDAMÓ

En la tabla 13 se ilustran los aspectos más relevantes respecto a las concesiones otorgadas por la autoridad ambiental para el río Piendamó.

Tabla 13. Concesiones de aguas del río Piendamó 2000-2019

Municipio Captación	Sub Cuenca	Subzona	Tipo Captación	Área Captación	Estado Captación	Q captación (Lps)	Usos
Silvia	Río Piendamó	Río Piendamó	Captación Móvil Con Elevación Mecánica	0,00	Bueno	1	Industrial
Silvia	Río Piendamó	Río Piendamó	Toma De Rejilla	1,00	Regular	2	Doméstico
Silvia	Río Piendamó	Río Piendamó				70	Abastecimiento
Silvia	Río Piendamó	Río Piendamó	Toma lateral			30	Abastecimiento
Silvia	Río Piendamó	Río Piendamó	Bombeo			20	Agrícola
Piendamó	Río Piendamó	Río Piendamó	No Existente	0,01	Bueno	8	Piscícola
Silvia	Río Piendamó	Río Piendamó				231	Piscícola
Silvia	Río Piendamó	Río Piendamó				110	Piscícola
Silvia	Río Piendamó	Río Piendamó				1500	Energía
Piendamó	Río Piendamó	Río Piendamó	Bombeo	0,10	Bueno	0.7	Riego, silvicultura y pecuario
Cajibío	Río Piendamó	Río Piendamó	Cámara De Toma Directa	0,01	Bueno	2	Piscícola
Morales	Río Piendamó	Río Piendamó	Captación Mixta	1,00	Bueno	1	Riego y silvicultura
Silvia	Río Piendamó	Río Piendamó	Presa De Derivación	1,70	Regular	3	Piscícola

Cajibío	Río Piendamó	Río Piendamó				1	Abastecimiento
Morales	Río Piendamó	Río Piendamó				3	Industrial
Suárez	Río Piendamó	Río Piendamó	Presa De Derivación	0,01	Regular	14	Abastecimiento
Piendamó	Río Piendamó	Río Piendamó				1	Agrícola
Piendamó	Río Piendamó	Río Piendamó				0.4	Agrícola
Piendamó	Río Piendamó	Río Piendamó				0.5	Agrícola
Piendamó	Río Piendamó	Río Piendamó				12	Abastecimiento
Piendamó	Río Piendamó	Río Piendamó				1	Agrícola
Piendamó	Río Piendamó	Río Piendamó				4.9	Piscícola
Piendamó	Río Piendamó	Río Piendamó				14.9	Pecuario
Piendamó	Río Piendamó	Río Piendamó				0.7	Agropecuario
Silvia	Río Piendamó	Río Piendamó				2	Agrícola
Silvia	Río Piendamó	Río Piendamó				1	Agrícola
Piendamó	Río Piendamó	Río Piendamó				1.5	Pecuario
Sotará (Paispamba)	Río Piendamó	Río Piendamó				1.4	Abastecimiento
Sotará (Paispamba)	Río Piendamó	Río Piendamó				12	Doméstico
Totoró	Río Piendamó	Río Piendamó				2	Doméstico

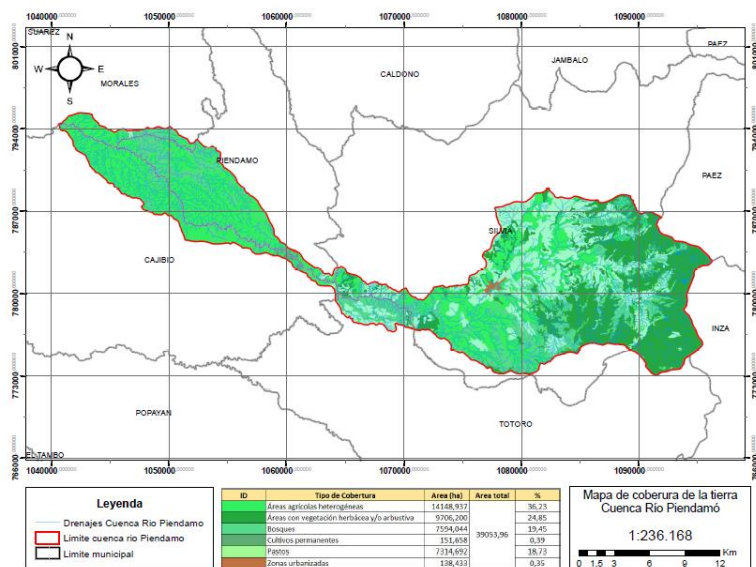
Silvia	Río Piendamó	Río Piendamó	Toma Lateral	1,00	Malo	29.71	Piscícola
Silvia	Río Piendamó	Río Piendamó	Toma Sumergida	1,00	Bueno	138	Abastecimiento doméstico en los casos que requiera derivación
Silvia	Río Piendamó	Río Piendamó	Presa de derivación			37	Piscícola
Piendamó	Río Piendamó	Río Piendamó	Cámara de toma directa		Bueno	1	Agrícola

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la CRC.

Además de ser una fuente de dominio público, esta se caracteriza por las captaciones que ha otorgado La Corporación Autónoma Regional del Cauca con un total de 34 concesiones de agua para el río Piendamó. Para usos como: abastecimiento doméstico, pequeñas centrales hidroeléctricas, piscícolas e industrias, las concesiones otorgadas por la autoridad ambiental garantizan la conservación y manejo adecuado de las aguas y sus cauces, asegurando el uso racional del agua, de manera tal que esta se pueda aprovechar y distribuir equitativamente a los habitantes aledaños a las fuentes hídricas, teniendo en cuenta cuál es la oferta de agua existente y cuál es la demanda [53].

Por otra parte, la composición de cobertura de la tierra indica la capacidad de recuperación de las fuentes en cuanto calidad y cantidad del recurso. Como se evidencia en la figura 6, la cuenca cuenta con vegetación boscosa, por lo que se puede inferir que tiene una vasta zona de protección y/o amortiguación respecto a las diversas actividades antrópicas.

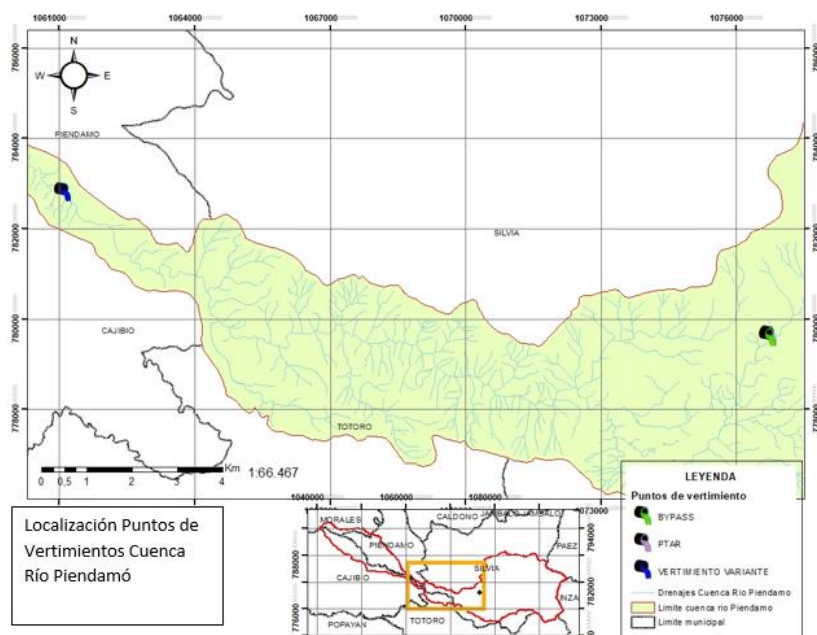
Figura 6. Mapa de cobertura vegetal del río Piendamó.



Fuente: Elaboración propia, con datos de la CRC.

✓ **Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV):**  
Teniendo en Cuenta el PSMV de la Cuenca de obtuvo sus respectivos puntos de vertimientos como se observa en la Figura 7.

Figura 7. Puntos de vertimientos del Río Piendamó



Fuente: Elaboración Propia



Respecto a la información contemplada en el PSMV de los municipios de Piendamó y Silvia se obtiene la tabla 14.

Tabla 14. Vertimientos del río Piendamó.

PUNTO VTO	N	W	a.s.n. m	FUENTE RECEPTORA	ÁREA AFERENTE	CALIDAD DEL AGUA	Q MEDIO VTO 2015	
Vto variante panamericana	2°39'15"	76°31'42"	1840	RÍO PIENDAMÓ	Cubre el 22,8 del área total de la cabecera municipal, que corresponde a una población de 1355 hab	BUENA	1.4 LPS	PIENDAMO
Vto PTAR Silvia	779631,08	1076719,1	3115	RÍO PIENDAMÓ	Población aferente 5993	BUENA	19,8 LPS	
Vto Bypass Silvia	779604,9	1076699,2	3115	RÍO PIENDAMÓ	Población aferente 4571	REGULAR	12,6 LPS	SILVIA

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de la CRC.

De acuerdo a la tabla anterior se determina que los vertimientos arrojados al río Piendamó se categorizan como vertimientos de tipo domésticos, estos provienen de vertimientos municipales de Piendamó y de la planta de tratamiento de aguas residuales de Silvia, tratando los residuos líquidos de los municipios de Piendamó y Silvia respectivamente. Cabe resaltar que el vertimiento del Bypass de la PTAR de Silvia no cumple con los parámetros límites máximo permisibles estipulados en la Resolución 0631 de 2015, debido a que en el informe de monitoreo realizado por la Corporación se evidenciaron altos niveles de cargas contaminantes correspondientes a los parámetros de: DBO<sub>5</sub>, DQO, SST G y A (Tabla 15).

Lo anterior, dado a que: La PTARD tiene un buen mantenimiento de todos los componentes que comprenden las diferentes operaciones unitarias del sistema y sus zonas verdes aledañas, sin embargo, el total del vertimiento no está ingresando a la PTARD, es decir un equivalente aproximado al 50% del total del caudal proveniente del alcantarillado. En pro a las políticas ambientales y a la conservación del medio ambiente, se planteó el Acuerdo 019 de 2019 por medio del cual se establecieron las metas de cargas contaminantes por parte de la CRC, y según lo acordado, se espera que la empresa realice en un horizonte de 2 a 3 años las respectivas adecuaciones y ampliaciones para tratar la totalidad del caudal de aguas residuales municipales.

Tabla 15. Carga contaminante generada By Pass y su cumplimiento con Res. 631 de 2015

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	RESOLUCIÓN 0631/2015 (Valores límites máximo permisibles)	CONFORMIDAD LEGAL
Temperatura	°C	17,9	40	Cumple
pH	Unidades de pH	7,39	6,00 a 9,00	Cumple
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	258	180,00	No cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L O <sub>2</sub>	117	90,00	No cumple
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	103	90,00	No cumple
Grasas y aceites (GyA)	mg/L	32,6	20,00	No cumple
Sólidos sedimentables (SSED)	mL/L	0,2	5,00	Cumple

**Fuente:** Informe de monitoreo de vertimiento Planta de tratamiento de Aguas Residuales PTARD y fuente hídrica superficial receptora río Piendamó Municipio de Silvia del 19 de mayo 2020.

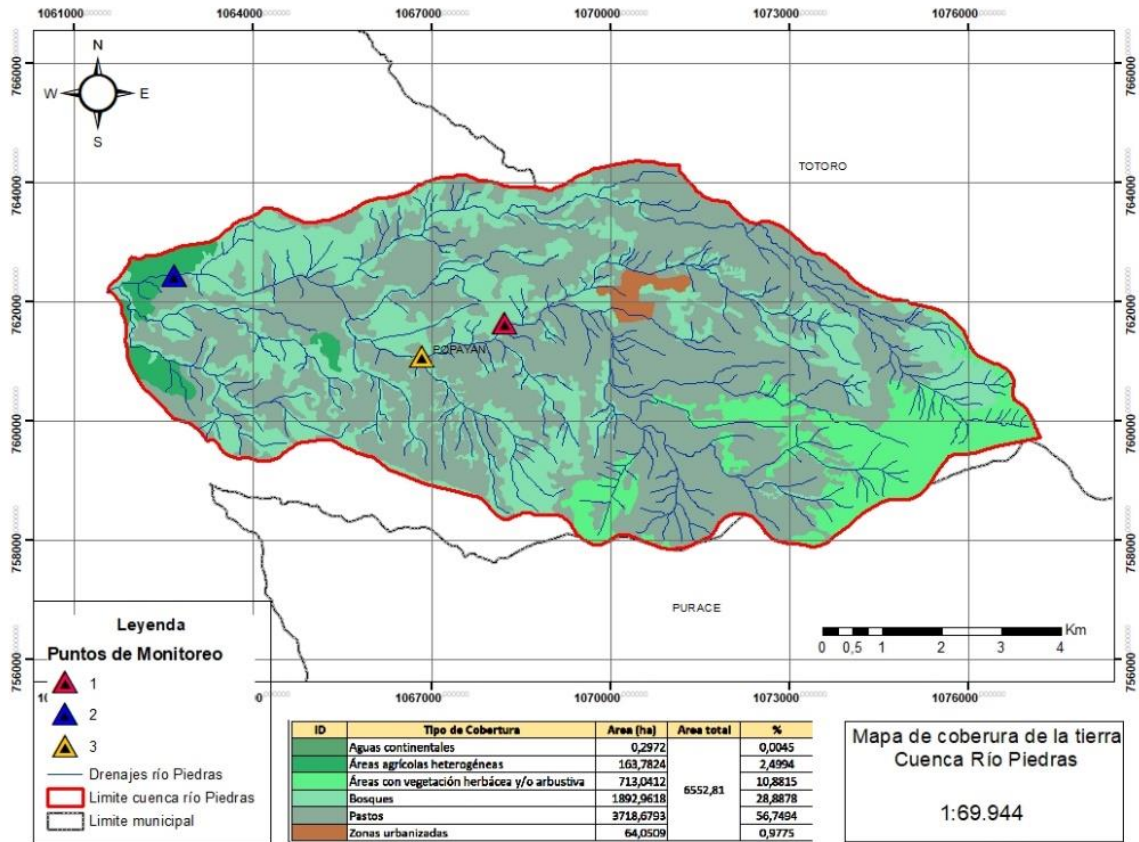
#### 4.2.3. Actividad 3. Preparación de datos fisicoquímicos y microbiológicos 2017-2019.

Para las cuencas de los ríos Las Piedras y Piendamó se contó con tres puntos de monitoreo como se observa en la figura 8 y 9 para cada fuente, teniendo en cuenta la priorización de la CRC en el cual se tiene en cuenta tanto los vertimientos a las subcuencas como las concesiones otorgadas para los cuales se tuvieron en cuenta para la toma de datos In situ como georreferenciación, caudal (m<sup>3</sup>/s), altura (a.s.n.m), al igual que los siguientes parámetros obtenidos por la CRC: pH, Temperatura (°C), conductividad (µS/cm), oxígeno disuelto (mg/L), DBO (mg/L), DQO (mg/L), SST (mg/L), Color (UPC), turbiedad (UNT), dureza (mgCaCO<sub>3</sub>/L), alcalinidad (mgCaCO<sub>3</sub>/L), nitritos (mg NO<sub>2</sub>-N/L), nitratos (mg NO<sub>3</sub>-N/L), ortofosfatos (mg PO<sub>4</sub>-P/L), coliformes totales (NMP/100ml), coliformes fecales (NMP/100ml); los datos antes mencionados de cada una de las campañas realizadas entre 2017-2019.

En cuanto al Río Las Piedras tuvo los siguientes puntos de monitoreo para la calidad del agua (Figura 8).

- Antes de Piscifactoría El Diviso
- Después de Piscifactoría El Diviso
- Puente vía Quintana

Figura 8. Puntos de Monitoreo de Calidad de Agua - Río Las Piedras

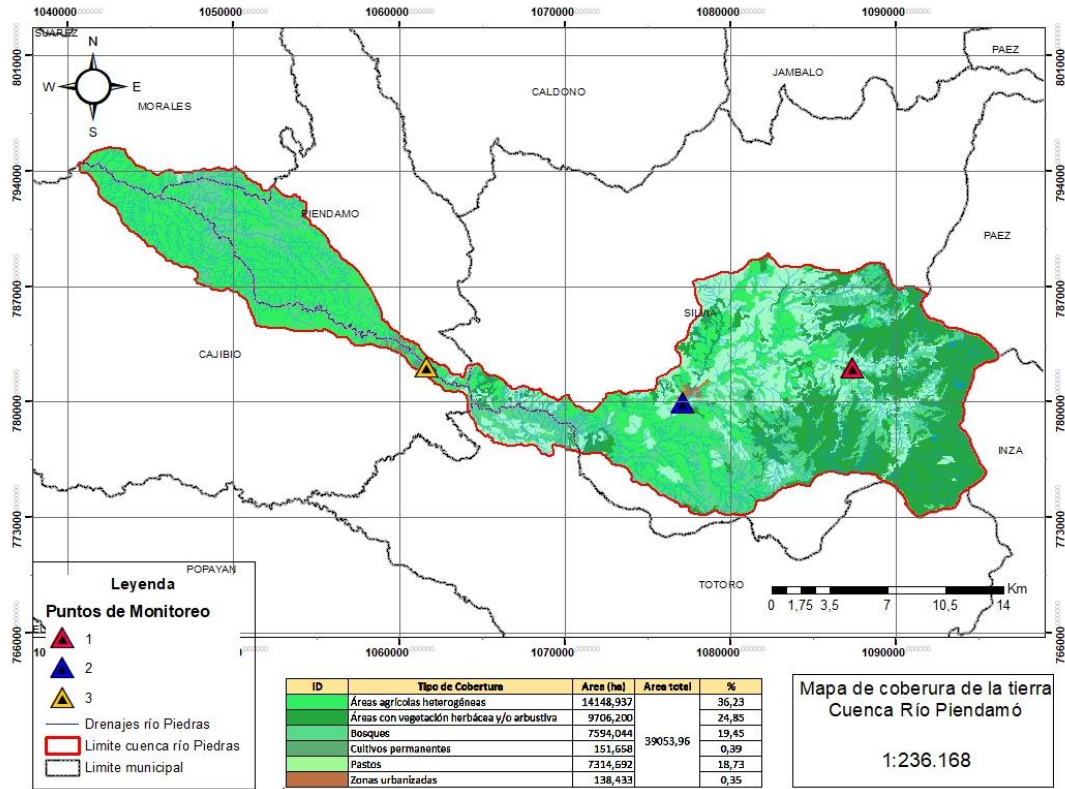


Fuente: Elaboración Propia

El anexo 2 realizado en Microsoft Excel office 2019 consta de una tabla en donde se observa que se contó con los siguientes puntos de monitoreo (Figura 9) para la calidad del agua del Río Piendamó.

- Después de Quebrada Ñimbe
- Después de Silvia
- Puente Panamericana

Figura 9. Puntos de Monitoreo de Calidad de Agua - Rio Piendamó



Fuente: Elaboración Propia

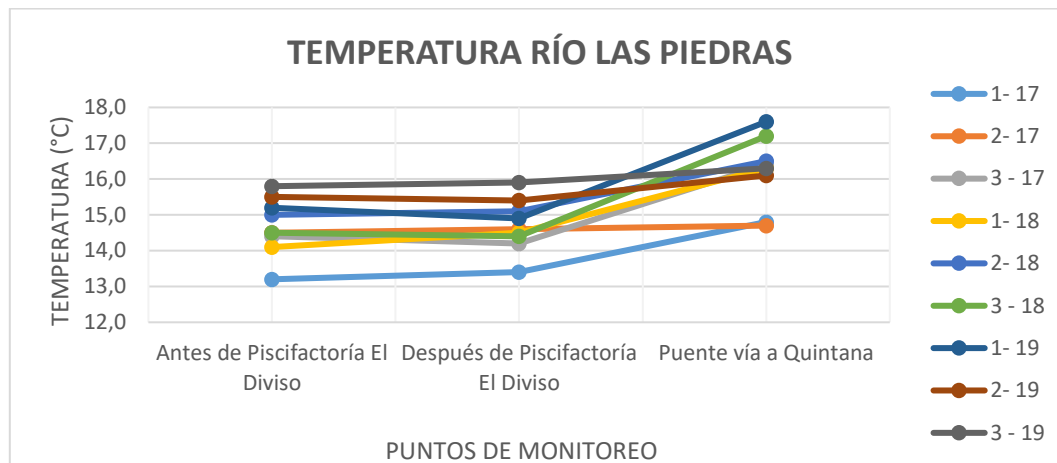
## PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL RÍO LAS PIEDRAS

### 1. TEMPERATURA

El comportamiento de la temperatura es consecuencia de la ubicación geográfica, altitud sobre el nivel del mar y las características climáticas que representan el departamento del Cauca, en este caso en la fuente del Río Las Piedras se no se obtiene una temperatura mayor a los 17,5 °C como se observa en la figura 10, las variaciones de este parámetro no son significativas debido a la ausencia de descargas industriales de gran volumen y con alta carga contaminante, así como de otras actividades socioeconómicas que puedan afectar la temperatura del agua.

En referencia a la Tabla 16 existe un aumento de temperatura en el punto ubicado en el puente vía quintana, debido a que se encuentra después de la piscifactoría y que en este tramo pueden existir más vertimientos no registrados a lo que se le puede atribuir el aumento de temperatura en este punto de muestreo ya que los vertimientos modifican la temperatura natural de las fuentes hídricas ya sean de tipo agrícola, piscícola o industrial [21].

Figura 10. Comportamiento de la temperatura en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16. Comportamiento de la temperatura en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras

TEMPERATURA RIO LAS PIEDRAS (°C)				
AÑO	CAMPAÑA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Antes de Piscifactoría El Diviso	Después de Piscifactoría El Diviso	Puente vía a Quintana
2017	1-17	13.2 ° C	13.4 ° C	14.8 ° C
	2-17	14.5 ° C	14.6 ° C	14.7 ° C
	3-17	14.4 ° C	14.2 ° C	16.4 ° C
2018	1-18	14.1 ° C	14.5 ° C	16.3 ° C
	2-18	15 ° C	15.1 ° C	16.5 ° C
	3-18	14.5 ° C	14.4 ° C	17.2 ° C
2019	1-19	15.2 ° C	14.9 ° C	17.6 ° C
	2-19	15.5 ° C	15.4 ° C	16.1 ° C
	3-19	15.8 ° C	15.9 ° C	16.3 ° C

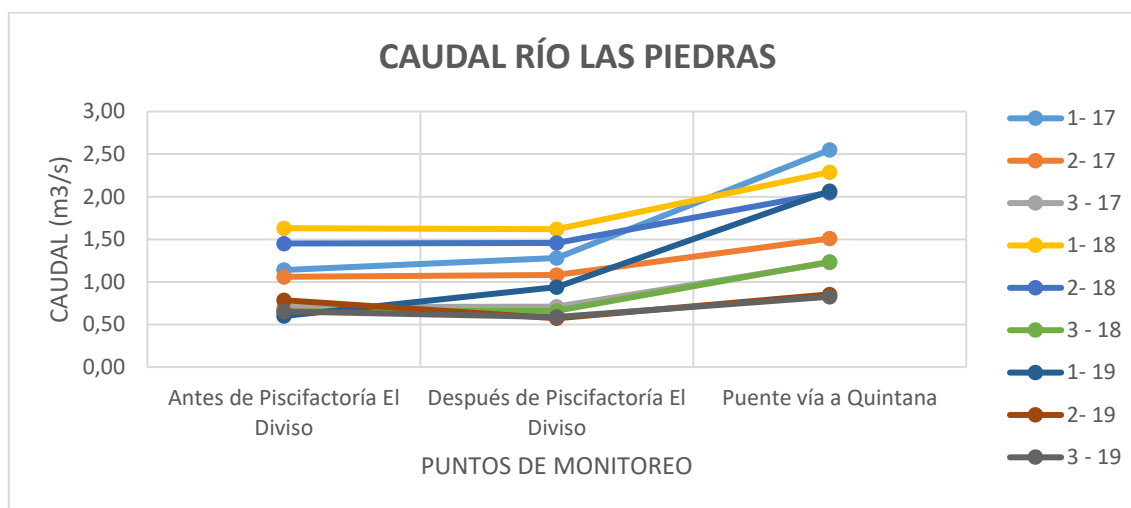
Fuente: Elaboración Propia

## 2. CAUDAL

En la Figura 11 y Tabla 17 se representa el comportamiento del caudal del Río Las Piedras donde se observa el aumento de su caudal después de la piscifactoría, lo que se atribuye a la descarga de vertimientos de origen piscícola, al igual que del sector agrícola y domestico; igualmente se destacan las campañas 1 y 2 con respecto a los puntos de

monitoreo del antes y después del diviso en temporada húmeda como se presenta en las isoyetas mes de (abril y junio) respectivamente, ya que como se observa en la gráfica existen fuertes precipitaciones en esta época, es decir, en la tercera campaña de monitoreo a través de los años 2017-2019. Además, los máximos registros de caudales están relacionados con la desembocadura de pequeñas quebradas a las fuentes hídricas estudiadas.

Figura 11. Comportamiento del Caudal en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17. Comportamiento del Caudal en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras

CAUDAL RIO LAS PIEDRAS (m³/s)				
AÑO	CAMPAÑA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Antes de Piscifactoría El Diviso	Después de Piscifactoría El Diviso	Puente vía a Quintana
2017	1- 17	1.14	1.28	2.55
	2- 17	1.06	1.08	1.51
	3 - 17	0.70	0.71	1.23
2018	1- 18	1.63	1.62	2.29
	2- 18	1.45	1.46	2.05
	3 - 18	0.65	0.66	1.24
2019	1- 19	0.6	0.939	2.067
	2- 19	0.784	0.573	0.854
	3 - 19	0.653	0.588	0.826

Fuente: Elaboración Propia

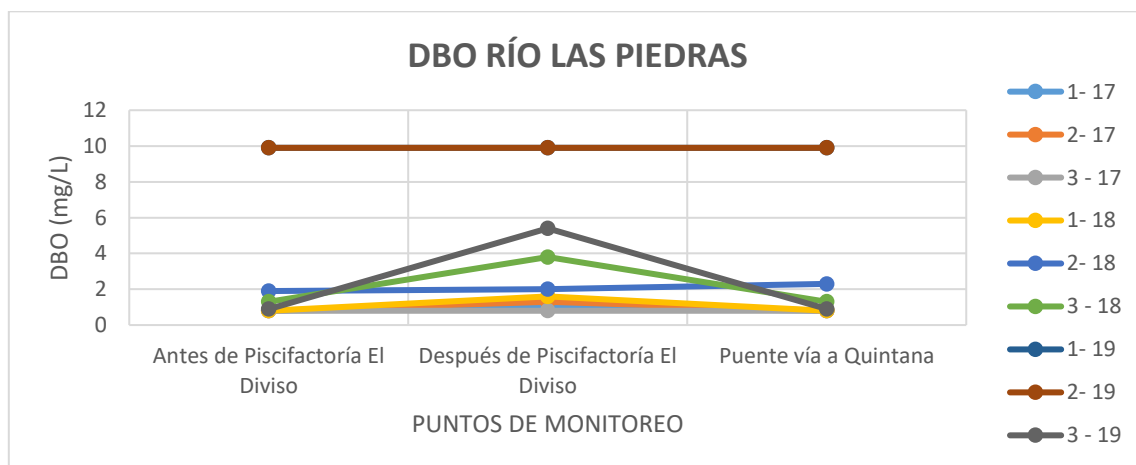
### 3. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)

Respecto a la Figura 12 y Tabla 18, la cual representa los valores obtenidos de DBO en el río Las Piedras, se logra observar datos por encima del rango (>7 mg/L) lo cual se atribuye al efecto que tiene el incremento de la temperatura del aire sobre la calidad del agua en hidrosistemas superficiales, para los cuales se ha demostrado una relación directa con la demanda bioquímica de oxígeno [54].

Se destaca el incremento de DBO después de la piscifactoría El Diviso, puesto que estos vertimientos cuentan con una alta carga orgánica, según las concesiones de esta fuente hídrica el uso piscícola presenta una captación de 792 LPS, lo que significa que así mismo se vierte una cantidad alta de este sector económico caracterizado en la zona de estudio, así mismo se debe tener en cuenta que el último registro de la evaluación ambiental del vertimiento piscifactoría es del año 2017, por lo que es importante actualizar este estudio.

También se resalta que el comportamiento de este parámetro vario considerablemente en las tres campañas del 2019, puesto que presentan sus mayores valores, lo que se puede atribuir a fallas en los sistemas de tratamiento de los sectores productivos de la zona, toma - registro de muestreos y/o nuevos generadores ARD que incrementen este parámetro; en la segunda campaña del mes de agosto se tuvo un incremento significativo del 10 mg/L en los diferentes puntos de muestreo disminuyendo el oxígeno presente en la fuente y alterando la biota, debido a ello se hace un llamado a las entidades competentes para un control sobre los vertimientos localizados en esta zona.

Figura 12. Comportamiento de la DBO en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18. Comportamiento de la DBO en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras

DBO RIO LAS PIEDRAS (mg/L O <sub>2</sub> )				
AÑO	CAMPAÑA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Antes de Piscifactoría El Diviso	Después de Piscifactoría El Diviso	Puente vía a Quintana
2017	1- 17	0.8	1	0.8
	2- 17	0.8	1.3	0.8
	3 - 17	0.8	0.8	0.8
2018	1- 18	0.8	1.6	0.8
	2- 18	1.9	2	2.3
	3 - 18	1.3	3.8	1.3
2019	1- 19	9.9	9.9	9.9
	2- 19	9.9	9.9	9.9
	3 - 19	0.89	5.4	0.9

Fuente: Elaboración Propia

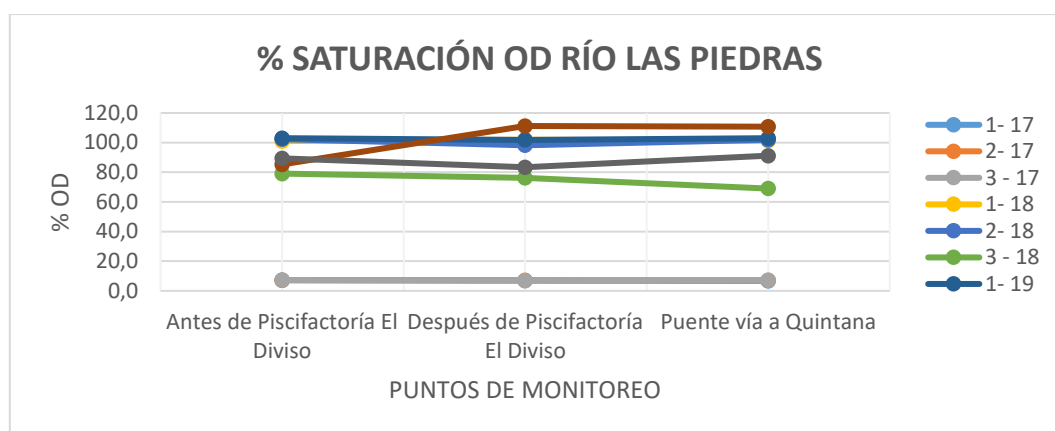
#### 4. OXÍGENO DISUELTO

En la figura 13 y Tabla 19, se observa el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en las distintas temporadas de estudio, en base a ello, se determina que aquellos valores que se encuentran por encima del 90% fueron tomados en temporadas húmedas, es decir en épocas de lluvia (fenómeno de la niña). Este parámetro es inversamente proporcional a la temperatura debido a que en temporadas secas donde se presentó una elevación de la misma, se evidenciaron bajos OD los cuales oscilan entre el 6,1 y 8,6%.

Por otro lado, los comportamientos descritos anteriormente o la variabilidad presentada se deben principalmente a la hora de pruebas o monitoreos, pendientes (cuenca alta, media y baja), temporadas y caudal. En temporada húmeda, se observa un Porcentaje de Oxígeno Disuelto (OD) por encima del 90% en cuenca alta para ambos ríos, y descende paulatinamente conforme cuenca media y baja. Estas pendientes representadas por cada cuenca, junto con mayor caudal de las aguas, facilita el proceso de oxigenación, donde estos altos valores de OD favorecen la autodepuración del agua.



Figura 13. Comportamiento del Porcentaje de OD en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 19. Comportamiento del Porcentaje de OD en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras

% OD RIO LAS PIEDRAS				
AÑO	CAMPAÑA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Antes de Piscifactoría El Diviso	Después de Piscifactoría El Diviso	Puente vía a Quintana
2017	1- 17	7.2	6.9	6.7
	2- 17	7.2	7.2	7.2
	3 - 17	7.3	6.9	7.2
2018	1- 18	101	102	101.2
	2- 18	102.3	98.2	101.9
	3 - 18	79.1	76.3	69
2019	1- 19	103	101.8	102.9
	2- 19	85.3	111.2	110.8
	3 - 19	89.3	83.4	91.19

Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, en los tres puntos de monitoreo de la zona de estudio fueron llevados a cabo en horas de la mañana, donde el agua está más fría y por consiguiente contiene mayor oxígeno disuelto. No obstante, en temporada seca, la disminución del POD concuerda con los valores bajos de caudal y por consiguiente una menor aireación del medio.

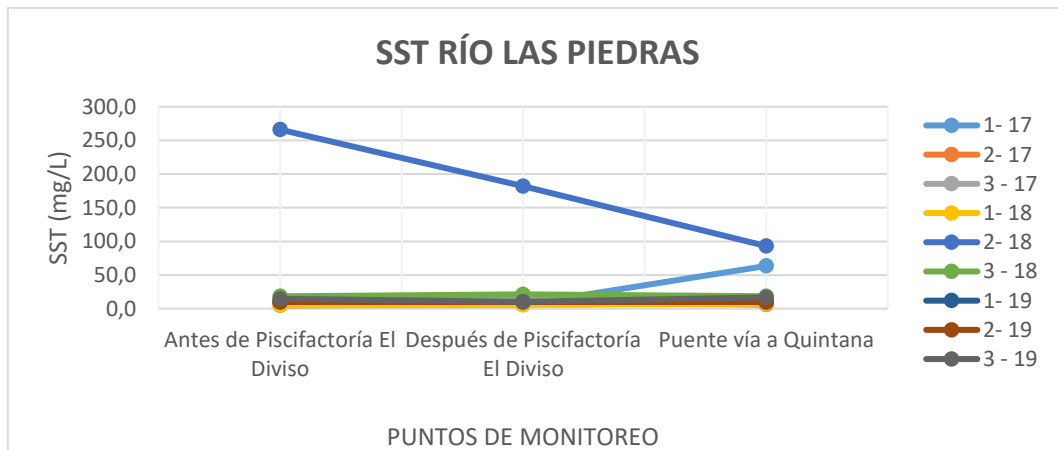
Del mismo modo es importante resaltar que los valores óptimos de OD se encuentran entre el 60 - 100%, dado a que estas son las condiciones adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.

## 5. SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Como se ilustra en la Figura 14 y Tabla 20, el valor más alto de SST (266 mg/L) registrado en la segunda campaña de monitoreo realizada en agosto de 2019 en el río Las Piedras, el cual se debe al fenómeno de la niña presente en esta época como lo indican modelos del IDEAM [55], ya que las fuertes precipitaciones causan deslizamientos e incremento en lodos favoreciendo condiciones aerobias por lo que se correlaciona con los resultados de DBO y OD de la misma campaña; este mismo fenómeno se presenta de una forma más leve en las épocas húmedas de los años 2017 y 2018. De lo anteriormente mencionado se destaca que la variabilidad climática espacio temporal se ha visto cada vez más marcada debido al cambio climático derivado de actividades antrópicas y naturales.

Es importante resaltar que esta cuenca es la principal fuente abastecedora de agua potable de la ciudad de Popayán por tanto las concentraciones de solidos suspendidos totales deben cumplir con lo estipulado en la guía para la calidad del agua potable establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS), donde se estipula un valor de 25 – 50 mg/L en aguas destinadas para consumo humano, puesto que concentraciones superiores afectaría la palatabilidad del agua, deteriorando su sabor amargo a metal o salado, siendo desagradable para los consumidores.

Figura 14. Comportamiento de SST en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 20. Comportamiento de SST en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Las Piedras

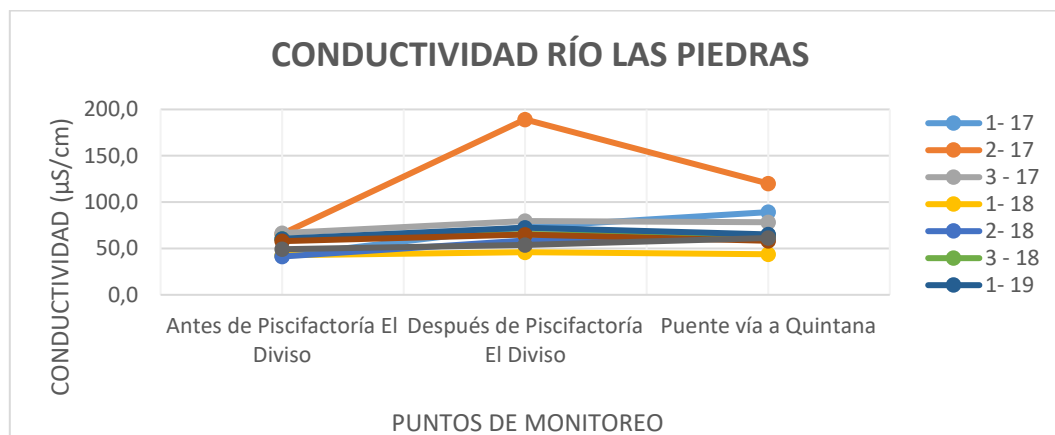
SST RIO LAS PIEDRAS (mg/L)				
AÑO	CAMPAÑA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Antes de Piscifactoría El Diviso	Después de Piscifactoría El Diviso	Puente vía a Quintana
2017	1- 17	5.0	6.3	63.5
	2- 17	5.0	8.5	5.9
	3 - 17	11.4	14.4	6.4
2018	1- 18	5	5.5	7.4
	2- 18	266	182	93
	3 - 18	18.4	21.3	18.5
2019	1- 19	9.9	9.9	9.9
	2- 19	9.9	9.9	9.9
	3 - 19	14.7	10.2	16.7

Fuente: Elaboración Propia.

## 6. CONDUCTIVIDAD

En la Figura 15 y Tabla 21, se refleja el comportamiento de la conductividad eléctrica en la cuenca del río las Piedras, donde se observa una disminución en las campañas de monitoreo realizadas en los años 2018 y 2019, respecto a la segunda campaña en el mes de junio del año 2017, puesto que se observa un incremento lo que se puede atribuir a algún vertimiento directo no controlado de esta época de la piscifactoría El Diviso. De acuerdo a la literatura, lo anterior sugiere que un aumento en el caudal del cuerpo hídrico contribuye en la disminución de la conductividad. No obstante, los valores de conductividad obtenidos en la cuenca a lo largo de los años 2017-2019 de monitoreo se consideran bajos, lo cual indica poco contenido de compuestos ionizables en el agua.

Figura 15. Comportamiento de la Conductividad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 21. Comportamiento de la Conductividad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras

CONDUCTIVIDAD RIO LAS PIEDRAS (mS/cm)				
AÑO	CAMPAÑA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Antes de Piscifactoría El Diviso	Después de Piscifactoría El Diviso	Puente vía a Quintana
2017	1- 17	42.1	73.1	89.2
	2- 17	65.7	189.2	120.1
	3 - 17	66.6	79.6	78.4
2018	1- 18	42.65	45.99	43.9
	2- 18	41.3	58.7	64.1
	3 - 18	60.2	65.5	64
2019	1- 19	60.51	72.4	65.15
	2- 19	57.9	65	58.4
	3 - 19	49.2	53.7	61.3

Fuente: Elaboración Propia.

En la Resolución 2115 de 2007 (Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano), el valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 microsiemens/cm. Asimismo, la literatura establece que: en soluciones acuosas, conductividades dentro de un rango 500 a 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , permiten considerar el agua para usos domésticos. También se menciona que en general, las aguas que

contienen menos de 500 mg/L de sólidos suspendidos totales son aptas para usos domésticos e industriales. Los resultados obtenidos en los periodos de estudio tanto de conductividad eléctrica, como de SST están dentro o por debajo de estos rangos o valores establecidos.

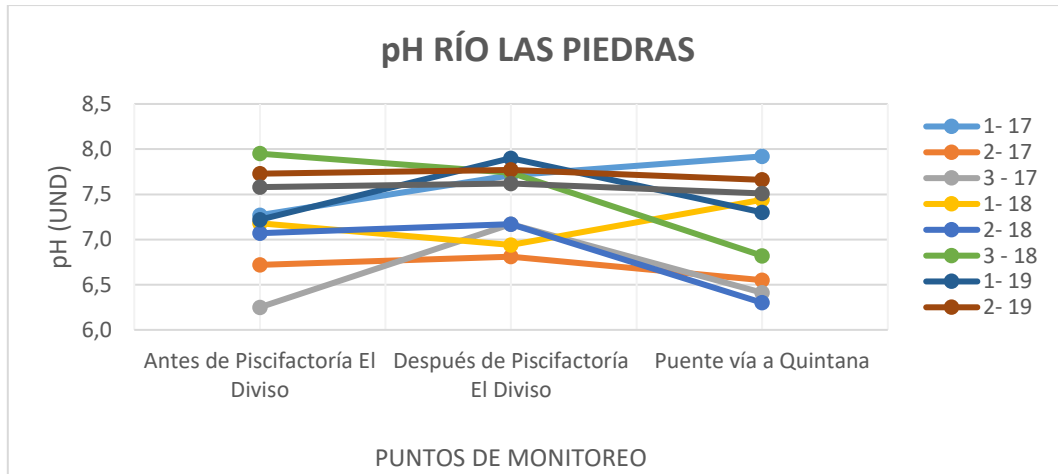
Esta baja presencia de sustancias diluidas en el agua de la cuenca, permite inferir que no es significativa la escorrentía agrícola y residencial, lixiviación de la contaminación del suelo, o fuentes puntuales de tratamientos industriales o aguas residuales. Esto se evidencia en el mapa de uso actual del suelo de la cuenca, donde se observa que la intervención antrópica o incidencia en la afectación del suelo en la cuenca Las Piedras, no es significativamente alta. No obstante, se alude que los valores máximos presentados tanto de conductividad eléctrica como de SST, se debe a los diversos vertimientos domésticos y/o industriales depositados a lo largo del cuerpo hídrico escurrimiento natural de nutrientes y a posibles deslizamientos y eventuales caídas o desprendimientos por presencia de taludes inestables.

## **7. pH**

En la Figura 16 y Tabla 22, se ilustran los valores pertenecientes al parámetro de pH para el río Las Piedras. Donde se observa, que el valor de pH más bajo es de 6,3 y pertenece a la campaña de monitoreo realizada en el año 2017, esto se debe a que el punto de monitoreo corresponde al vertimiento que se genera aguas abajo de la piscifactoría El Diviso, es decir, que los residuos líquidos generados en la producción de la Trucha Arcoíris pueden ocasionar acidificación en los cuerpos hídricos receptores. Del mismo modo, se tiene que los valores más altos de pH se presentaron antes de dicho vertimiento, estos valores oscilan entre el rango de 7.1 – 7.9 para las tres campañas de monitoreo realizadas.

A su vez se observa como desde la tercera campaña del año 2018 hasta la tercera de 2019, se presentan los valores más altos disminuyendo su acidez a lo largo del tramo lo que se puede dar por la capacidad de autodepuración de sustancias contaminantes acidas a la fuente y que las precipitaciones contribuyeron a un mayor caudal para la disolución de los mismos.

Figura 16. Comportamiento del pH en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 22. Comportamiento del pH en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras

pH RIO LAS PIEDRAS (H+)				
AÑO	CAMPAÑA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Antes de Piscifactoría El Diviso	Después de Piscifactoría El Diviso	Puente vía a Quintana
2017	1- 17	7.3	7.7	7.9
	2- 17	6.7	6.8	6.6
	3 - 17	6.3	7.2	6.4
2018	1- 18	7.18	6.94	7.44
	2- 18	7.07	7.17	6.3
	3 - 18	7.95	7.74	6.82
2019	1- 19	7.22	7.9	7.3
	2- 19	7.73	7.77	7.66
	3 - 19	7.58	7.62	7.51

Fuente: Elaboración Propia

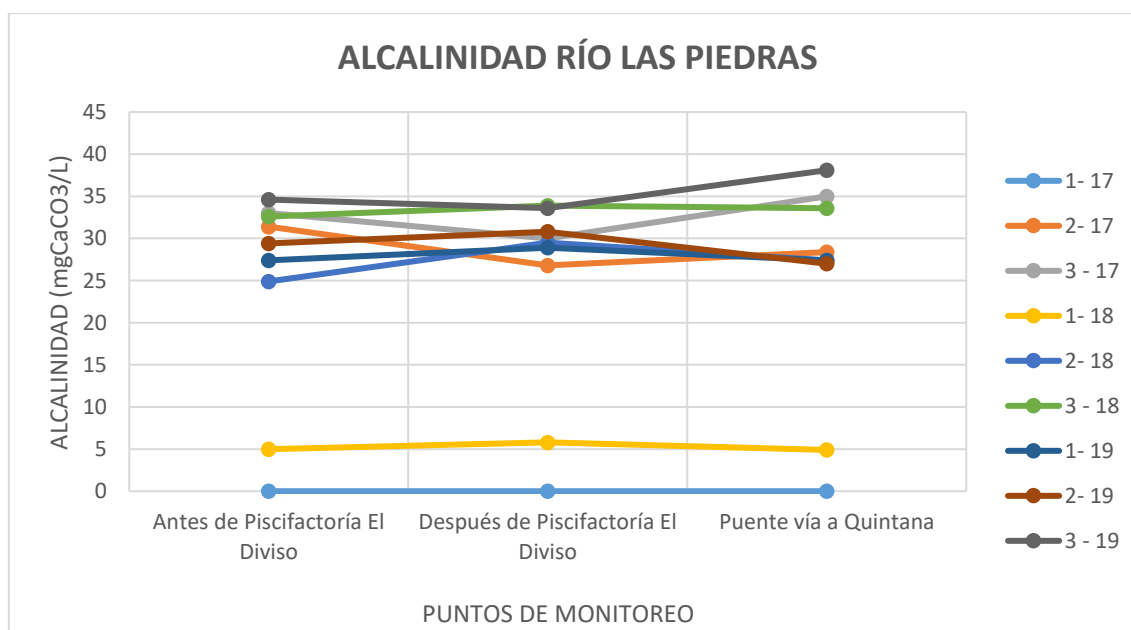
## 8. ALCALINIDAD

En la Figura 17 y la Tabla 23 se determina que los valores son similares en cuanto a este parámetro. Del mismo modo, la variación de la alcalinidad se presentó en temporada seca, esto influenciado por la disminución del caudal y por consiguiente el aumento de la concentración de los carbonatos, principal sistema que determina la alcalinidad en las aguas superficiales, que se originan generalmente del desgaste y disolución de rocas en la cuenca que contienen carbonatos tales como la piedra caliza. El exceso de estos minerales provocaría turbiedad debido a su suspensión, reduciendo la capacidad del ecosistema para mantener la vida.

Se resalta la primera campaña del 2018 en el mes de marzo disminuye considerablemente la fuente su capacidad de neutralizar los ácidos presentes en la fuente, por lo general se debe a la presencia de vertimientos con fosfatos y sales débiles en el sector, no se obtuvieron valores en la primera campaña del 2017. En cuanto a las demás campañas no presentan una variación significativa.

Por otro lado, la Resolución 2115 e 2007, establece un valor máximo aceptable de alcalinidad para agua de consumo humano de 200 mg/L  $\text{CaCO}_3$  y de acuerdo a lo ilustrado en las gráficas se determina que no hay un registro de datos por encima de dicho valor.

Figura 17. Comportamiento de la Alcalinidad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 23. Comportamiento de la Alcalinidad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras

ALCALINIDAD RIO LAS PIEDRAS (mgCaCO3/L)				
AÑO	CAMPAÑA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Antes de Piscifactoría El Diviso	Después de Piscifactoría El Diviso	Puente vía a Quintana
2017	1- 17	*	*	*
	2- 17	31.4	26.8	28.4
	3 - 17	33	30	35
2018	1- 18	5	5.8	4.9
	2- 18	24.9	29.5	27.4
	3 - 18	32.6	33.9	33.6
2019	1- 19	27.4	28.9	27.4
	2- 19	29.4	30.8	27
	3 - 19	34.6	33.6	38.1

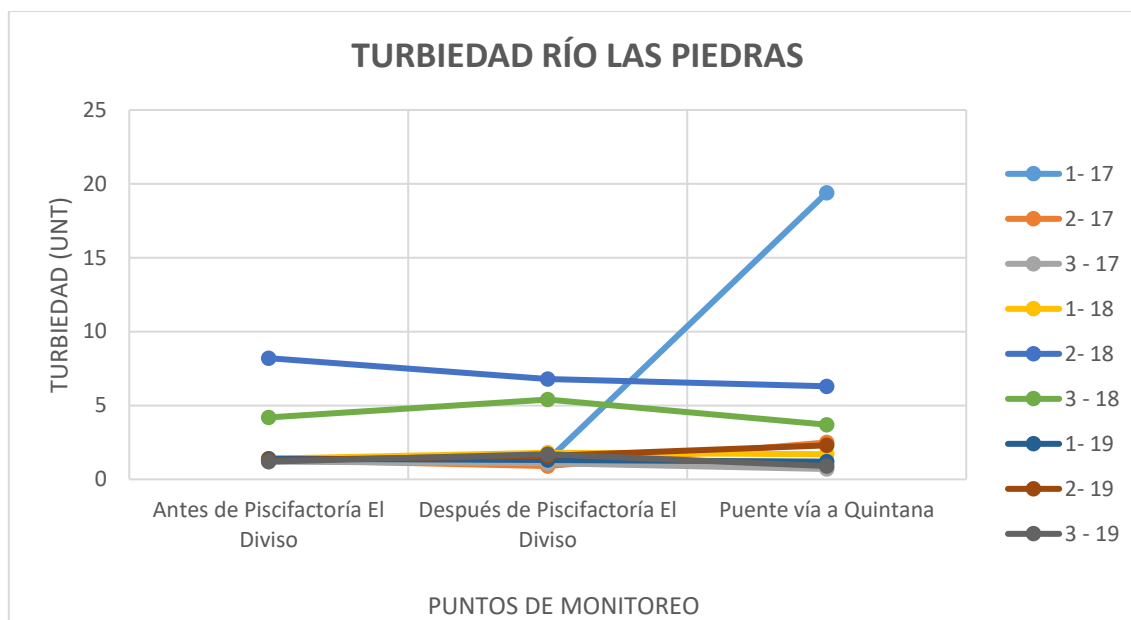
Fuente: Elaboración Propia.

## 9. TURBIEDAD

La turbiedad que se presenta en la Figura 18 y Tabla 24, se presentó un incremento significativo en la primera campaña de 2017 en el mes de abril en el mes más lluvioso con precipitaciones medias de 217 mm, lo que produjo arrastre de sedimentos con posibles deslizamientos en la zona causando el incremento en ese monitoreo. Igualmente se observa un comportamiento en la segunda (marzo) y tercera (agosto) campaña del año 2018 un incremento en la turbiedad en los tres puntos de monitoreo lo que se atribuye a que estos meses corresponden a una transición de época seca a húmeda lo que implica pequeños deslizamientos en la zona y aumento en este parámetro incidiendo negativamente en el OD por ende en la biota acuática. En cuanto a las demás campañas no muestra cambios significativos en los diferentes puntos presentando una estabilidad y favoreciendo la permanencia de especies acuáticas con condiciones óptimas para su desarrollo.



Figura 18. Comportamiento de la Turbiedad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 24. Comportamiento de la Turbiedad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras

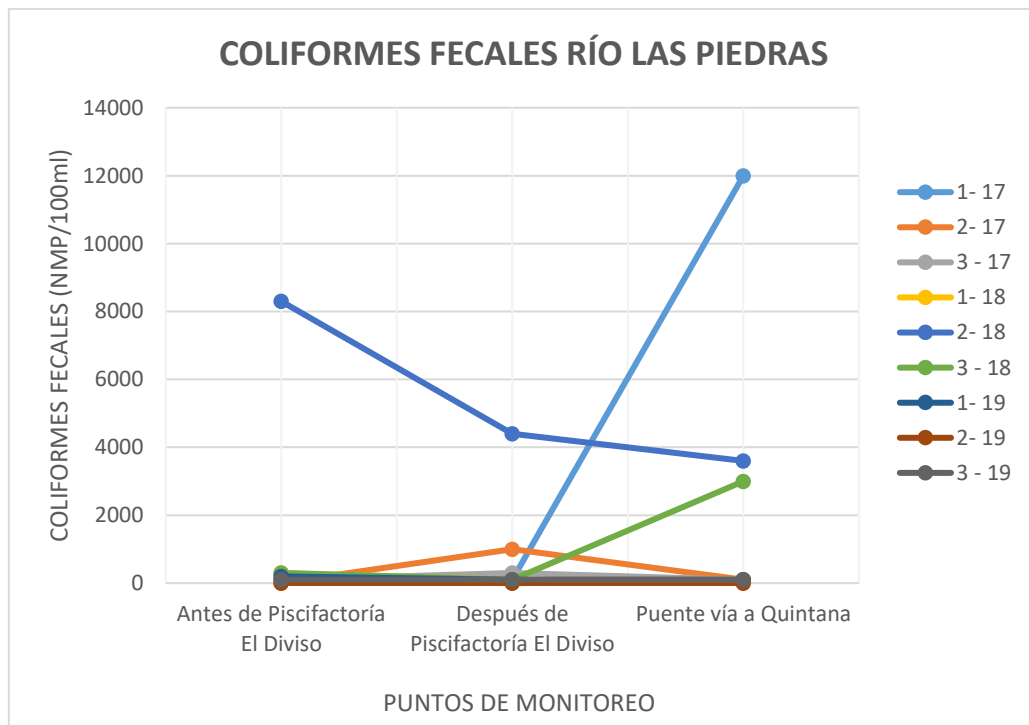
TURBIEDAD RIO LAS PIEDRAS (UNT)				
AÑO	CAMPAÑA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Antes de Piscifactoría El Diviso	Después de Piscifactoría El Diviso	Puente vía a Quintana
2017	1- 17	1.3	1.3	19.4
	2- 17	1.3	0.9	2.5
	3 - 17	1.2	1.1	0.7
2018	1- 18	1.4	1.8	1.7
	2- 18	8.2	6.8	6.3
	3 - 18	4.2	5.4	3.7
2019	1- 19	1.4	1.3	1.2
	2- 19	1.3	1.6	2.3
	3 - 19	1.2	1.7	0.9

Fuente: Elaboración Propia.

## 10. COLIFORMES FECALES

Los coliformes fecales superaron su límite debido a los vertimientos generados a la fuente por vertimientos de la piscifactoría El Diviso, la cual arroja las aguas residuales de tipo industrial y doméstico al río Las Piedras, aunque tiene una buena autodepuración para diluir las altas concentraciones de materia orgánica, se debe realizar control ante este parámetro microbiológico, es importante mencionar que al año 2017 según el último registro de Evaluación de impactos ambientales a la fuente por parte de esta práctica no generaba impactos significativos, sin embargo debido a la variabilidad en los datos obtenidos en el año 2019 se requiere actualizar este estudio. Además, como se observa en la Figura 19 y Tabla 25 el incremento de coliformes en la primera campaña (abril) del año 2017 en el punto después del vertimiento de la Piscifactoría El Diviso lo que indica que existían mayor cantidad de vertimientos directos no tratados y sin cumplir la norma afectando a la fuente hídrica considerablemente en cuanto a su calidad. Este comportamiento disminuyó hasta la segunda campaña (mayo) del 2018, en donde se presentó el aumento desde el primer punto, es decir antes de la piscifactoría decreciendo hasta el puente vía Quintana, lo que se pudo dar por nuevos vertimientos y/o ya registrados que no estaban cumpliendo con su límite permisible; sin embargo, posteriormente se evidencia el control de los mismos puesto que presentan menor magnitud en campañas posteriores.

Figura 19. Comportamiento de las Coliformes Fecales en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 25. Comportamiento de las Coliformes Fecales en las tres campañas de monitoreo 2017-2019. Río Las Piedras.

COLIFORMES FECALES RIO LAS PIEDRAS (NMP/100ml)				
AÑO	CAMPANA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Antes de Piscifactoría El Diviso	Después de Piscifactoría El Diviso	Puente vía a Quintana
2017	1- 17	100	100	12000
	2- 17	10	1000	100
	3 - 17	100	300	100
2018	1- 18	300	100	100
	2- 18	8300	4400	3600
	3 - 18	300	100	3000
2019	1- 19	200	100	100
	2- 19	0	0	0
	3 - 19	100	100	100

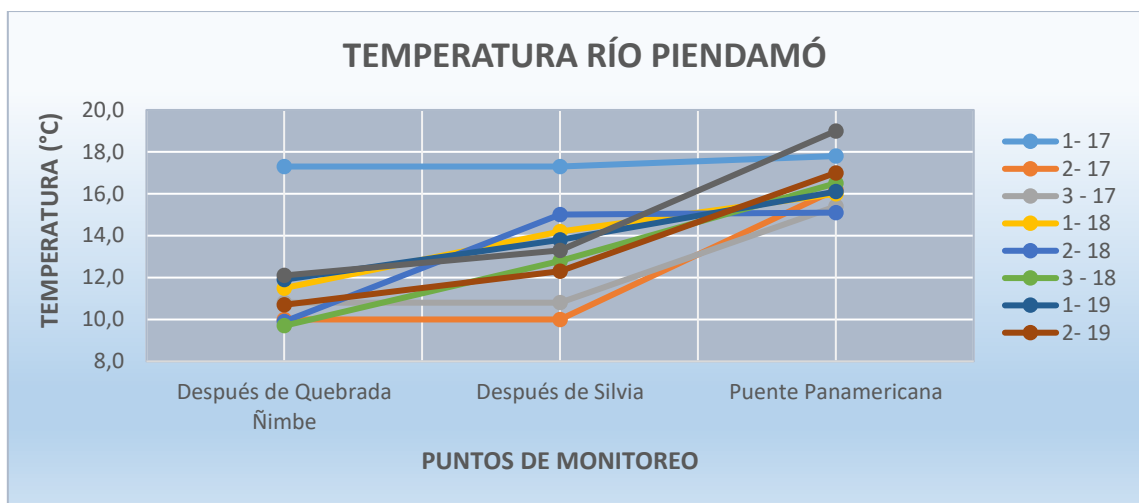
Fuente: Elaboración Propia.

## PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL RÍO PIENDAMÓ

### 1. TEMPERATURA (°C)

En la Figura 20 y la Tabla 26 se observa el comportamiento de un incremento de temperatura en el punto de monitoreo del puente panamericana dado que en la zona se observaron diferentes vertimientos posiblemente no registrados y que están afectando este parámetro, aunque el Río tiene una buena adaptación es importante tener un mayor control en los PSMV y registros de generadores de vertidos. También se puede deber a la escasez de vegetación en la orilla del río.

Figura 20. Comportamiento de la Temperatura en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 26. Comportamiento de la Temperatura en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó

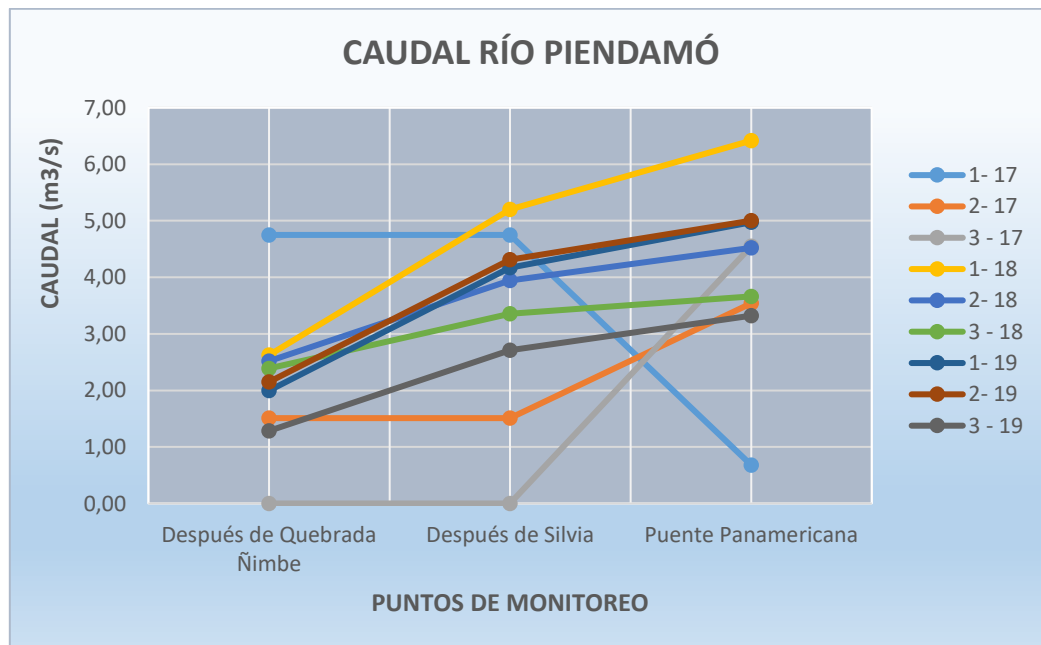
TEMPERATURA RIO PIENDAMÓ				
AÑO	CAMPAÑA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Después de Quebrada Ñimbe	Después de Silvia	Puente Panamericana
2017	1- 17	17.3 ° C	17.3 ° C	17.8 ° C
	2- 17	10.0 ° C	10.0 ° C	16.2 ° C
	3 - 17	10.8 ° C	10.8 ° C	15.4 ° C
2018	1- 18	11.5° C	14.2 ° C	16 ° C
	2- 18	9.9° C	15 ° C	15.1 ° C
	3 - 18	9.7 ° C	12.8 ° C	16.5 ° C
2019	1- 19	11.9 ° C	13.8 ° C	16.1 ° C
	2- 19	10.7 ° C	12.3 ° C	17 ° C
	3 - 19	12.1 ° C	13.3 ° C	19 ° C

Fuente: Elaboración Propia

## 2. CAUDAL

En la Figura 21 y Tabla 27 se representa el comportamiento del caudal del Río Piendamó con fuertes variaciones en los diferentes periodos de monitoreo y en función a las concesiones y vertimientos de la fuente. Primero se identifica que su caudal crece conforme a su recorrido debido a la pequeña central hidroeléctrica (PCH) de Silvia con una captación de 1500 LPS, junto a pequeños nacimientos que lo abastecen y a la cantidad de vertimientos a la fuente sobre todo después de Silvia puesto que los vertimientos de su PTAR desemboca en ese punto; además se resalta la primera campaña en el mes de abril del 2017 donde se presentó una reducción del caudal en el punto del puente de la panamericana lo que se puede dar por su relieve, la falta de vegetación, sin embargo debido a la magnitud de su reducción se cree que hubo una desviación de su cauce por desbordamiento. Los máximos registros de caudales están relacionados con la desembocadura de pequeñas quebradas a las fuentes hídricas estudiadas. Respecto a los datos que representan un caudal igual a 0 se debe a la creciente de los ríos, dado a que el monitoreo se realizó finalizando el mes de septiembre donde inicia la época de lluvia impidiendo el acceso a las fuentes hídricas y evitando el monitoreo de las mismas.

Figura 21. Comportamiento del caudal en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 27. Comportamiento del caudal en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó

CAUDAL RIO PIENDAMÓ (m <sup>3</sup> /s)				
AÑO	CAMPAÑA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Después de Quebrada Ñimbe	Después de Silvia	Puente Panamericana
2017	1- 17	4.75	4.75	0.68
	2- 17	1.51	1.51	3.54
	3 - 17	*	*	4.55
2018	1- 18	2.62	5.20	6.42
	2- 18	2.52	3.95	4.52
	3 - 18	2.39	3.35	3.66
2019	1- 19	2.00	4.17	4.97
	2- 19	2.15	4.31	5.00
	3 - 19	1.28	2.71	3.32

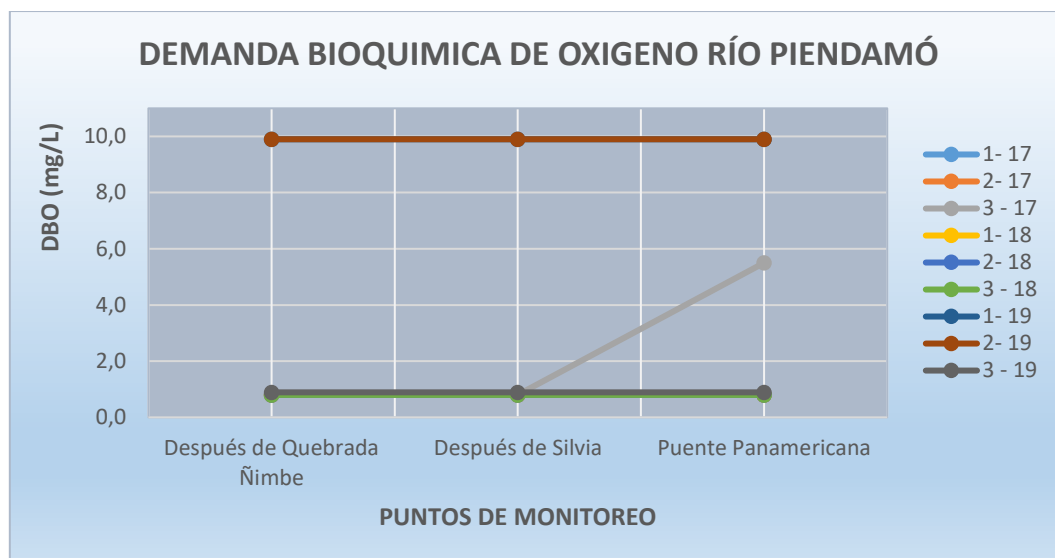
Fuente: Elaboración Propia

### 3. DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

En la Figura 22 y Tabla 28 se aprecia la BBO del Río Piendamó en los años 2017-2019 en sus respectivas tres campañas en donde se observa el comportamiento de este parámetro dentro del límite máximo permisible (5 mg/L) excepción de la segunda campaña del 2019 donde incremento a 10 mg/L, esto se debe a que en este año probablemente a que las sustancias vertidas contaminantes no están siendo depuradas rápidamente, ya que la presencia de metales pesados, grasas y aceites, fenoles y sólidos en suspensión, coloides y microorganismos patógenos inciden en él.; aunque en general cumple con la norma es importante establecer en campo que puede estar alterando sus condiciones, ya sea que los vertimientos están ingresando sin su debido tratamiento según la res 631 de 2015.

Es importante resaltar que la PCH de Silvia podría estar descompensando el ciclo natural de la fuente, puesto que la captación del 67% del total de las concesiones de esta fuente es importante, en cuanto a su funcionamiento, al abrir las compuertas para que el agua fluya de manera artificial hará que todos los procesos ecológicos naturales que dependían de la dinámica natural de la cuenca se alteren, y posiblemente implica pérdida de productividad en especies de la fauna acuática.

Figura 22. Comportamiento de DBO en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 28 Comportamiento de DBO en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó

DBO RIO PIENDAMÓ (mg/L)				
AÑO	CAMPAÑA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Después de Quebrada Ñimbe	Después de Silvia	Puente Panamericana
2017	1- 17	0.8	0.8	0.8
	2- 17	0.8	0.8	0.8
	3 - 17	0.8	0.8	5.5
2018	1- 18	0.8	0.8	0.8
	2- 18	0.8	0.8	0.8
	3 - 18	0.8	0.8	0.8
2019	1- 19	9.9	9.9	9.9
	2- 19	9.9	9.9	9.9
	3 - 19	0.89	0.89	0.89

Fuente: Elaboración Propia.

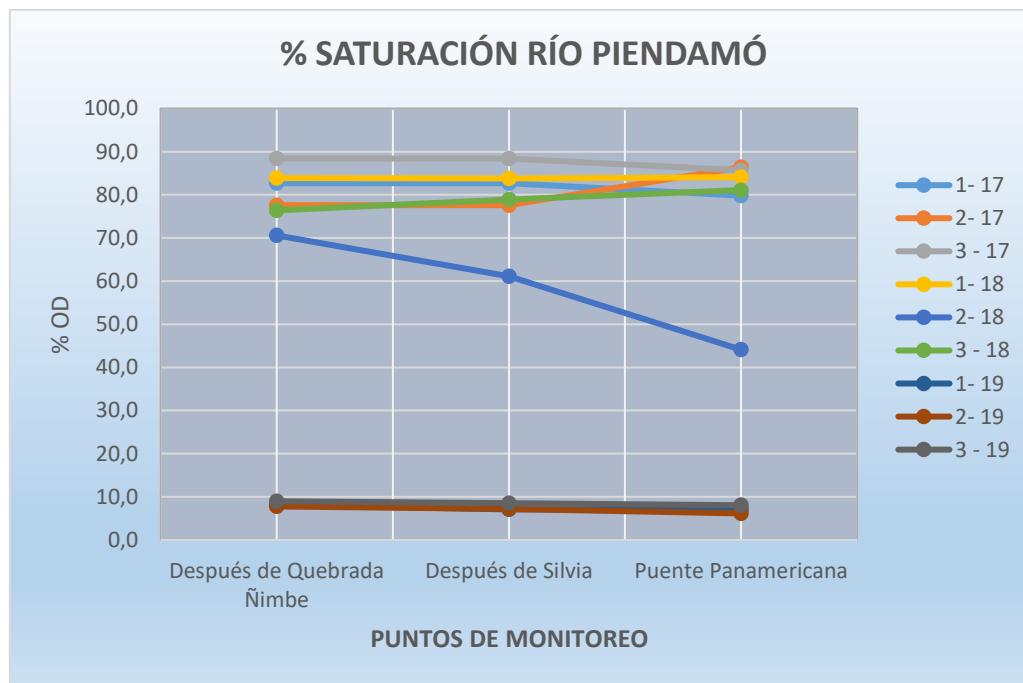
#### 4. OXIGENO DISUELTO (%)

En la Figura 23 y la Tabla 29 se observa el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en las distintas temporadas de estudio, en base a ello, se determina que aquellos valores que se encuentran por encima del 90% fueron tomados en temporadas húmedas, es decir

en épocas de lluvia (fenómeno de la niña). Este parámetro es inversamente proporcional a la temperatura debido a que en temporadas secas donde se presentó una elevación de la misma, se evidenciaron bajos OD los cuales oscilan entre el 6,1 y 8,6%.

Por otro lado, los comportamientos descritos anteriormente o la variabilidad presentada se deben principalmente a la hora de pruebas o monitoreos, pendientes (cuenca alta, media y baja), temporadas y caudal; además de las alteraciones por la PCH Vatia S.A. E.S.P puesto que cambian las dinámicas naturales. Se resalta que en las diferentes campañas del año 2019 el POD ha disminuido significativamente, es por ello que se hace importante llevar a cabo un monitoreo de esta fuente para establecer si los vertimientos registrados como la PTAR de Silvia y el Bypass están cumpliendo con los límites permisibles según el acuerdo 05 de 2019, puesto que este se realizó por las condiciones que actualmente se presentan y afectan a la biota y población que dependen de esta fuente, al igual que se recomienda hacer el respectivo recorrido para identificar nuevos posibles vertimientos sin registrar.

Figura 23. Comportamiento del % de OD en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó



Fuente: Elaboración Propia.



Tabla 29. Comportamiento del % de OD en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó

% OD RIO PIENDAMÓ				
AÑO	CAMPAÑA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Después de Quebrada Ñimbe	Después de Silvia	Puente Panamericana
2017	1- 17	82.7	82.7	79.8
	2- 17	77.6	77.6	86.4
	3 - 17	88.4	88.4	85.7
2018	1- 18	83.9	83.8	84.1
	2- 18	70.6	61.1	44.1
	3 - 18	76.4	78.9	81.1
2019	1- 19	8.13	7.08	7.11
	2- 19	7.76	7.16	6.15
	3 - 19	8.97	8.56	8.05

Fuente: Elaboración Propia.

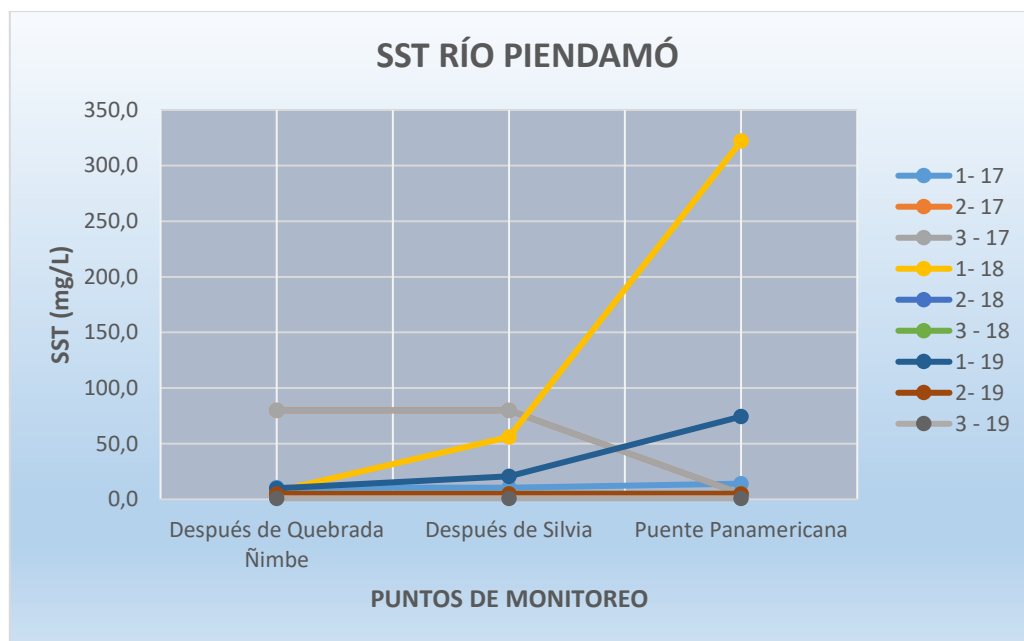
En cuanto a los monitoreos anteriores al 2019 se destaca que la fuente contaba con buenas condiciones en sus diferentes puntos de monitoreo, encontrándose entre el 60 - 100%, dado a que estas son las condiciones adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.

Por último, se hace énfasis en que, aunque cuenta con falencias en los puntos bajos de monitoreo y el último año de muestreo, el Río Piendamó cuenta con un ICA aceptable debido a su capacidad de depuración de agentes contaminantes a lo largo de su trayectoria.

## 5. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

El parámetro de sólidos suspendidos totales presentó una gran variación en los registros obtenidos entre las 3 campañas de monitoreo, presentando valores más altos en la primera campaña del año 2018, debido a que fue una temporada húmeda (Figura 24 y Tabla 30), donde se observan valores de SST que van desde 4,9 – 322 mg/L, esto debido a la reducción en el caudal del cuerpo hídrico y a los vertimientos arrojados al mismo, ya que a lo largo de los puntos de monitoreo se encuentran diversos puntos de vertimientos de aguas residuales domésticas donde se destaca el vertimiento generado por la PTAR del municipio de Silvia, influyendo en el lavado y remoción de masa, dado a que los sólidos suspendidos totales son la cantidad de material particulado que se mantiene en suspensión en el agua.

Figura 24. Comportamiento de los SST en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 30. Comportamiento de los SST en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó.

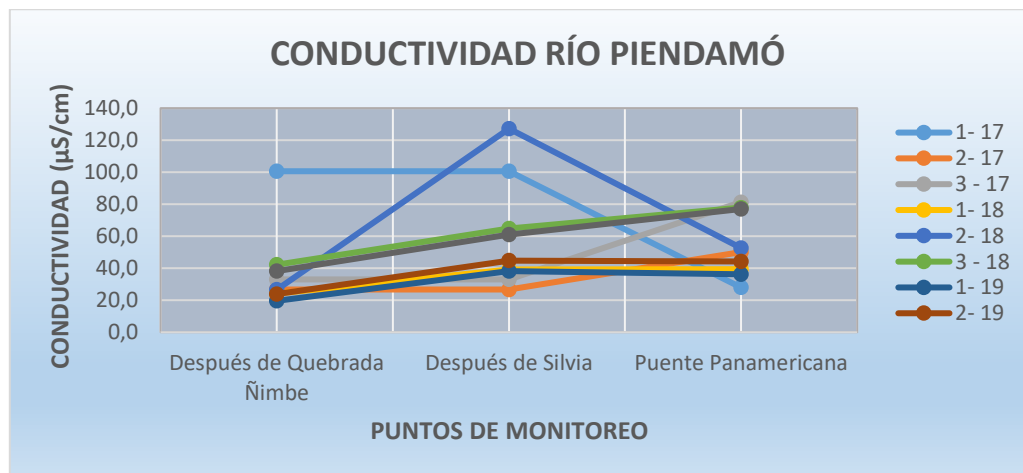
SST RIO PIENDAMÓ (mg/L)				
AÑO	CAMPAÑA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Después de Quebrada Ñimbe	Después de Silvia	Puente Panamericana
2017	1- 17	10.5	10.5	14.1
	2- 17	80.0	80.0	5.0
	3 - 17	80.0	80.0	5.0
2018	1- 18	7.3	56	322
	2- 18	5	5	5
	3 - 18	5	5	5
2019	1- 19	9.9	20.7	74.4
	2- 19	4.9	4.9	4.9
	3 - 19	0.99	0.99	0.99

Fuente: Elaboración Propia.

## 6. CONDUCTIVIDAD

Por otra parte, en la Figura 25 y Tabla 31, se establece que el comportamiento de la conductividad es aceptable de acuerdo a los resultados obtenidos y a lo establecido por la norma; ya que ninguno de los datos obtenidos se encuentra por encima de los 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

.Figura 25. Comportamiento de la conductividad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 31. Comportamiento de la conductividad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó

CONDUCTIVIDAD RIO PIENDAMÓ ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )				
AÑO	CAMPAÑA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Después de Quebrada Ñimbe	Después de Silvia	Puente Panamericana
2017	1- 17	100.6	100.6	27.9
	2- 17	26.7	26.7	50.1
	3 - 17	33.0	33.0	81.3
2018	1- 18	24.16	39.21	39.4
	2- 18	26.57	127.2	52.7
	3 - 18	42.2	64.8	77.9
2019	1- 19	19.62	38.2	36.3
	2- 19	23.85	44.74	44.24
	3 - 19	38.2	61.1	77

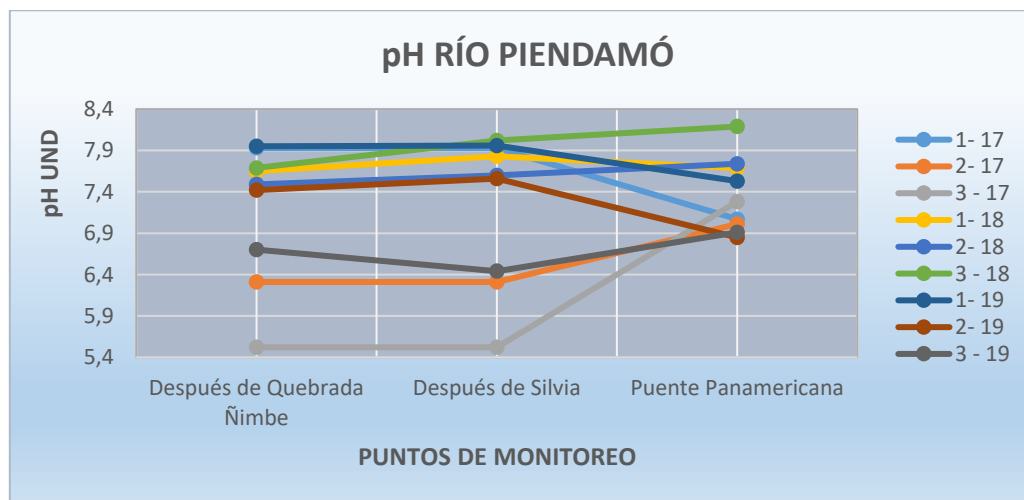
Fuente: Elaboración Propia

Es por ello que se establece que las sustancias vertidas a la cuenca tienen alta capacidad de depuración como se observa en los puntos antes y después del punto de monitoreo de Silvia en donde son vertidas ARD, teniendo en cuenta los cambios de dinámicas por la PCH Vatia como se evidencia en registros de la CRC esta intervención antrópica no tiene como consecuencia impactos irreversibles y/ significativos. Esto se evidencia en el mapa de uso actual del suelo de la cuenca, donde se observa que la intervención antrópica es alta puesto que esta fuente tiene usos de aprovechamiento doméstico, piscícola, energético, pecuario agrario e industrial; a lo que se debe el incremento de este parámetro a lo largo del cuerpo hídrico, al igual que por escurrimiento natural de nutrientes, posibles deslizamientos y eventuales caídas o desprendimientos por presencia de taludes inestables.

## 7. pH

En la Figura 26 y la Tabla 32, se presentan los valores de pH correspondientes al río Piendamó donde se observa que estos valores oscilan entre un rango de 5.5 – 8.0 a lo largo de los 3 años para cada punto de monitoreo. Dado lo anterior, se determina que el valor de pH más bajo (5.5) se obtiene después del vertimiento generado por la PTAR del Municipio de Silvia, es decir que los vertimientos generados por la misma afectan acidificando en la escala de pH y en el punto de la panamericana recupera la fuente la capacidad de autodepuración al aumentar el pH de la fuente este cambio se evidencia en el año 2019.

Figura 26. Comportamiento del pH en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 32. Comportamiento del pH en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó

pH RIO PIENDAMÓ (H+)				
AÑO	CAMPAÑA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Después de Quebrada Ñimbe	Después de Silvia	Puente Panamericana
2017	1- 17	7.9	7.9	7.1
	2- 17	6.3	6.3	7.0
	3 - 17	5.5	5.5	7.3
2018	1- 18	7.65	7.83	7.69
	2- 18	7.49	7.6	7.74
	3 - 18	7.69	8.02	8.19
2019	1- 19	7.95	7.96	7.53
	2- 19	7.42	7.56	6.85
	3 - 19	6.7	6.44	6.91

Fuente: Elaboración Propia.

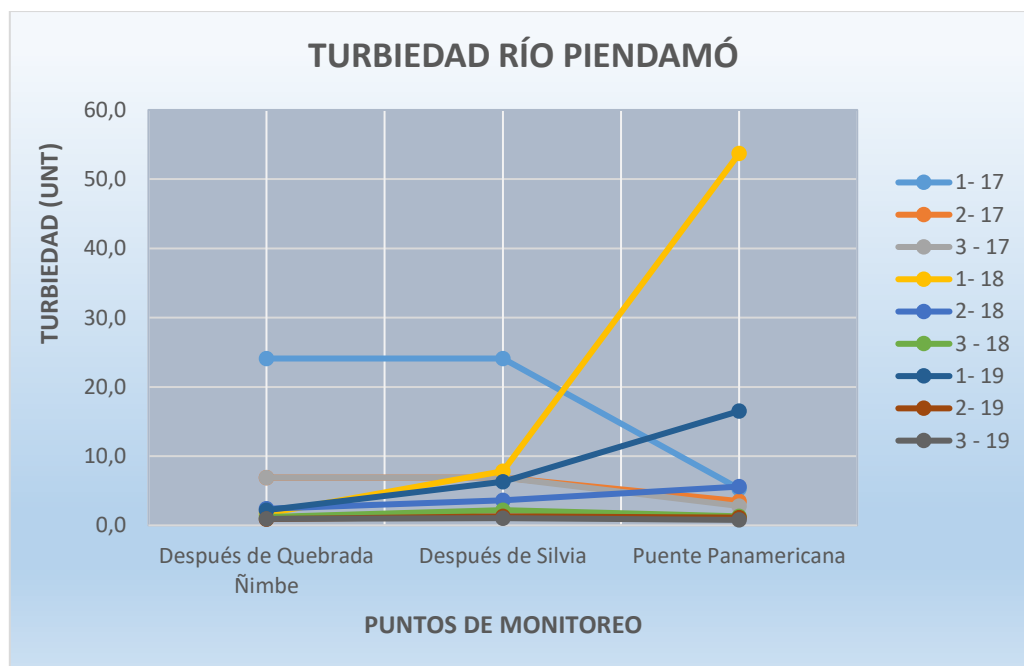
Por último, se concluye que los valores no superan las 8.02 unidades, lo que indica un agua de carácter básico, es decir que estos valores de pH son compatibles con la vida de los peces, ya que para un buen desarrollo de los ecosistemas acuáticos la literatura establece rangos de pH comprendidos entre 5 – 9 unidades. Por lo anterior, se define que estos valores son los más adecuados para la actividad biológica de estos ecosistemas, deduciendo que estos procesos biológicos (fotosíntesis, respiración) [22].

## 8. TURBIEDAD

En la Figura 27 y Tabla 33 se observa como no se muestra una variabilidad significativa a excepción de la última campaña del año 2018 en donde se muestra sequía en la parte alta y época de lluvias en la baja por lo cual la turbiedad aumento hasta un 53.7 UNT en el punto ubicado después de la piscifactoría.

Además, se destaca que la primera campaña del año 2017 obtuvo los valores más altos lo que se debe a que esta época se caracterizó por fuertes precipitaciones que pudieron dar lugar a deslizamientos de masas influyendo en la caracterización de este parámetro.

Figura 27. Comportamiento de la Turbiedad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 33. Comportamiento de la Turbiedad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó

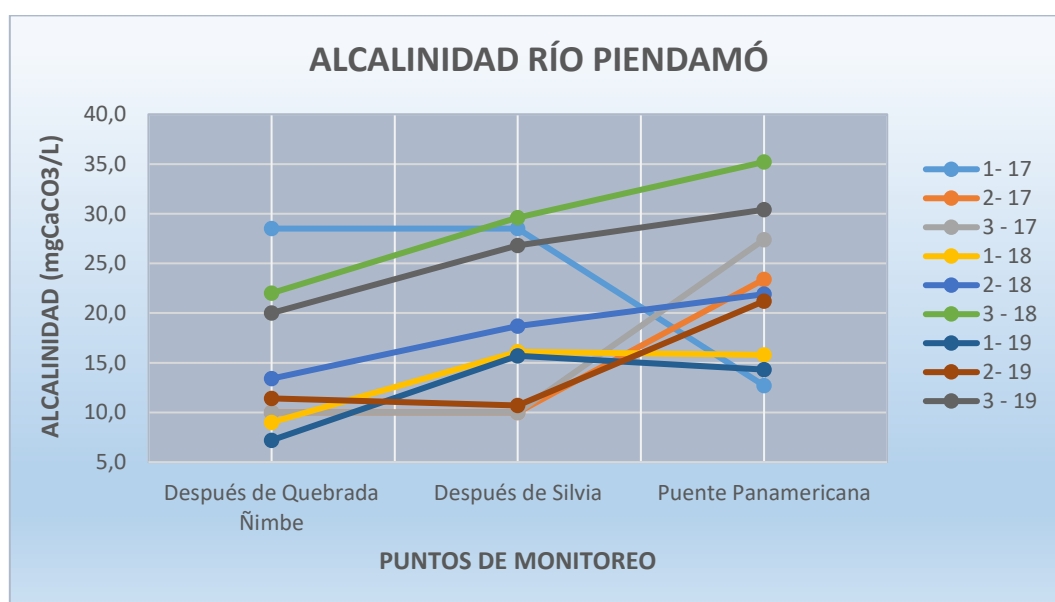
TURBIEDAD RIO PIENDAMÓ (UNT)				
AÑO	CAMPAÑA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Después de Quebrada Ñimbe	Después de Silvia	Puente Panamericana
2017	1- 17	24.1	24.1	5.3
	2- 17	6.9	6.9	3.5
	3 - 17	6.9	6.9	2.8
2018	1- 18	1.7	7.8	53.7
	2- 18	2.4	3.6	5.6
	3 - 18	1.2	2.2	1.3
2019	1- 19	2.2	6.3	16.5
	2- 19	0.9	1.3	1.1
	3 - 19	0.93	1.04	0.79

Fuente: Elaboración Propia.

## 9. ALCALINIDAD

Por otro lado, la Resolución 2115 e 2007, establece un valor máximo aceptable de alcalinidad para agua de consumo humano de 200 mg/L CaCO<sub>3</sub> y de acuerdo a lo ilustrado en la Figura 28 y Tabla 34 se determina que no hay un registro de datos por encima de dicho valor; por tanto favorece a una vida sana de la fauna y flora acuática y a la captación de dicha fuente para su uso, sin embargo debe hacerse énfasis en que hay más parámetros a considerar para realizar el adecuado tratamiento al agua que dicha fuente suministra.

Figura 28. Comportamiento de la Alcalinidad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 34. Comportamiento de la Alcalinidad en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó

ALCALINIDAD RIO PIENDAMÓ (mgCaCO <sub>3</sub> /L)				
AÑO	CAMPAÑA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Después de Quebrada Ñimbe	Después de Silvia	Puente Panamericana
2017	1- 17	28.5	28.5	12.7
	2- 17	10.0	10.0	23.4
	3 - 17	10.0	10.0	27.4
2018	1- 18	9	16.1	15.8
	2- 18	13.4	18.7	21.9

	3 - 18	22	29.6	35.2
2019	1- 19	7.2	15.7	14.3
	2- 19	11.4	10.7	21.2
	3 - 19	20	26.8	30.4

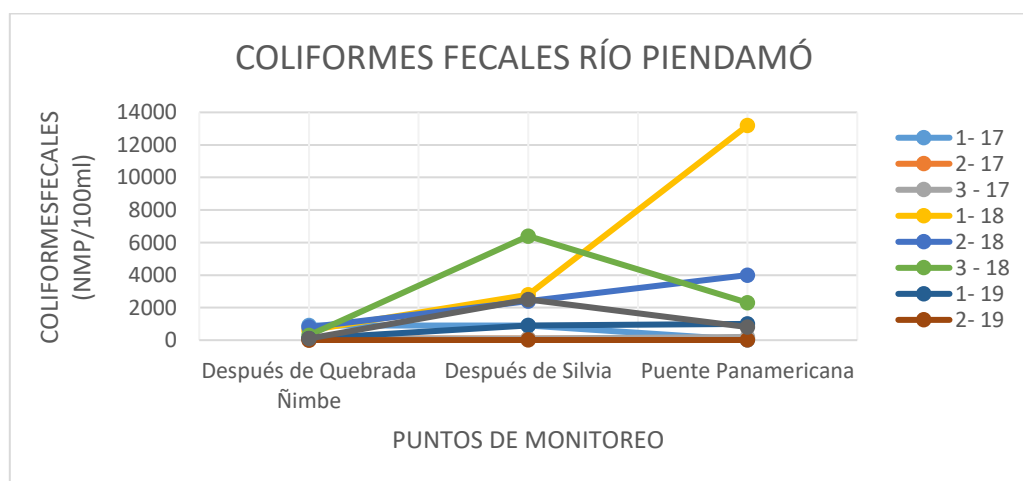
Fuente: Elaboración Propia

Del mismo modo, la variación de la alcalinidad se presentó en temporadas secas, ya que disminuye el caudal y por consiguiente el aumento de la concentración de los carbonatos, originados generalmente del desgaste y disolución de rocas en la cuenca que contienen carbonatos tales como la piedra caliza [56].

## 10. COLIFORMES FECALES

Los coliformes fecales superaron su límite (Figura 29 y Tabla 35) debido a los vertimientos generados a la fuente de tipo domésticos, piscícolas, y agropecuarios. De los cuales se destacan los que provienen de la planta de tratamiento de aguas residuales de Media Loma y el Bypass de Silvia, tratando los residuos líquidos de los municipios de Piendamó y Silvia respectivamente. Cabe resaltar que el vertimiento denominado Bypass no cumple con los parámetros límites máximo permisibles estipulados y que la PTAR cumple en un 50% su función lo que al año 2019 está causando problemáticas en la alteración de parámetros fisicoquímicos de la fuente como DBO y respectivamente OD. Sin embargo, las coliformes fecales que mayor proporción ha presentado en los años de estudio fue en la primera campaña en el mes de abril del año 2018 llegando a las 13200 NMP/100 ml en el punto de monitoreo del puente de la panamericana, es importante diagnosticar lo que sucede en cuento a los vertimientos entre el tramo después de Silvia y el antes mencionado ya que se presentan importantes variaciones dentro de los parámetros más significativos (DBO, OD, SST y coliformes) del ICA.

Figura 29. Comportamiento de las Coliformes Fecales en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó



Fuente: Elaboración Propia.



Tabla 35. Comportamiento de las Coliformes Fecales en las tres campañas de monitoreo 2017-2019, Río Piendamó

COLIFORMES FECALIS RIO PIENDAMÓ (NMP/100ml)				
AÑO	CAMPAÑA	PUNTOS DE MONITOREO		
		Después de Quebrada Ñimbe	Después de Silvia	Puente Panamericana
2017	1- 17	900	900	10
	2- 17	100	100	100
	3 - 17	100	100	200
2018	1- 18	600	2800	13200
	2- 18	800	2400	4000
	3 - 18	300	6400	2300
2019	1- 19	100	900	1000
	2- 19	0	10	10
	3 - 19	100	2500	800

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.2.4. Actividad 4. Cálculo de índices de calidad del agua.

Según los informes de la CRC, se realizaron tres campañas de monitoreo del Río Las Piedras en el año 2017 (abril, junio y agosto); tres campañas en el 2018 (marzo, abril y agosto) y en el 2019 (marzo, agosto y octubre); en cuanto a las campañas del Río Piendamó se realizaron de la siguiente forma 2017 (mayo, julio y septiembre), año 2018 y 2019 (abril, julio y septiembre); arrojando como resultado que el Índice de Calidad (ICA-IDEAM) [57].

Según los resultados obtenidos para el Río Las piedras presentó un comportamiento **ACEPTABLE** según el ICA al año 2017 en donde presentó sus mejores resultados en la primera campaña debido a que esta época se caracteriza por precipitaciones medias que no alteran los parámetros físicoquímicos de la fuente, también se tiene en cuenta la cantidad de concesiones para este año fue de 11 de las 24 actuales generando vertimientos en la parte media y baja que alteran el índice de calidad del agua.

En el 2018 se observaron valores denominado **BUENO** en la primera campaña de los tres puntos de monitoreo lo que se atribuye a las condiciones climatológicas, además de 7 concesiones para el sector piscícola que influyen en la calidad de parte baja de la fuente manteniendo una valoración **ACEPTABLE**. Por último, para el año 2019 presentó una mejora ya que el ICA fue de 0.92 ya que el punto E1 durante sus tres campañas aumentaron su ICA respecto a la segunda campaña, cabe resaltar que esta se encuentra en la transición de temporada seca a húmeda y que los vertimientos generados por las concesiones aguas arriba de origen industrial, piscícola, agropecuario y doméstico no repercuten significativamente sobre la fuente; sin embargo, la predominancia multitemporal fue **ACEPTABLE** en esta fuente como se observa en la Tabla 36 Y 37.

Tabla 36. Valores ICA subdivisión en campañas de los años 2017, 2018 y 2019 del Río Las Piedras

PUNTOS		VALOR DEL ICA								
		2017			2018			2019		
Punto	Punto de monitoreo	1- 17	2- 17	3 - 17	1- 18	2- 18	3 - 18	1- 19	2- 19	3 - 19
E1	Antes de Pisofactoria El Diviso	0,95	0,87	0,85	0,96	0,81	0,91	0,95	0,93	0,90
E2	Después de pisofactoria El Diviso	0,92	0,79	0,90	0,95	0,85	0,90	0,94	0,93	0,84
E3	Puente vía a Quintana	0,88	0,82	0,86	0,96	0,84	0,79	0,94	0,93	0,89

Fuente: Elaboración Propia

En cuanto al Río Piendamó para el año 2017, el índice ICA para la primera campaña fue Aceptable, mientras que para la segunda y tercera campaña fue Regular lo que se puede atribuir a temporadas húmedas y a vertimientos que en el momento no cumplían con la normatividad respecto a los parámetros fisicoquímicos en los sectores en que se han realizado concesiones como el energético, industrial, piscícola y doméstico en los puntos E4 Y E5, el punto E6 fue un punto de recuperación de cauce y de autodepuración de la fuente hídrica por lo que el ICA es bueno, en las tres campañas del año, finalizando con una predominancia **ACEPTABLE**.

Para el año 2018, se obtuvo un índice **BUENO** en el Punto E4 después de la Quebrada Ñimbe con un promedio de 0.93 mejorando el valor del año inmediatamente anterior en los tres monitoreos por lo cual la parte alta del río se destacó con una valoración según el ICA Bueno, seguido de ello se resalta que en los puntos E5 y E6 se mantuvo en **ACEPTABLE**, puesto que los puntos medio (E5) y bajo (E6) de la fuente es donde se comienza a evidenciar actividades antrópicas como vertimientos registrados y no registrados de los diferentes sectores antes descritos, alterando la composición fisicoquímica del recurso además de la época de monitoreo húmeda que alteran naturalmente algunos parámetros como la turbiedad, temperatura y % de oxígeno disuelto, se resalta la predominancia **ACEPTABLE** para este año.

Finalmente, para el año 2019 se observa como mantuvo una valoración **ACEPTABLE** teniendo en cuenta que la campaña que obtuvo mejores resultados fue la segunda en sus tres puntos de monitoreo, por lo que se evidencia una recuperación en la valoración del ICA respecto al año inmediatamente anterior, se debe a los monitores y registros que se realizan en la zona por la CRC para el cumplimiento de la norma por parte de los generadores de vertimientos; en cuanto a la primera campaña y su reducción respecto al 2018 se puede dar al cambio climático y su imprevisibilidad de las épocas secas, húmedas y su transición y/o a nuevos vertimientos en la parte alta (E4), es por ello que es importante la revisión de los generadores registrados para controlar el cumplimiento de los límites permisibles, al igual que exigir el registro y cumplimiento a aquellos que no lo están por parte de las entidades competentes.

Tabla 37. Valores ICA subdivisión en campañas de los años 2017, 2018 y 2019 del Río Piendamó

VALOR DEL ICA										
Puntos		2017			2018			2019		
Punto	Punto de monitoreo	1- 17	2- 17	3 - 17	1- 18	2- 18	3 - 18	1- 19	2- 19	3 - 19
E4	Después de Quebrada Nímbe	0.81	0.69	0.67	0.94	0.92	0.92	0.85	0.97	0.81
E5	Después de Silvia	0.81	0.69	0.67	0.90	0.83	0.83	0.82	0.95	0.82
E6	Puente Panamericana	0.93	0.93	0.91	0.74	0.85	0.85	0.87	0.91	0.81

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3. FASE III: ESTIMACIÓN DE LA VARIACIÓN DE CALIDAD DEL AGUA DE DIFERENTES TRAMOS DE LOS RÍOS PIENDAMO Y LAS PIEDRAS, A LO LARGO DEL RÉGIMEN PLUVIAL.

#### 4.3.1. Actividad 1. Recopilación de información secundaria en referencia a documentos, reportes y registros históricos del régimen pluviométrico en la zona de influencia de los puntos de monitoreo.

Se estudió y determino del comportamiento hidrológico de los ríos Las Piedras y Piendamó, mediante una serie de variables obtenidas a través de información pluvial que permitió identificar la inferencia y el análisis de datos con respecto al régimen pluviométrico; el cual hace referencia al comportamiento de las lluvias a lo largo del año, promediando el monto de las precipitaciones en milímetros (mm) de lluvia, obtenidas a lo largo de tres (3) años los cuales fueron 2017,2018 y 2019.

En esta fase se obtuvo información de las estaciones hidrometeorológicas, de las cuales se identificaron las estaciones activas que tienen influencia directa e indirecta sobre el área de estudio por medio de las solicitudes a las entidades mediante oficios, Geoportales y datos abiertos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM e información suministrada por la Fundación Procuencia Río Las Piedras de la División Ambiental del Acueducto y Alcantarillado de Popayán, en la que se identificaron las coordenadas de las zonas de muestreo y las estaciones climatológicas como se observa en la Tabla 38.

Tabla 38. Puntos de Monitoreo de las Fuentes Río Piedras y Río Piendamó

Fuente	Punto	PUNTO DE MONITOREO	GEOREFERENCIACIÓN		
			NORTE	ESTE	m.s.n.m
Río Las Piedras	39	Antes de Piscifactoría El Diviso	761644	1068216	2304

	40	Después de Piscifactoría El Diviso	761093	1066834	2232
	41	Puente vía a Quintana	762124	1063067	2016
Rio Piendamó	54	Después de Quebrada Ñimbe	772305	1057744	1756
	55	Después de Silvia	779969	1077149	2471
	56	Puente Panamericana	765658	1059889	1875

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3.2. Actividad 2. Comparación y análisis de las variables físicas y químicas respecto al régimen pluvial.

#### ISOYETAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MULTITEMPORAL DE LOS RIOS LAS PIEDRAS Y PIENDAMÓ 1997-2016

Teniendo en cuenta los dos puntos medios se realizaron los cálculos de las precipitaciones desde el año 1997 hasta el 2016 suministrados por el IDEAM y de la Fundación Procuena Río Las Piedras de la División Ambiental del Acueducto y Alcantarillado de Popayán, los cuales permitieron realizar el cálculo del mosaico de Isoyetas mediante la interpolación de datos en el software ArcGis 10.3.

#### Rio Las Piedras

Las Isoyetas resultado de las precipitaciones 1997-2016 del Río Las Piedras demostraron que se compone principalmente respecto a los puntos de medición de precipitaciones de épocas secas y húmedas en los dos puntos medios tomados, en donde se destacan respecto a los tres puntos de medición ICA los meses más secos (mayo, junio, octubre y noviembre) y los meses restantes como húmedos como se observa en la figura 30.

El procesamiento de la información arrojó que el tiempo seco predominante de la parte media donde se encuentran el tercer punto de muestreo ICA está en dos periodos de febrero a mayo y de agosto a noviembre, en cuanto a su periodo húmedo que se extiende por los meses restantes; además en la parte baja de la cuenca se identificó que las épocas secas están comprendidas alrededor del año parcialmente a excepción de marzo donde se evidencian precipitaciones más fuertes. Por último, se resalta la mayor precipitación multitemporal fue de 284 mm en el mes de noviembre y el menor de 12 mm en el mes de agosto.

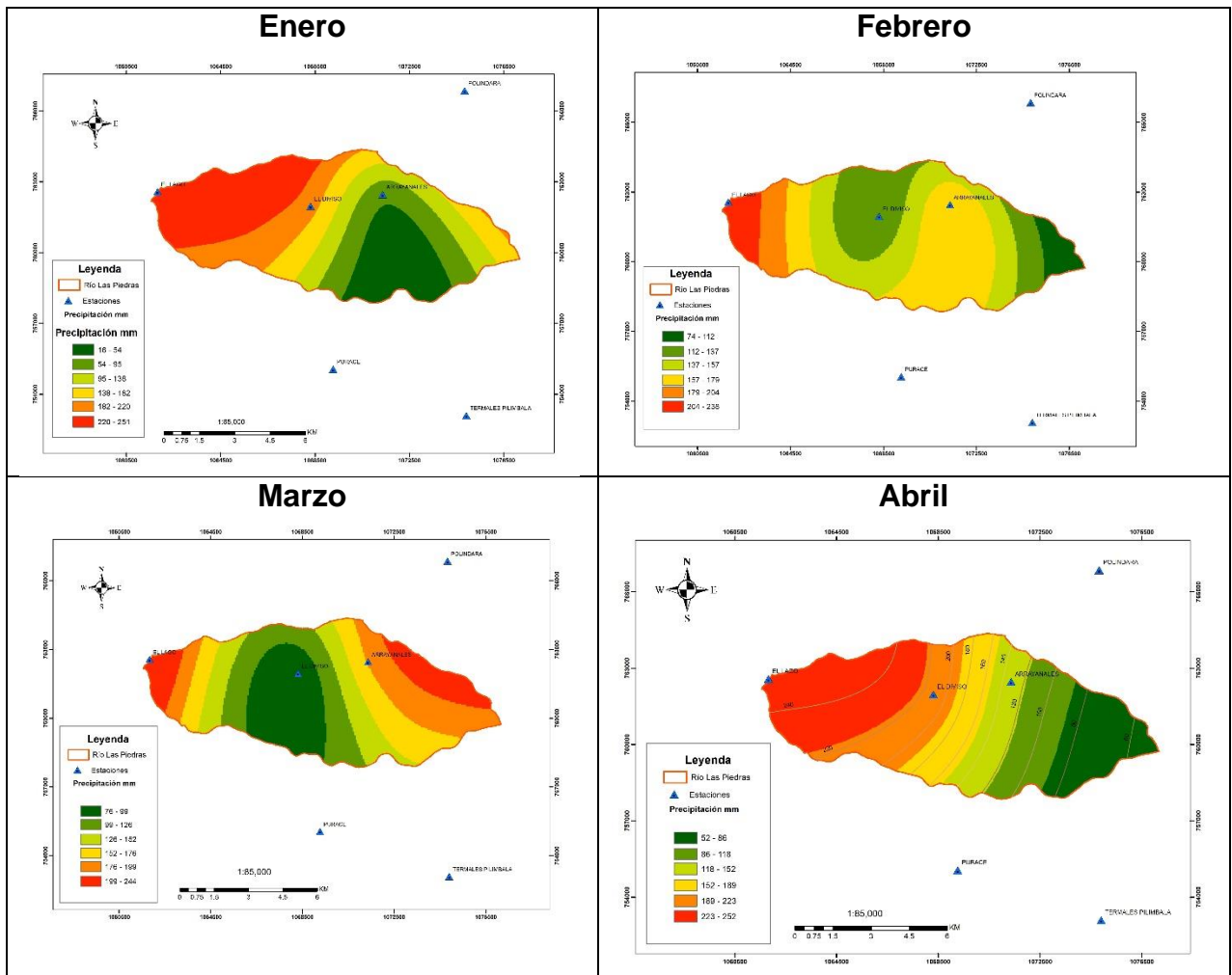
En este registro se evidencia la clara relación entre el comportamiento de la precipitación analizada anteriormente y el comportamiento bimodal del caudal del río en su paso por las estaciones de control. Es así como según las menores precipitaciones comprendidas de junio a septiembre se correlaciona con el promedio de caudal multianual del Río Las Piedras 7.08 m<sup>3</sup>/sg en el monitoreo de Junio 2017 y 0.57 m<sup>3</sup>/sg en agosto de 2019, siendo

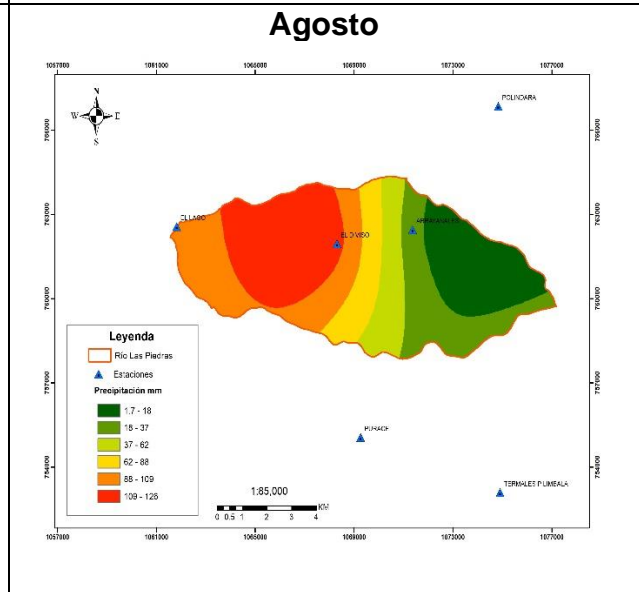
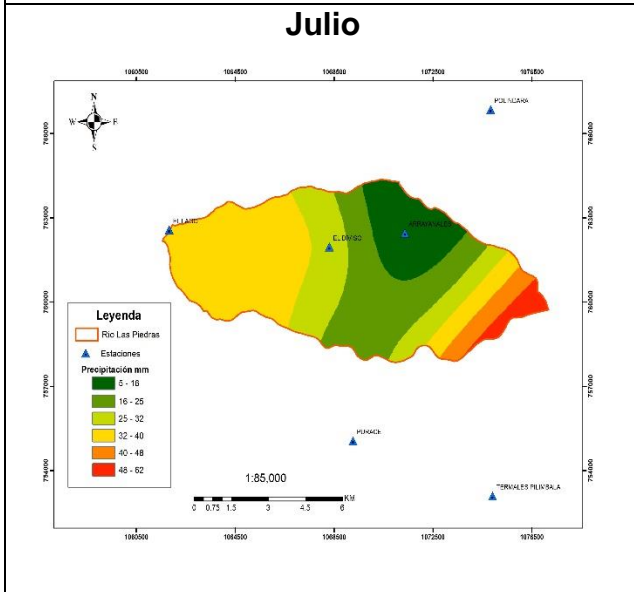
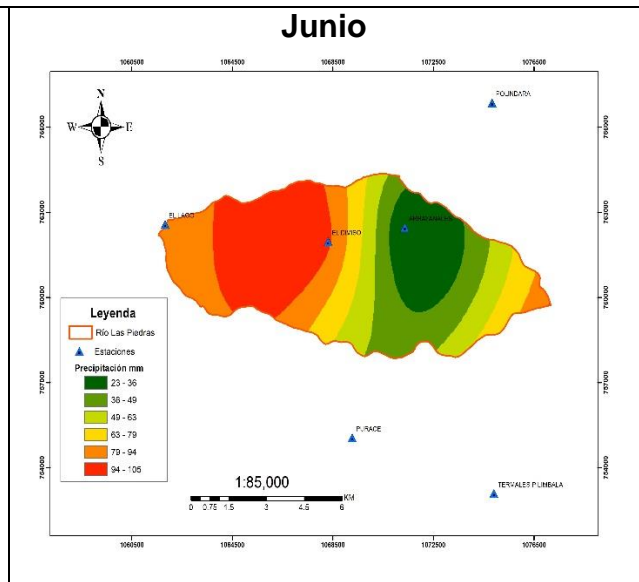
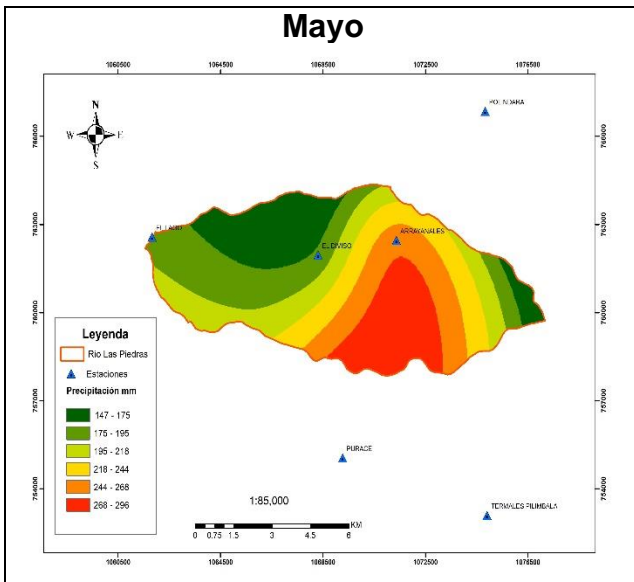
la última la menor registrada en los monitoreos 2017-2019 de la época, si bien este comportamiento no se demuestra significativamente en sus respectivas isoyetas, lo que se debe a que el cambio climático ha contribuido para que algunas modelaciones realizadas desde los años 90 tengan una mayor variación climatológica, o también se debe a la correlación de la precipitación media anual, proviene del hecho de que las estaciones de aforo tienen períodos de registro variables dado que una estación puede haber funcionado durante un período de alta precipitación o viceversa variando los resultados [58].

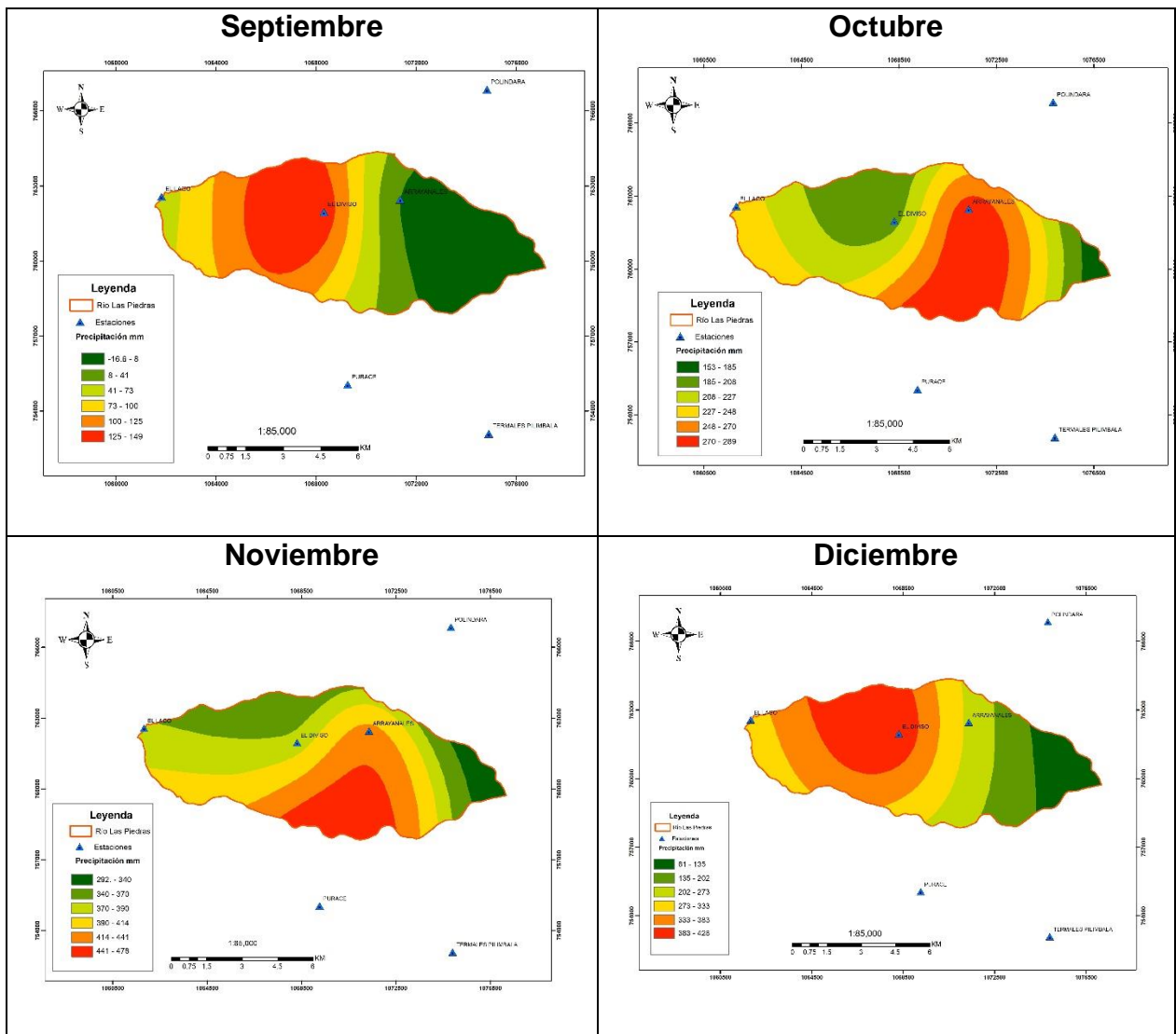
Es de resaltar que el Río Las Piedras cuenta con 23 concesiones a la fecha registradas y aunque ha llegado a niveles bajos de caudal como se expresó anteriormente la fuente tiene una calidad y caudal aceptable para su funcionamiento, en relación a lo expuesto sería importante realizar el índice de calidad del agua en función de la demanda y oferta del mismo para tener certeza de que el caudal ecológico de esta fuente es el apropiado. Las captaciones tienen diversos usos tales como agrícolas, piscicultura, recreación, industrial y doméstica con énfasis en el punto 3 de monitoreo del ICA (después de la piscifactoría) donde se observa una disminución del caudal de la fuente hídrica al igual que el ICA del mismo punto por los parámetros fisicoquímicos realizados comprendidos entre 2017-2019.

Se resalta que los valores mencionados no corresponden al dato de oferta hídrica disponible en el punto de cierre de la fuente, pues para ello deberá recurrirse a cualquiera de los métodos hidrológicos válidos.

Figura 30. Isoyetas para la determinación de la precipitación media por mes del Río Las Piedras







Fuente: Elaboración Propia ArcGis.

### Río Piendamó

Los resultados demostraron que el tiempo húmedo se compone principalmente de dos periodos secos de enero hasta junio y luego de septiembre a diciembre, al igual que un periodo seco de julio a agosto, en la parte alta de la cuenca del Río Piendamó, en cuanto la parte media baja del río presenta precipitaciones medias y bajas a lo largo de los meses multitemporalmente.

El procesamiento de la información arrojó que el tiempo seco de la parte media-baja del río Piendamó tiene mayor magnitud en los meses de febrero y de agosto a diciembre, en cuanto a su periodo húmedo que se extiende desde por los meses restantes.



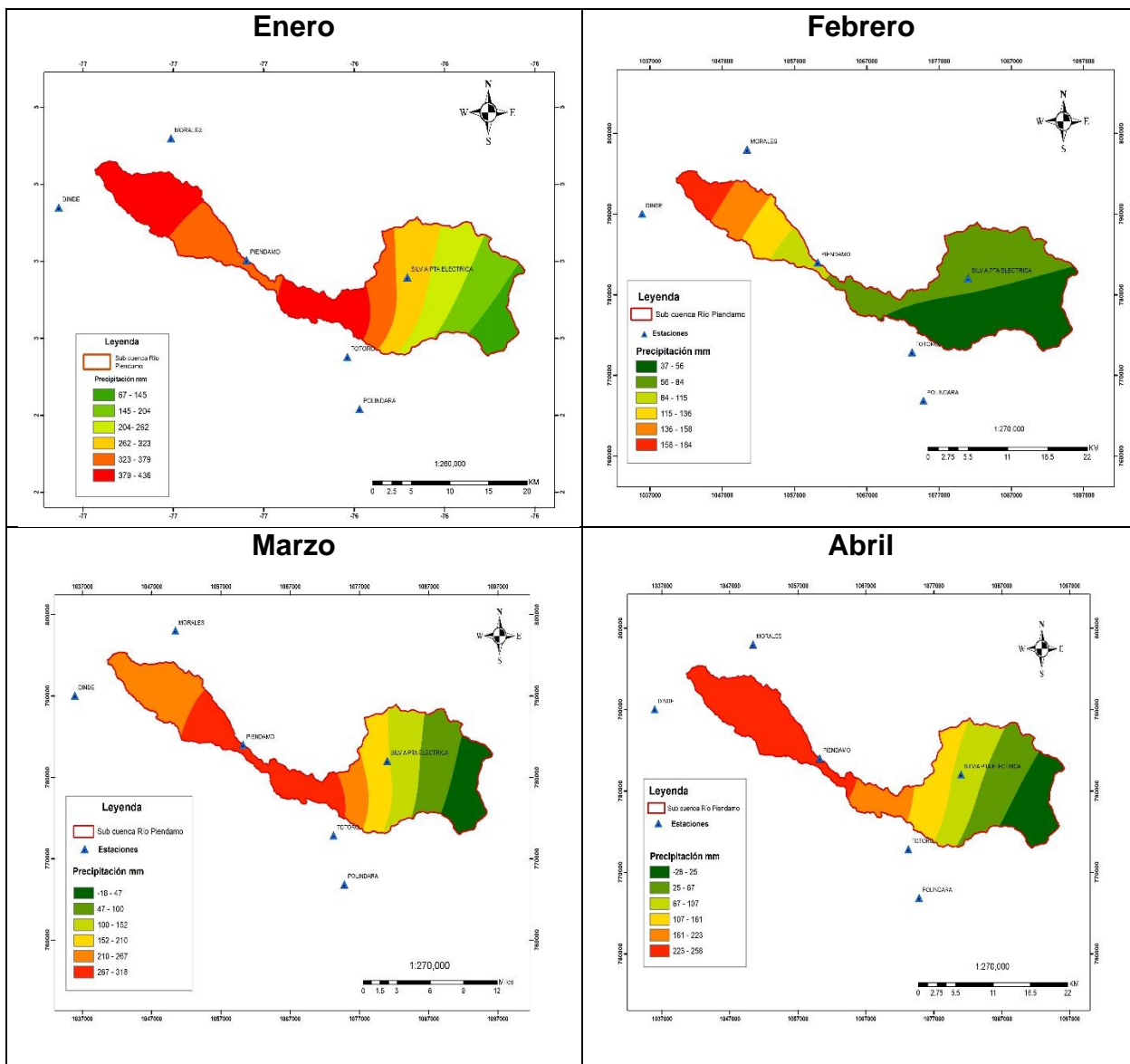
Adicionalmente, permitió conocer que los meses de mayor precipitación son marzo y abril con 235 y 246 mm (figura 31).

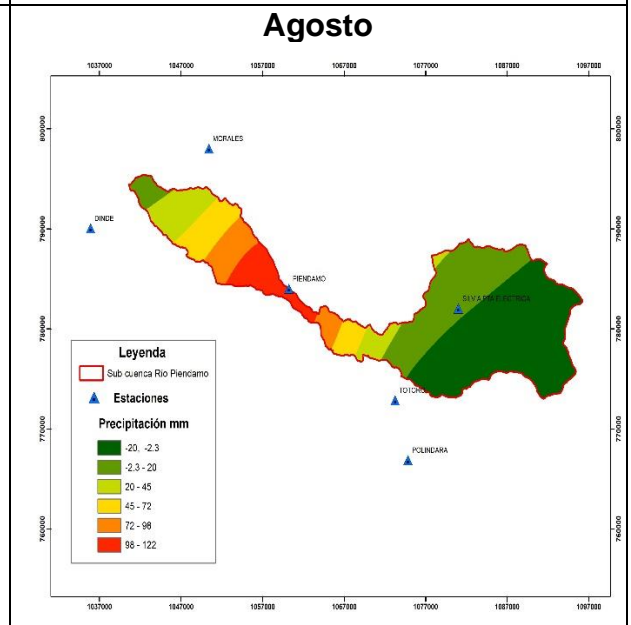
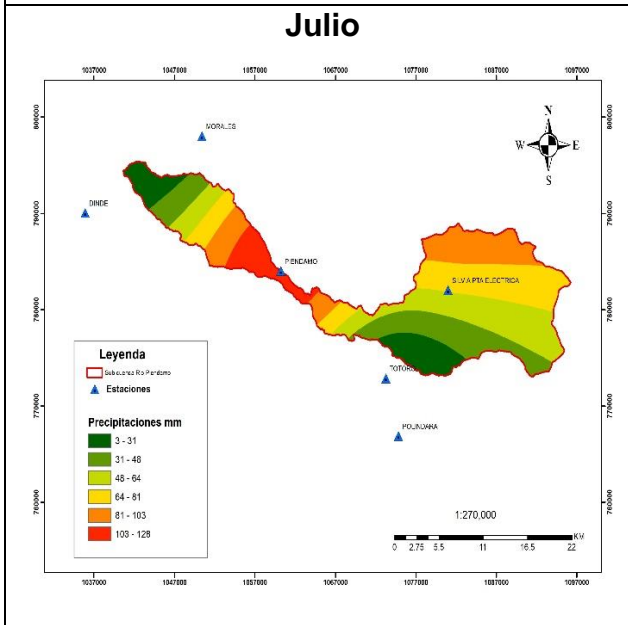
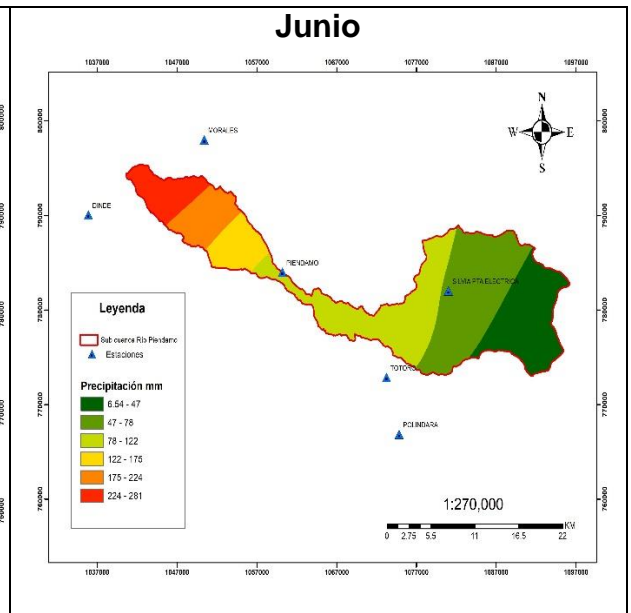
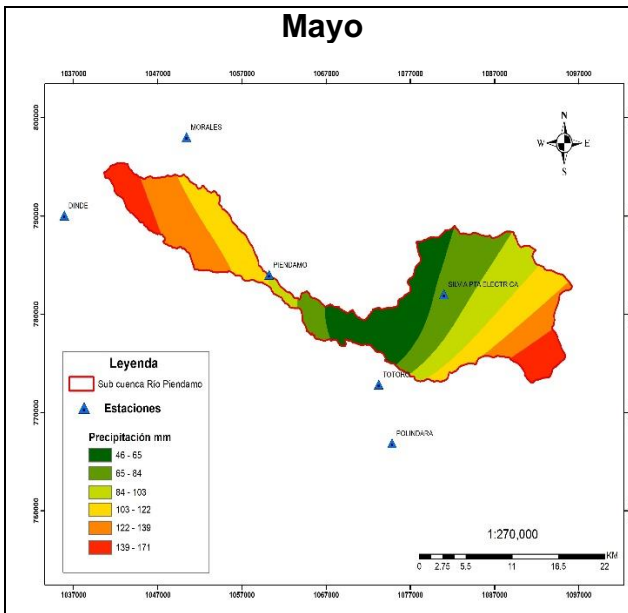
Los registros históricos pluviométricos evaluados corresponden al periodo de 1997 al 2016 y a su vez los resumen. En ella se evidencia la clara relación entre el comportamiento de la precipitación analizada anteriormente y el comportamiento del caudal del río en su paso por las estaciones de control. Es así como el promedio de caudal multianual del río Piendamó registra alrededor de 1.51 m<sup>3</sup>/sg en meses de sequía como lo demuestra el mapa de Isoyeta del mes de julio en donde se aprecia que disminuye las precipitaciones y aumentan en los dos periodos húmedos antes mencionados de la parte alta comprendiendo los meses de aforo de abril mayo y septiembre con mayores caudales en el área como se observa en el Anexo 3.

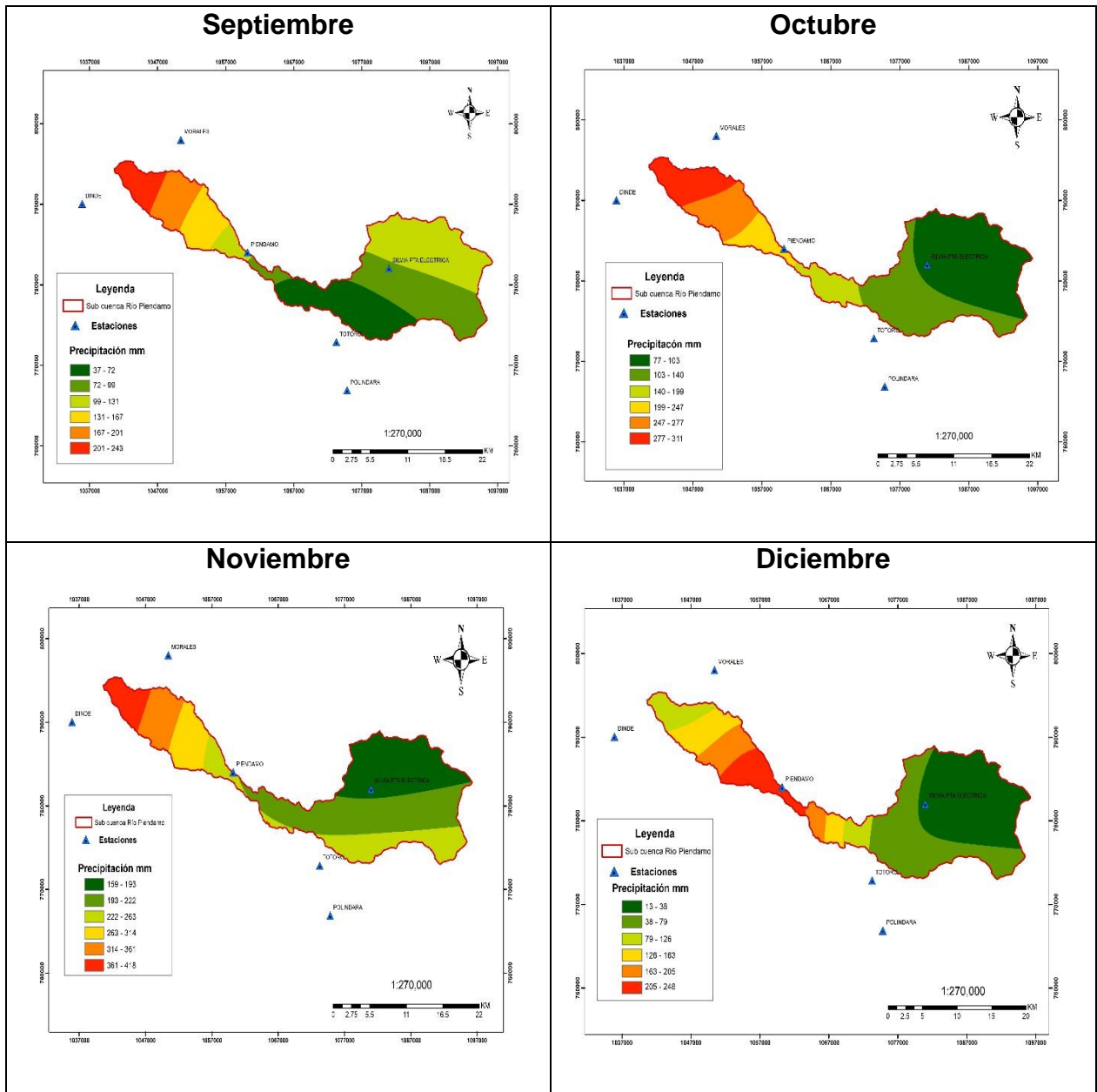
Llama la atención que el caudal del Río Piendamó es menor aguas arriba debido a la cantidad de captaciones realizadas donde hay variedad en el tipo de uso tales como agrícolas, piscicultura, recreación, industrial y domestica lo cual está afectando el cauce de la fuente hídrica al igual que el ICA de la misma dado que los valores que se presentan después de la quebrada Nimbe y después de Silvia se ven más afectadas según la evaluación del ICA por los parámetros fisicoquímicos realizados comprendidos entre 2017-2019

Se resalta que los valores mencionados no corresponden al dato de oferta hídrica disponible en el punto de cierre de la fuente, pues para ello deberá recurrirse a cualquiera de los métodos hidrológicos válidos para la estimación de la misma: Balance hídrico, Método por cobertura y uso del suelo del Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU, transposición de caudales por área, entre otros.

Figura 31. Isoyetas para la determinación de la precipitación media por mes del Río Piendamó







Fuente: Elaboración Propia ArcGis

## COMPARACIÓN ICA DEL RIO LAS PIEDRAS RESPECTO AL REGIMEN PLUVIAL

La calidad del agua del Río Las Piedras, presento un incremento en su DBO en las campañas del 2019 de 9.9 mg/L observado, coincide con la proximidad de descargas provenientes de las PTARS, que pueden estar generando mayor carga contaminante en el último año estudiado considerando que las descargas varían por los usos tipo agrícola, industrial y doméstico entre otros, próximos a efluentes de plantas de tratamiento de

aguas residuales, en cuanto a los niveles para oxígeno disuelto (OD) se comportaron en función de la temporada y caudal de la fuente puesto que en temporada húmeda, como la primer y segunda campaña del 2018 y 2019 (isoyetas marzo y abril), es evidente que los valores aumentan por encima del 90% en cuenca alta y desciende conforme avanza a la parte media y baja, en general en todas las campañas de los 3 años estudiados presenta un excelente comportamiento de este parámetro favoreciendo la autodepuración por descargas y la existencia de biota acuática.

Es de resaltar que esta fuente hídrica abastece a parte de los habitantes de Popayán y en función de ello debe cumplir con los parámetros mínimos permisibles para consumo humano según la OMS [59]. Es por ello que debido a las precipitaciones se debe tener en cuenta este parámetro donde se presentaron los más altos resultados en la segunda campaña del 2018 en el mes de Julio el cual se caracteriza por ser un periodo seco, teniendo en cuenta que los meses inmediatamente anteriores se destacaron por mayores precipitaciones, es por ello que este cambio pluvial influyo en el arrastre de sedimentos en este periodo.

En cuanto la conductividad que presento está en el marco de la resolución 2115 de 2007 estando en sus límites permisibles o por debajo de los mismo sin variaciones significativas; la variación de la alcalinidad se presentó en temporada seca, esto influenciado por la disminución del caudal y por consiguiente el aumento no significativo de concentración de los carbonatos. En cuanto al pH se comportó dentro de los rangos de 6.3-7.7, siendo el menor valor después de la piscifactoría dado que este vertimiento contribuye a la acidificación de la fuente, se resalta que los valores más altos se presentaron en el primer punto de monitoreo que corresponden a una época húmeda (Isoyeta abril).

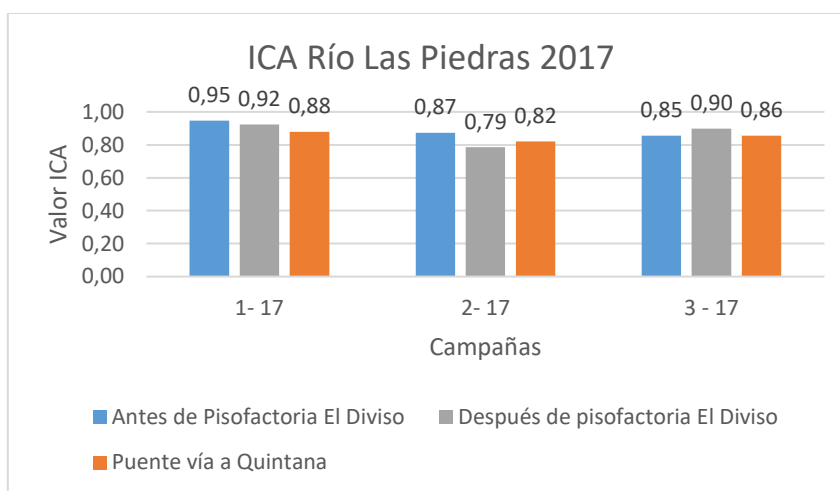
La turbiedad de la zona presento un incremento significativo en la primera campaña de 2017 en el mes de abril según la Isoyeta de este mes es el más lluvioso con precipitaciones medias de 217 mm, lo que produjo arrastre de sedimentos con posibles deslizamientos en la zona causando el incremento en ese monitoreo.

Los coliformes totales y fecales superaron su límite debido a los vertimientos generados a la fuente por vertimientos de la piscifactoría El Diviso, la cual arroja las aguas residuales de tipo industrial y doméstico al río Las Piedras, aunque tiene una buena autodepuración para diluir las altas concentraciones de materia orgánica, se debe realizar control ante este parámetro microbiológico.

El empleo del ICA propuesto facilitó el manejo e interpretación de los datos obtenidos, permitiendo evaluar de forma sencilla las tendencias espaciales y la calidad global del agua del Río Las Piedras. Los subíndices que lo conforman mostraron el comportamiento espacial independiente de los principales tipos de contaminantes, facilitando la comunicación de los resultados en un formato sencillo.

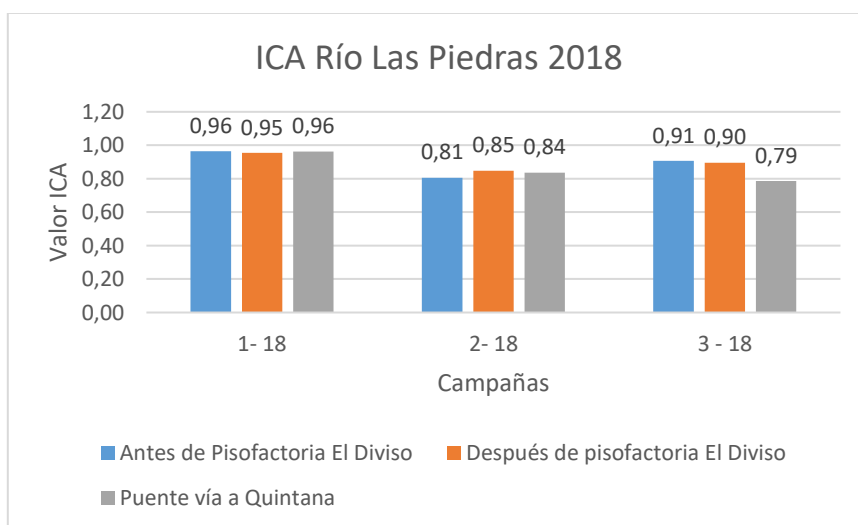
La calidad del agua del Río Las Piedras en general en la Figuras 32, 33 y 34 muestran niveles aceptables y buenos, debido a que las descargas no superan su nivel de autodepuración y son mínimas en función a los límites máximos permisibles que se evaluaron, se resalta la importancia de las plantas de tratamiento tanto industriales como domesticas que contribuyen a la mitigación de impactos antrópicos generados a la fuente. Por otra parte, el comportamiento de los diferentes subíndices del ICA implica que las plantas de tratamiento en operación remueven en forma eficiente los parámetros físico y químicos sin embargo hace falta una mayor eficiencia en cuanto a organismos coliformes, y/o se puede deber a vertimientos no registrados en la zona.

Figura 32. Valor ICA del Río Las Piedras año 2017.



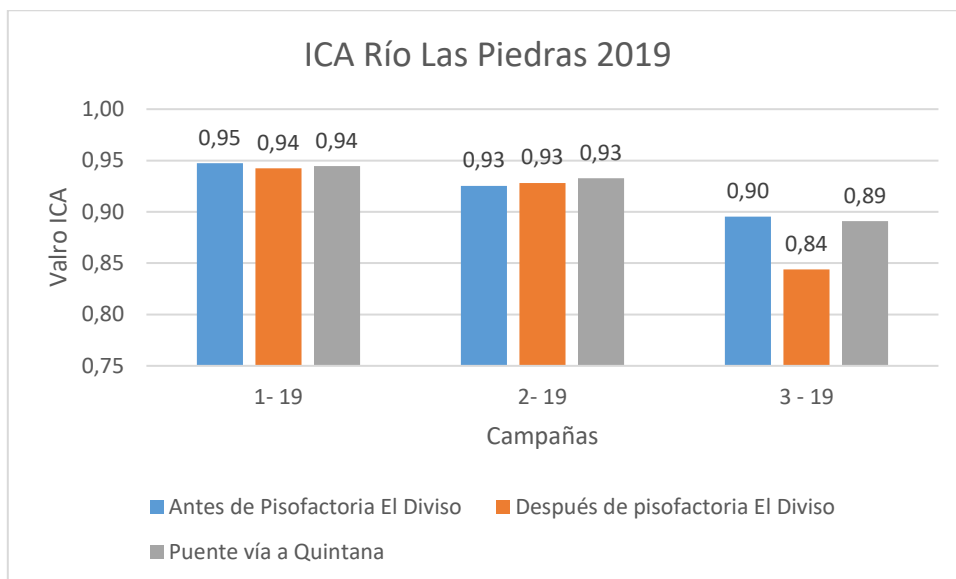
Fuente: Elaboración Propia

Figura 33. Valor ICA del Río Las Piedras año 2018.



Fuente: Elaboración Propia

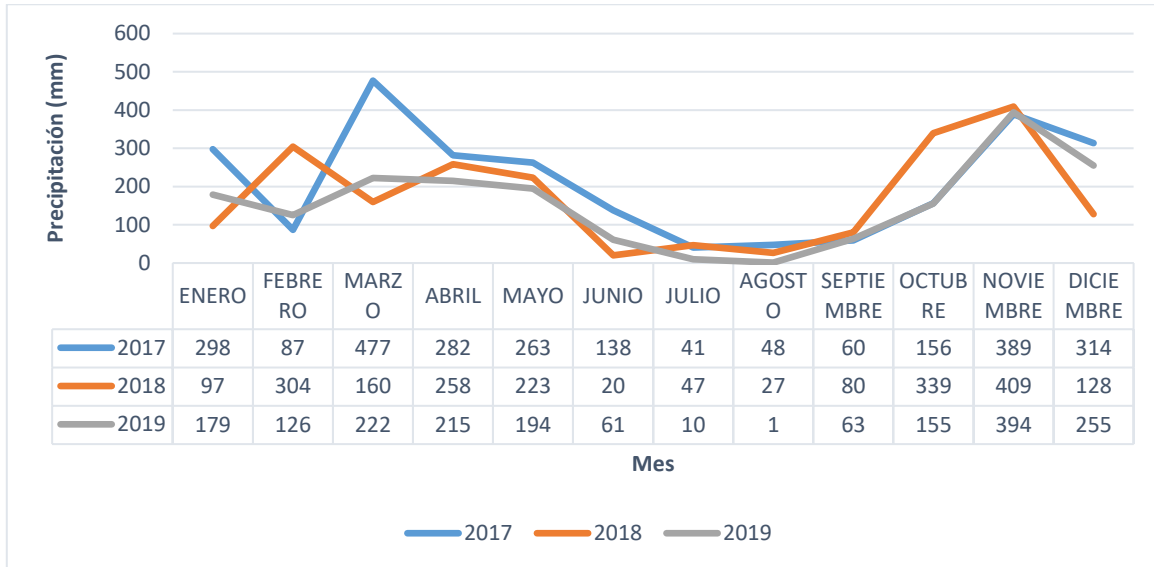
Figura 34. Valor ICA del Río Las Piedras año 2019.



Fuente: Elaboración Propia

En cuanto al ICA y las precipitaciones de los tres años (figura 35) de estudio se evidencia que en el primer y último trimestre del año correspondiente a las primeras y últimas campañas de los mismos las precipitaciones son mayores, incidiendo en los valores de Turbiedad, SST y pH; sin embargo, no muestran una variabilidad significativa a excepción de la última campaña del año 2019 en donde se muestra sequía en la parte alta y época de lluvias en la baja por lo cual la turbiedad aumento y redujo el ICA del punto ubicado después de la piso factoría. En la temporada de sequía los nitratos, nitritos y orto fosfatos presentan una cantidad mayor mas no significativa la cual se puede dar por fuentes geogénicas como antrópicas o por la existencia de descargas clandestinas intermitentes de origen industrial.

Figura 35. Precipitación Media Mensual del Río Las Piedras 2017-2019



Fuente: Elaboración Propia

La conservación de este importante cuerpo de agua es importante dado a que es fuente de abastecimiento de diversos usos, además se hace énfasis en realizar más controles después de la piscifactoría el diviso puesto que en este punto es donde se evidencia mayor variabilidad en los parámetros tomados debido a las practicas económicas de la zona y posibles vertimientos no registrados, siendo imprescindible controlar las descargas clandestinas y exigir el cumplimiento de la normatividad. Adicionalmente, es importante llevar un programa de monitoreo adecuado para dar seguimiento y controlar los efectos de las acciones realizadas sobre la calidad del agua actualizado.

### COMPARACIÓN ICA DEL RIO PIENDAMO RESPECTO AL REGIMEN PLUVIAL

La calidad del agua del Río Piendamó, presento un incremento en su DBO en las campañas del 2019 de 8.89 mg/L, coincide con la proximidad de descargas provenientes del Bypass y PTAR de Silvia que aumentan su cantidad en el área de influencia, sin embargo en los demás puntos de monitoreo cumple respecto a la normatividad ambiental colombiana resolución 2115 del 2007, el decreto 1594 del 1984, 3930 de 2010 y la resolución 630 de 2015; cabe resaltar que el bypass no está cumpliendo con la res 621 del 2015 por tanto es de vital importancia realizar controles por la entidad competente. La disminución de OD a lo largo del tramo de monitoreo se deben al comportamiento según los vertimientos de Silvia registrados y sin registrar afectando su calidad, es evidente la relación en el año 2019 respecto a nuevas condiciones puesto que disminuye significativamente hasta un 8.05% (última campaña en septiembre), también se tiene en cuenta que según la isoyeta del respectivo mes fue una época seca lo que hace que los



caudales sean menores y haya menor aireación, de igual forma es preocupante puesto que pone en riesgo la biota acuática y su corredor biológico.

El aumento de SST en el tercer punto de monitoreo correspondiente a puente panamericana que recoge los vertimientos de Silvia se evidencia una afectación en la fuente por los mismos ya que en el transcurso de los años es el punto donde aumenta este parámetro, se resalta que en la primera campaña del 2018 se obtuvo 322 mg/L lo que se debió según la isoyeta del mes de abril a que en la parte alta hubo fuertes lluvias que arrastraron material particulado hasta este tramo, al igual que posibles derrumbes o deslizamientos de la zona que a su vez aumentaron su turbiedad (Figura 29) para esta misma campaña.

En cuanto la conductividad que presento está en el marco de la resolución 2115 de 2007 estando en sus límites permisibles o por debajo de los mismo sin variaciones significativas. En cuanto al pH se comportó dentro de los rangos de 5.5 - 8, siendo el menor valor después de los vertimientos de Silvia hacia el puente de la panamericana donde disminuye gradualmente debido a la acidificación por acción de los mismos.

Los coliformes totales y fecales superaron su límite debido a los vertimientos generados a la fuente por vertimientos de tipo domésticos, estos provienen de la planta de tratamiento de aguas residuales de Media Loma y el Bypass de Silvia, tratando los residuos líquidos de los municipios de Piendamó y Silvia respectivamente. Cabe resaltar que el vertimiento denominado Bypass no cumple con los parámetros límites máximo permisibles estipulados y que la PTAR cumple en un 50% su función puesto que el restante es directamente vertido, por ende, se hace vital que se cumpla el acuerdo 09 de 2019 de la CRC, para mitigar los impactos recibidos con un horizonte de tres años.

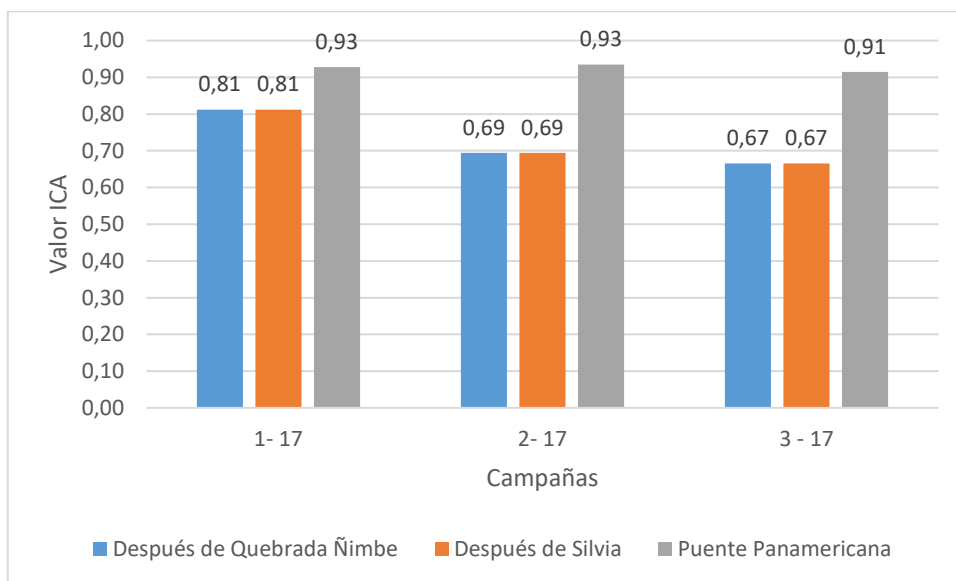
Además, se debe tener en cuenta que la presencia de la PCH Vatia S.A. E.S.P. con una concesión de 1500 LPS, tiene un rol importante en el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos dado que las dinámicas naturales de la fuente cambian, sin embargo, se estabilizan sin generar impactos de mayor magnitud como se presenta en los registros de la CRC, sin poner en riesgo significativo la calidad de la fuente.

Aunque el ICA tabulado fue aceptable para las diferentes campañas teniendo en cuenta el componente pluvial, es importante que se ejecuten las acciones establecidas para mejorar la calidad del agua y que se realicen más monitoreos en los dos últimos puntos puesto que es donde se identifica la problemática antes mencionada; por último, se destaca que la precipitación pluvial no fue suficiente para diluir las altas concentraciones de materia orgánica. Adicionalmente, los escurrimientos provocados por las precipitaciones arrastran contaminantes al cauce del río, incrementando su concentración en el agua.

La calidad del agua del Río Piendamó en general en la Figuras 36, 37 y 38 muestran niveles aceptables y buenos, debido a que las descargas no superan su nivel de

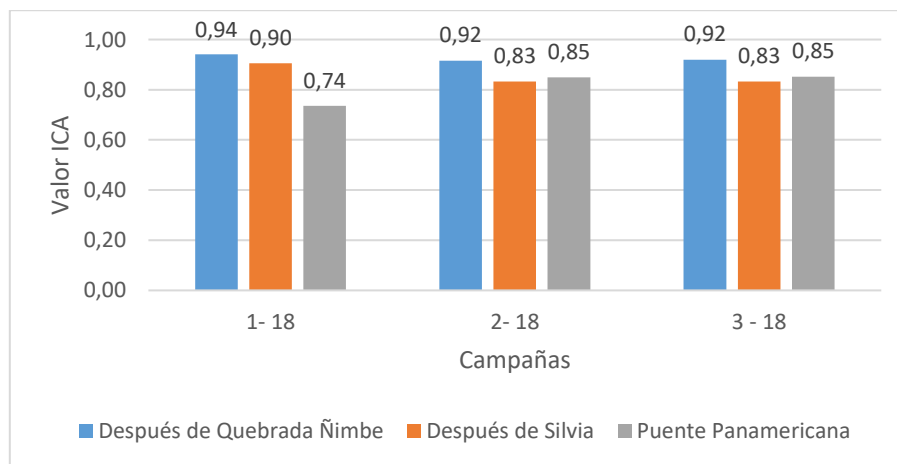
autodepuración, sin embargo como se mencionaba algunos parámetros han excedido límites máximos permisibles que se evaluaron, es por ello que se hace énfasis en la importancia de las plantas de tratamiento tanto industriales como domésticas que contribuyen a la mitigación de impactos antrópicos generados a la fuente y su adecuada captación de la totalidad de vertimientos, tratamiento y mantenimiento. Por otra parte, el comportamiento de los diferentes subíndices del ICA implica que las plantas de tratamiento en operación remueven de forma aceptable mas no eficiente los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Figura 36. Valor del ICA del Río Piendamó 2017



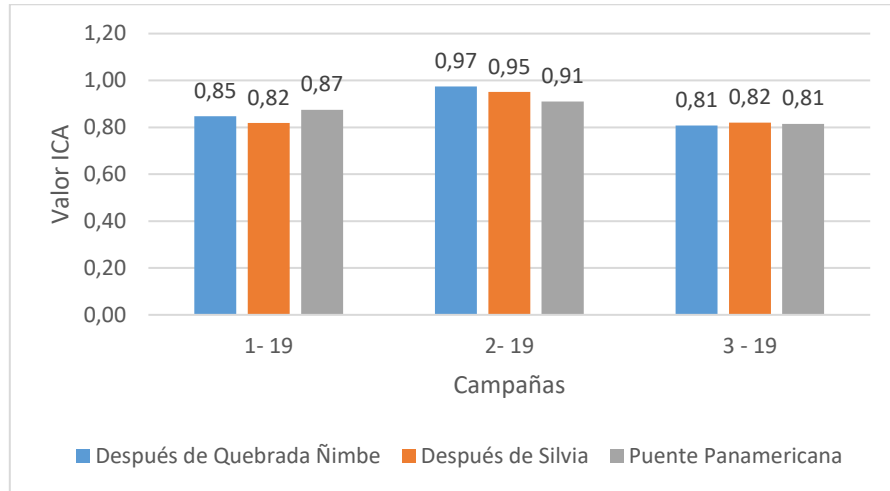
Fuente: Elaboración Propia

Figura 37. Valor del ICA del Río Piendamó 2018



Fuente: Elaboración Propia

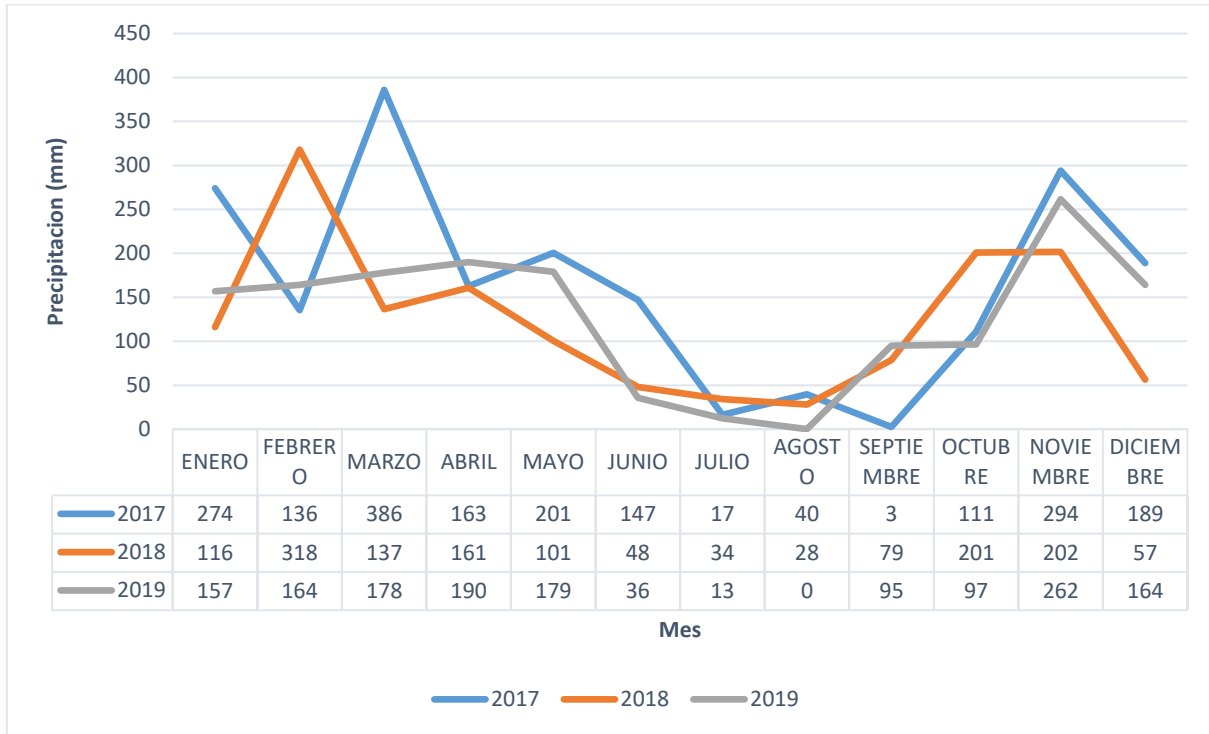
Figura 38. Valor del ICA del Río Piendamó 2019



Fuente: Elaboración Propia

En cuanto al ICA y las precipitaciones de los tres años (figura 39) de estudio se evidencia que en el primer y último trimestre del año correspondiente a las primeras y últimas campañas de los mismos las precipitaciones son mayores, incidiendo en los valores de Turbiedad, SST y pH, a su vez disminuye de OD; también se identificó de los monitoreos en las campañas de épocas húmedas (isoyetas abril y junio) de 2018 y 2019, después de Silvia y puente de la panamericana influye en el aumento de su caudal y parámetros como turbiedad y SST, entre otros se encontraron fuera de los límites alterando parcialmente el ICA.

Figura 39. Precipitación media mensual del Río Piendamó 2017-2019



Fuente: Elaboración Propia

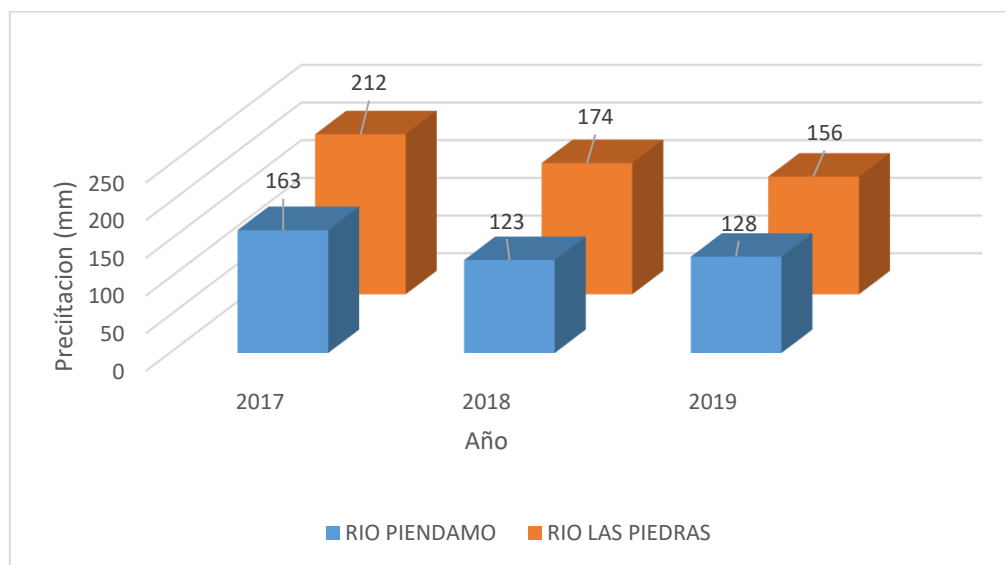
La conservación de este importante cuerpo de agua es importante puesto que abastece diversos usos de tipo industrial, agrícola y doméstico, además se hace énfasis en realizar más controles para los vertimientos provenientes de Silvia puesto que en este punto es donde se evidencia mayor variabilidad en los parámetros tomados debido a las malas prácticas y fallas en las PTAR, además se contempla la existencia de descargas clandestinas, por ello se hace un llamado a las entidades competentes para exigir el cumplimiento de la normatividad, de la mano con un adecuado programa de monitoreo para dar seguimiento y controlar los efectos de las acciones realizadas sobre la calidad del agua.

### COMPARACIÓN ICA ENTRE EL RÍO LAS PIEDRAS Y PIENDAMO RESPECTO AL REGIMEN PLUVIAL

Si bien se contempla que el Río Las Piedras tiene diversas variaciones pluviométricas en los diferentes puntos de monitoreo, se resalta que a comparación el río Piendamó, presenta mayores precipitaciones a lo largo teniendo en cuenta el análisis multianual en donde se destaca que su mayor precipitación es de 284 mm a comparación del Río Piendamó con 246 mm, además que las temporadas de mayor sequía de ambas fuentes se comprenden de junio a septiembre debido a que comparten características morfológicas en un área de influencia cercano.

En la Figura 40 se observa como en el periodo 2017-2019 han disminuido las precipitaciones promedio anuales del Río Piendamó a comparación del Río las Piedras, teniendo en cuenta que la primer fuente mencionada tiene menores precipitaciones; para tener una mejor idea del Promedio anual de reducción de precipitaciones se utilizaron los datos de las isoyetas desde 1997-2016 en donde se observó una variación del Río Piendamó de 3.15 mm y del Río Las Piedras de 11.7 mm; por lo que se debe vislumbrar que falta el entendimiento de las posibles repercusiones por cambios en la concentración de la precipitación superando los alcances de la presente pasantía puesto que se necesitan de estudios con mayor profundidad climatológicos, para determinar de manera más precisa las adaptaciones futuras en la sociedad y los sistemas productivos para hacer frente a los riesgos por cambios en la frecuencia e intensidad de eventos de lluvia, aunque no son de significativa magnitud en el momento se tiene una alta incertidumbre del comportamiento del clima futuro, teniendo en cuenta el cambio climático y nuevos fenómenos que se presentan derivados de prácticas como las emisiones de gases de efecto invernadero, el crecimiento poblacional y cambios a nivel local; se requiere enfrentar las tendencias de cambio y no escenarios futuros. En este sentido, para la planificación de las cuencas es importante considerar, las tendencias promedio de reducción en la precipitación anual y mensual; así como los cambios en la estacionalidad del régimen bimodal.

Figura 40. Precipitaciones Promedio Anual de los Ríos Las Piedras y Piendamó 2017-2019



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4. FASE IV: ESTABLECIMIENTO DE LA DINÁMICA FÍSICOQUÍMICA EN DIFERENTES TRAMOS DE LOS RÍOS PIENDAMO Y LAS PIEDRAS EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA.

##### 4.4.1. Actividad 1. Implementación de análisis estadístico

En esta fase se utilizó el programa Past versión 3.0 para los índices de similitud por medio de análisis de componentes principales y discriminantes, los cuales a su vez arrojan los grupos y sus relaciones; la decodificación del programa se presenta en las tablas 19 y 20.

Teniendo en cuenta la correlación de los datos obtenidos se tiene que los componentes tienen diversidad en su comportamiento por los sólidos suspendidos, OD y DBO presentaron mayor diversidad en los puntos bajos de las cuencas por lo que se establece que las variables crecen y decrecen a la vez teniendo en cuenta las dinámicas en épocas de sequía y lluvia en función de los meses de monitoreo por lo cual se establece que cuentan con una nube de puntos crecientes y con grupos anidados en función a los mismos parámetros de estudio.

#### RIO LAS PIEDRAS

Teniendo en cuenta la decodificación de la Tabla 39 para los puntos, año y campaña de monitoreo se procede a realizar el endogramas del Río Las Piedras.

Tabla 39. Decodificación en Past V 3.0, Río Las Piedras

P- FUENTE RIO LAS PIEDRAS			
DECODIFICACION	PUNTO DEL RÍO LAS PIEDRAS	AÑO DE MONITOREO	CAMPAÑA DE MONITOREO
P1_2017_M1	P1: Antes de Piscifactoría El Diviso	2017	M1: Primera campaña - Abril
P1_2017_M2			M2: Segunda campaña - Junio
P1_2017_M3			M3: Tercera campaña - Agosto
P1_2018_M1		2018	M1: Primera campaña - Marzo
P1_2018_M2			M2: Segunda campaña - Abril
P1_2018_M3			M3: Tercera campaña - Agosto
P1_2019_M1		2019	M1: Primera campaña - Marzo

P1_2019_M2			M2: Segunda campaña - Agosto
P1_2019_M3			M3: Tercera campaña - Octubre
P2_2017_M1	P2: Después de Piscifactoría El Diviso	2017	M1: Primera campaña - Abril
P2_2017_M2			M2: Segunda campaña - Junio
P2_2017_M3			M3: Tercera campaña - Agosto
P2_2018_M1		2018	M1: Primera campaña - Marzo
P2_2018_M2			M2: Segunda campaña - Abril
P2_2018_M3			M3: Tercera campaña - Agosto
P2_2019_M1		2019	M1: Primera campaña - Marzo
P2_2019_M2			M2: Segunda campaña - Agosto
P2_2019_M3			M3: Tercera campaña - Octubre
P3_2017_M1	P3: Puente vía Quintana	2017	M1: Primera campaña - Abril
P3_2017_M2			M2: Segunda campaña - Junio
P3_2017_M3			M3: Tercera campaña - Agosto
P3_2018_M1		2018	M1: Primera campaña - Marzo
P3_2018_M2			M2: Segunda campaña - Abril
P3_2018_M3			M3: Tercera campaña - Agosto
P3_2019_M1		2019	M1: Primera campaña - Marzo
P3_2019_M2			M2: Segunda campaña - Agosto
P3_2019_M3			M3: Tercera campaña - Octubre

Fuente: Elaboración Propia

## Análisis de Componentes Principales

Para el análisis de las multivariantes por PCA, es decir análisis por componentes principales que se observa en el anexo 5, se realizó la transformación de un conjunto de datos inicial (variables correlacionadas) en componentes principales, en donde en su centro se encuentran los parámetros que están mayormente correlacionados, además de presentar el mayor porcentaje de varianza respecto a la correlación de datos en el parámetro de Caudal con un 28.12% lo que se debe a las diferentes fechas de monitoreo de las campañas y los fenómenos del niño y la niña, además de las captaciones de agua para uso doméstico (Captación de la PTAP del Acueducto y Alcantarillado de Popayán), piscícola (Piscifactoría el Diviso), industrial y agrario (cultivos permanentes y semipermanentes).

Seguido del pH y temperatura con una varianza del 18.6 % y 13.9% respectivamente, puesto a que las variaciones que presenta son en función a los vertimientos domésticos y piscícolas que se generan en su mayoría a lo largo de la zona de estudio, provenientes de sus captaciones a lo largo de la fuente con 858 LPS y 792 LPS respectivamente.

Es importante mencionar el control del cumplimiento de los límites máximos permisibles a la fuente por los generadores de los diferentes usos del recurso hídrico.

Figura 41. Varianza respecto a la correlación de PCA, Río Las Piedras

PC	Eigenvalue	% variance
1	4.21813	28.121
2	2.79198	18.613
3	2.07937	13.862
4	1.31183	8.7455
5	1.22922	8.1948
6	1.09645	7.3097
7	0.646561	4.3104
8	0.567418	3.7828
9	0.363885	2.4259
10	0.230435	1.5362
11	0.182337	1.2156
12	0.126852	0.84568
13	0.0886639	0.59109
14	0.0592018	0.39468
15	0.00765683	0.051046

Fuente: Elaboración Propia Past V3.0

En cuanto a las diferentes tomas de muestras por monitoreos se relacionan de manera cercana, a excepción del punto 2 de monitoreo en las diferentes campañas de 2018. Las cuales se encuentran distribuidas puesto que no comparten similitud de características fisicoquímicas debido a que las campañas son de abril de este año y sus parámetros



cambiaron en los tres puntos de monitoreo dado que cambian los parámetros fisicoquímicos por la época húmeda que presenta en los puntos de monitoreo, además se presenta otro cambio sobre el eje Y indicado que los puntos 2 y 3 del 2017 en los cuales hay diversidad en los parámetros de OD, SST y DBO, lo que se puede dar por los vertimientos de la piscifactoría presente en la zona y los no registrados alterando la calidad de la fuente; finalmente se resalta que los parámetros fisicoquímicos de la mayoría de monitoreos de comporta homogéneamente en un grupo anidado sobre el tercer cuadrante. (ver Anexo 5)

### **Análisis Discriminante**

Para este análisis de resalta la efectividad por componentes criterio como lo fueron los puntos de muestreo y muestreo como se observa en las figuras 42 y 43.

Se realizaron los casos por discriminación cruzada como se observa en la Figura 41, en donde se analiza a partir de los muestreos realizados, con una alta significancia puesto que las correlaciones respecto a M1 (primera campaña), M2 (segunda campaña) y M3 (tercera campaña), arrojan datos correlacionados directamente (misma dirección del vector), (indirectamente ángulo de  $90^\circ$ ) e inversamente ( $180^\circ$ ); de la siguiente forma:

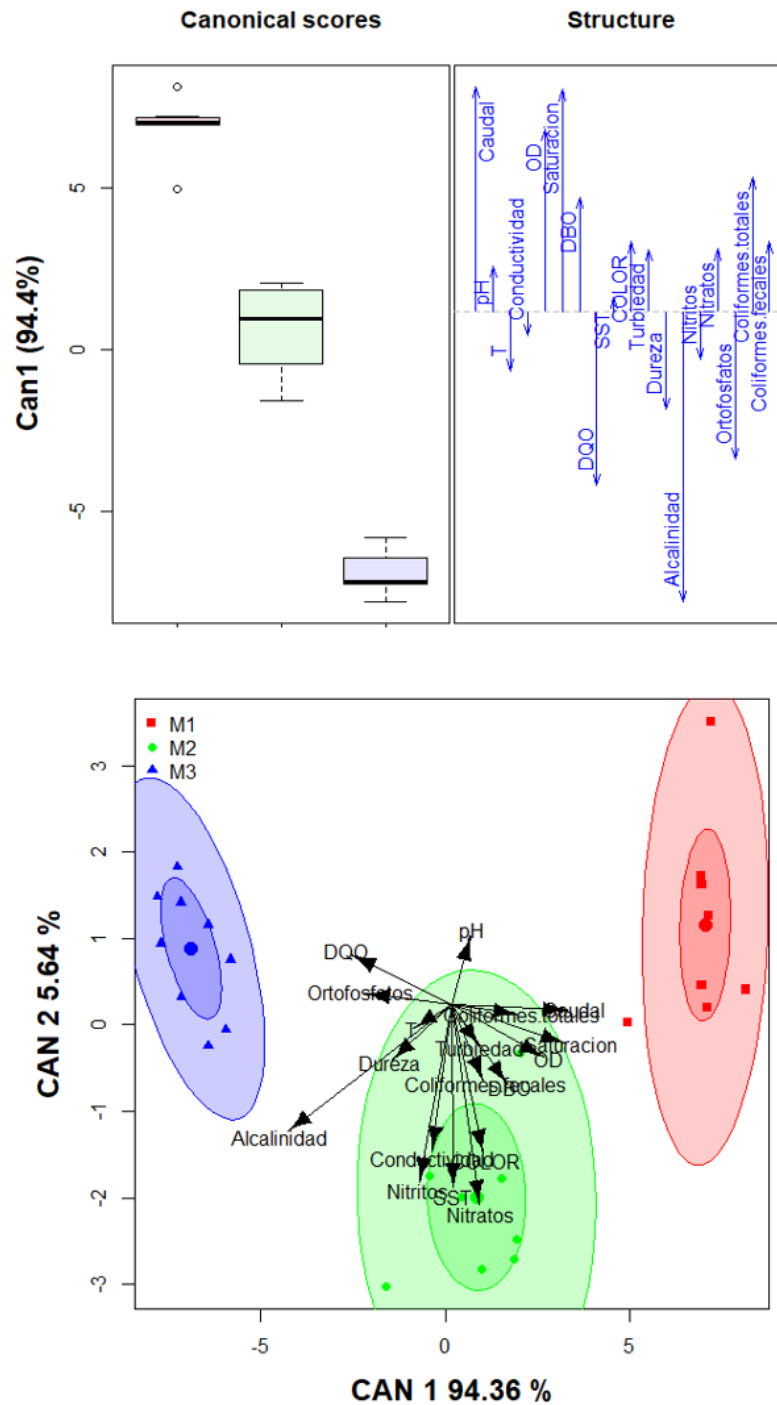
Para los diferentes periodos de monitoreos presentan distribuciones homogéneas a excepción de M1 (primera campaña) puesto que esta temporada es de transición de sequía a una época húmeda.

Respecto a los parámetros fisicoquímicos es evidente la relación inversa entre DQO y el % OD al igual que la DBO, puesto que esta muestra el comportamiento de las sustancias contaminantes que reducen la cantidad de OD para la fuente; al igual que la correlación directa de los parámetros que indican SST en la fuente como el color aparente y la turbiedad característicos por aumentar en la prevalencia del fenómeno de la Niña y arrastrar los y material a la fuente por deslizamientos.

Además, se resalta la amplitud y semejanza de los datos de M2 (segundo monitoreo), respecto a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, puesto a que se encuentran en el eje central de los parámetros.

Por último, se destaca que las discriminantes son un método eficiente para demostrar el comportamiento de la fuente en función los periodos de monitoreo y los parámetros de control y seguimiento de la fuente.

Figura 42. Discriminante por muestreo del Río Las Piedras



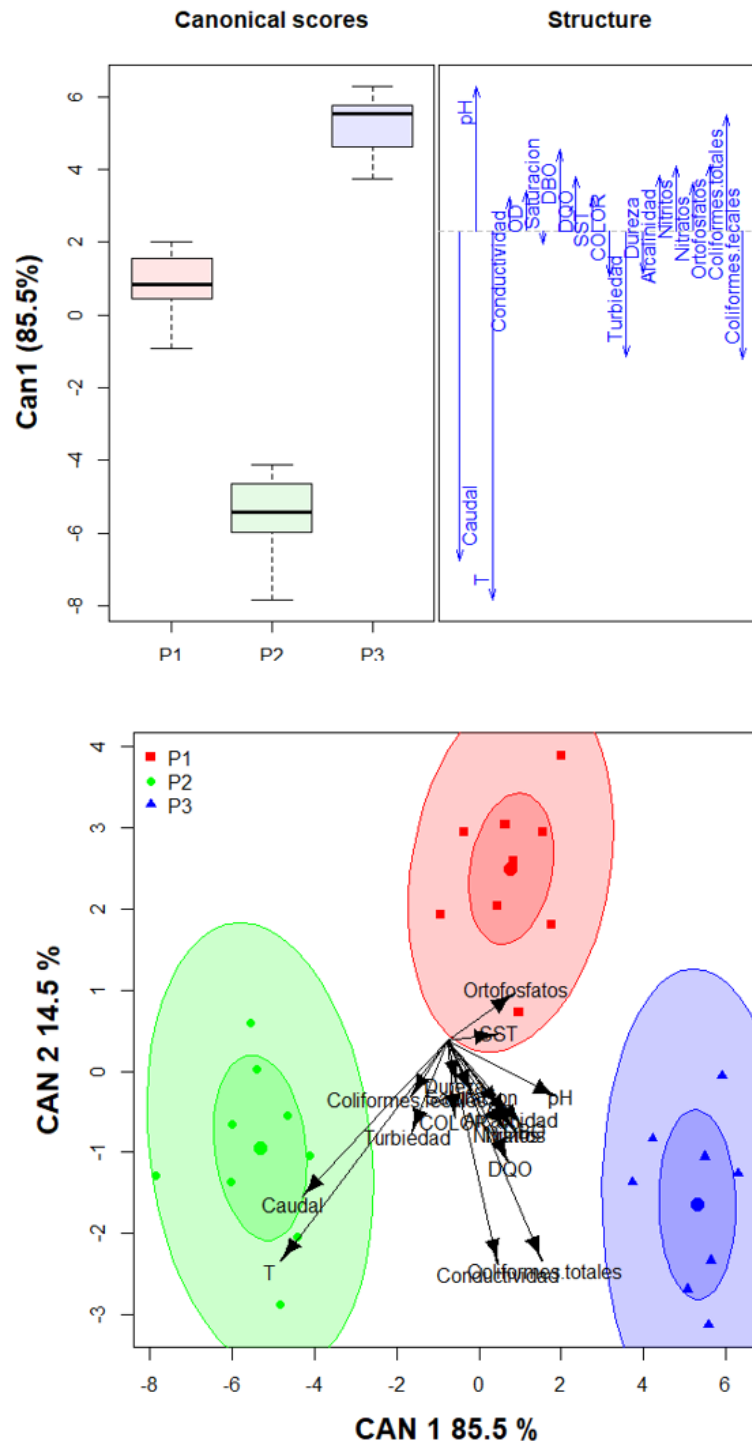
Fuente Elaboración Propia

En cuanto a la Figura 43 en donde se relacionan los parámetros fisicoquímicos en función de los puntos de monitoreo del Río Las Piedras respecto las campañas M1 (primera campaña), M2 (segunda campaña) y M3 (tercera campaña), arrojan datos correlacionados directamente (misma dirección del vector), (indirectamente ángulo de 90°) e inversamente (180°); de la siguiente forma:

Se resalta la homogeneidad de los valores de los parámetros respecto al punto de monitoreo P1: Antes de Piscifactoría El Diviso, puesto que en este punto no se evidencian dispersión de datos significativos, dado que la intervención antrópica en la parte alta de la zona de estudio es menor; seguido el P2: Puente vía Quintana y P3. Después de la piscifactoría, donde caen los vertimientos provenientes de captaciones agropecuarias de la zona rural como los cultivos permanentes y semipermanentes típicos de la zona, al igual que los vertimientos de la PTAR industrial y doméstica de la Piscifactoría El Diviso que si bien al año 2017, con su respectiva evaluación de impactos ambientales y cumplimiento con la norma estaba dentro de la misma, según los parámetros fisicoquímicos del año 2019 han variado en cuanto a la cantidad de coliformes y el aumento de la DBO, por lo cual se requiere actualizar estudios de los respectivos vertimientos de la zona.

Por último, los parámetros se correlacionan a excepción del caudal y la temperatura de debido al cambio de caudales por concesiones de tipo doméstica correspondiente al Acueducto y Alcantarillado de Popayán (850 LPS) y población aledaña a la fuente, industrial, agrario y de la piscifactoría (El Diviso 792 LPS), en cuanto la variación de la temperatura de da por los vertimientos generados por los mismos con énfasis en los puntos 2 y 3 los cuales se encuentran más dispersos debido a la carga orgánica que reciben encontrándose aguas debajo de la zona de estudio.

Figura 43. Discriminante por punto de monitoreo del Río Las Piedras



Fuente Elaboración Propia

## RIO PIENDAMO

Teniendo en cuenta la decodificación de la Tabla 40 para los puntos, año y campaña de monitoreo se procede a realizar el endograma del Río Piendamó.

Tabla 40. Decodificación en Past V 3.0, Río Piendamó

R-FUENTE RIO PIENDAMO			
DECODIFICACION	PUNTO DEL RÍO PIENDAMÓ	AÑO DE MONITOREO	CAMPAÑA DE MONITOREO
R1_2017_M1	R1: Después de Quebrada Ñimbe	2017	M1: Primera campaña - Mayo
R1_2017_M2			M2: Segunda campaña - Julio
R1_2017_M3			M3: Tercera campaña - Septiembre
R1_2018_M1		2018	M1: Primera campaña - Abril
R1_2018_M2			M2: Segunda campaña - Julio
R1_2018_M3			M3: Tercera campaña - Septiembre
R1_2019_M1		2019	M1: Primera campaña - Abril
R1_2019_M2			M2: Segunda campaña - Julio
R1_2019_M3			M3: Tercera campaña - Septiembre
R2_2017_M1	R2: Después de Silvia	2017	M1: Primera campaña - Mayo
R2_2017_M2			M2: Segunda campaña - Julio
R2_2017_M3			M3: Tercera campaña - Septiembre
R2_2018_M1		2018	M1: Primera campaña - Abril
R2_2018_M2			M2: Segunda campaña - Julio
R2_2018_M3			M3: Tercera campaña - Septiembre
R2_2019_M1		2019	M1: Primera campaña - Abril
R2_2019_M2			M2: Segunda campaña - Julio

R2_2019_M3			M3: Tercera campaña - Septiembre
R3_2017_M1	R3: Puente Panamericana	2017	M1: Primera campaña - Mayo
R3_2017_M2			M2: Segunda campaña - Julio
R3_2017_M3			M3: Tercera campaña - Septiembre
R3_2018_M1		2018	M1: Primera campaña - Abril
R3_2018_M2			M2: Segunda campaña - Julio
R3_2018_M3			M3: Tercera campaña - Septiembre
R3_2019_M1		2019	M1: Primera campaña - Abril
R3_2019_M2			M2: Segunda campaña - Julio
R3_2019_M3			M3: Tercera campaña - Septiembre

Fuente: Elaboración Propia

### Análisis de Componentes Principales

Para el análisis de las multivariantes por PCA, es decir análisis por componentes principales que se observa en el anexo 6, se realizó la transformación de un conjunto de variables correlacionadas en componentes principales, en donde en su centro se encuentran los parámetros que están mayormente correlacionados, además de presentar el mayor porcentaje de varianza respecto a la correlación de datos en el parámetro de Caudal (ver Figura 43) con un 25.39% lo que se debe a las diferentes fechas de monitoreo de las campañas y los fenómenos del niño y la niña, además de las captaciones de agua para diferentes usos como el energético de la empresa Vatia S.A. E.S.P con un total de 1500 LPS, uso doméstico (APC Acueducto Piendamó Morales Organización Autorizada, Empresa de Acueducto Y Alcantarillado De Silvia E.A.A.S E.S.P. y la Asociación de Usuarios del Acueducto de la Vereda El Hogar Pinar en Liquidación) con un total de 282.4 LPS del caudal de la fuente y piscícola 425.61 LPS seguido del uso pecuario , industrial y riego en su minoría.

En cuanto a la variación de los parámetros pH y temperatura con el del 22.97 % y 15.19% respectivamente, se dan puesto a que las variaciones que presenta son en función a los impactos por cambios en las dinámicas hídricas como las concesiones y vertimientos de las mismas de las cuales se destaca la PCH Vatia que presenta cambios en las dinámicas naturales de la fuente en el punto de captación y funcionamiento, al igual que los vertimientos domésticos y piscícolas que se generan en su mayoría a lo largo de la zona

de estudio, de las cuales se resaltan la PTAR de Silvia y el Bypass de la misma, los cuales según registros de la CRC no están cumpliendo a cabalidad con la normatividad vigente tal como la Res 631 del 2015.

Figura 44. Varianza de correlación para PCA, Río Piendamó

PC	Eigenvalue	% variance
1	3.80815	25.388
2	3.4451	22.967
3	2.27768	15.185
4	1.69206	11.28
5	0.891182	5.9412
6	0.810147	5.401
7	0.566903	3.7794
8	0.40184	2.6789
9	0.348908	2.3261
10	0.229837	1.5322
11	0.19656	1.3104
12	0.134191	0.89461
13	0.100949	0.67299
14	0.0771802	0.51453
15	0.0193093	0.12873

Fuente: Elaboración Propia Past V 3.0

Además, se destaca que en su centro se encuentran la mayoría de los parámetros físicos y químicos respecto a los diferentes monitoreos, puntos y muestreos, sin embargo, el monitoreo del 2018 en el punto 3 siendo la campaña de abril en época húmeda presenta diversidad en sus datos en los parámetros DBO, SST y OD debido a que se realizaron en época donde las precipitaciones afectaron los parámetros antes mencionados. También se observan puntos dispersos en el primer cuadrante por su diversidad de datos correspondientes a los puntos 2 y 3 del año 2018 en las campañas de abril y julio, lo que se da por la reducción de oxígeno disuelto, conductividad y a su vez aumentan los nitratos, nitritos, orto fosfatos y parámetros microbiológicos, lo cual se debe a vertimientos registrados y no registrados de origen, agrícola, industrial y del que se tiene certeza por la piscifactoría de la zona, además de que tienen en común el cambio de una época húmeda a seca. (ver Anexo 6)

### **Análisis Discriminante**

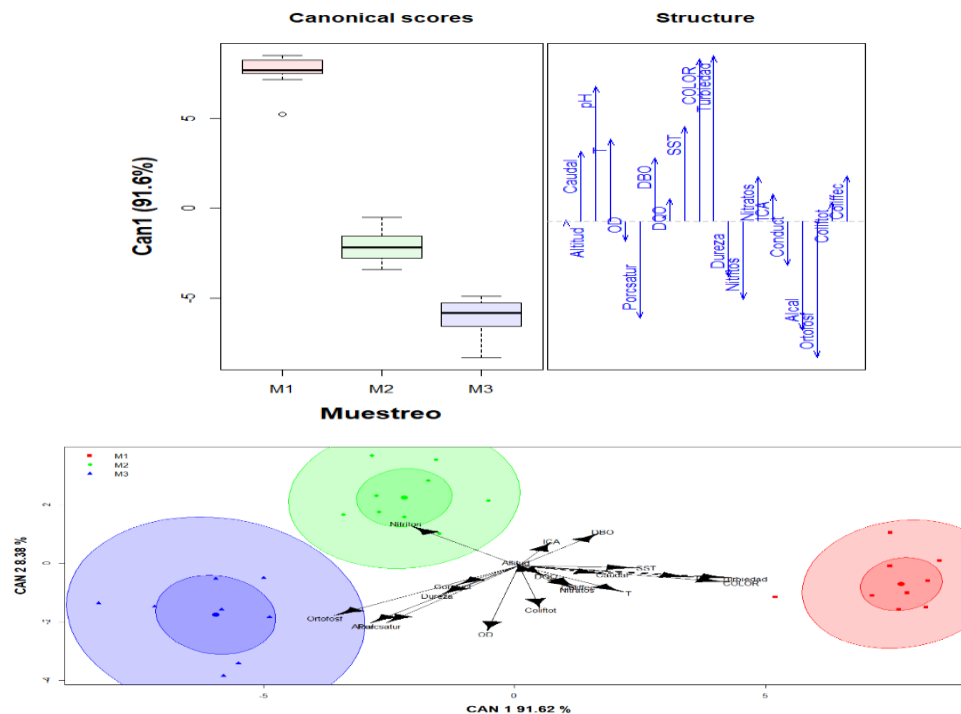
Se realizaron los casos por discriminación cruzada como se observa en la Figura 45, en donde se analiza a partir de los muestreos realizados, con una alta significancia puesto que las correlaciones respecto a M1 (primera campaña), M2 (segunda campaña) y M3 (tercera campaña), arrojan datos correlacionados directamente (misma dirección del vector), (indirectamente ángulo de 90°) e inversamente (180°); de la siguiente forma:

Para los diferentes periodos de monitoreos presentan distribuciones homogéneas a excepción de M2 (segunda campaña) puesto que esta temporada es seca, puesto a que los datos se dan en función del fenómeno del niño, como consecuencia disminuye caudal por tanto el % de OD de la zona.

Sin embargo respecto a los parámetros fisicoquímicos es evidente la diversidad y las relaciones como entre DQO y el % OD al igual que la DBO inversamente proporcionales, debido a las sustancias contaminantes que reducen la cantidad de OD para la fuente como resultado de vertimientos que no cumplen con la norma (Bypass de Silvia); al igual que la correlación directa de los parámetros que indican SST en la fuente como la turbiedad dado que los fenómenos naturales de precipitaciones tales como el niño y la niña alteran parámetros debido al material arrastrado por deslizamientos y a la variación en su caudal y su capacidad de degradación orgánica y concentración de SST.

Además, se resalta que los datos de M1 (primer monitoreo), presenta mayor variabilidad puesto que esta campaña se caracteriza por fuertes precipitaciones. Por último, se observó que en función a los muestreos de las campañas 2017-2019 sus comportamientos están correlacionados en cuanto a los parámetros fisicoquímicos, siendo de vital importancia la determinación de las épocas húmedas y secas para el análisis del comportamiento de la fuente

Figura 45. Discriminante por Muestreo del Río Piendamó



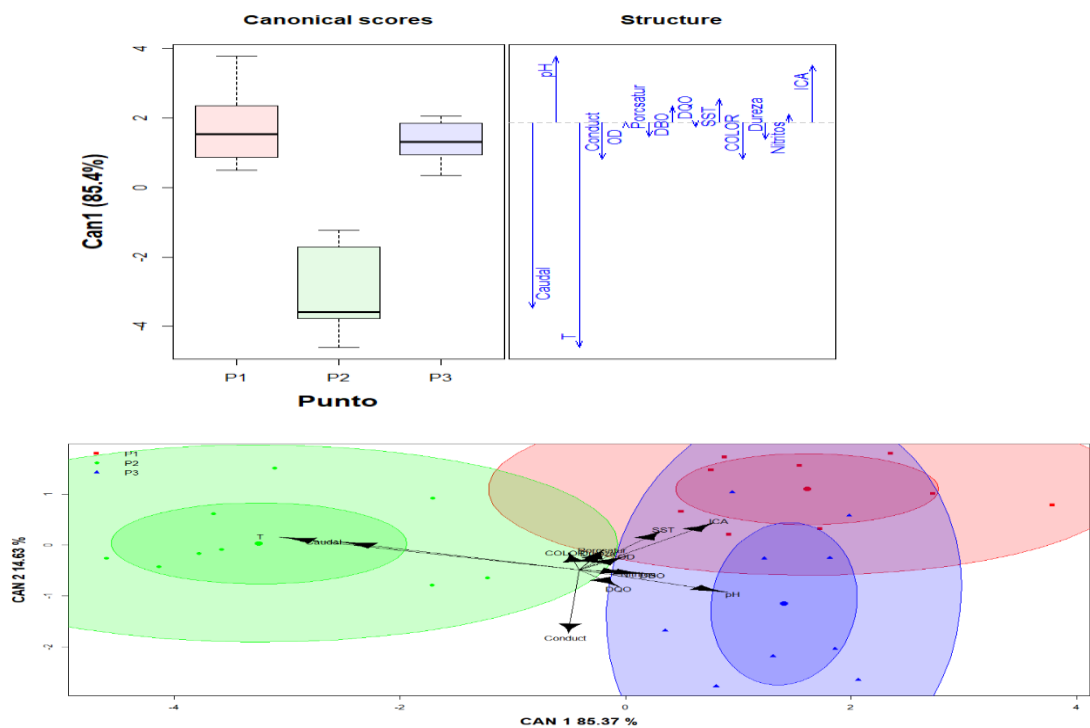
Fuente: Elaboración Propia



En cuanto a la figura 46 que mostro mayor correlación del Río Piendamó respecto a sus puntos de monitoreo distribuidos de la siguiente forma (P1:Después de Quebrada Ñimbe, P2:después de Silvia y P3: el Punte Panamericana), se observó la correlación significativa entre P1 y P3 puesto que se encuentra antes y después del punto monitoreo critico de esta fuente, siendo P2:después de Silvia puesto que en el caen los vertimientos de este municipio y los de aguas arriba de los cuales se resalta la falta de cumplimiento conforme a registros de la PTAR y el Bypass de Silvia, además del funcionamiento de la PCH Vatia la cual altera las dinámicas ecosistemitas naturales de la fuente en este punto donde se presenta su funcionamiento, de lo que se hace la observación de la amplitud de este punto respecto a los datos ampliamente distribuidos por ende, la variabilidad de la zona de estudio radica en este punto.

En cuanto a la variación entre parámetros, el caudal y la temperatura son los que más varían puesto que actúan según el fenómeno del monitoreo y la variación de temperaturas por vertimientos, dinámicas de la fuente hídrica y vegetación del punto del muestreo entre otras. Por último, si bien presentan variaciones en la calidad por punto de muestreo no varía significativamente el ICA, lo que se debe a la capacidad de autodepuración de la fuente en la parte alta y baja de la zona de estudio.

Figura 46. Discriminante por punto de monitoreo del Río Piendamó



Fuente: Elaboración Propia

## CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- Se concluye que el Río Las Piedras cuenta con intervenciones antrópicas provenientes del uso doméstico ya que esta fuente es una de las principales fuentes para el abastecimiento del municipio de Popayán, seguido de la captación y vertimientos industriales y domésticos de la piscifactoría El Diviso, las cuales no repercuten significativamente sobre la fuente; sin embargo, es importante el control y monitoreo de los mismos para su conservación. En cuanto al Río Piendamó cuenta con intervenciones importantes como el funcionamiento de PCH Vatia, por la cual se descompensan las dinámicas naturales, aunque no de forma significativa según registros de la CRC, además de contar con vertimientos de Silvia a los cuales es necesario un monitoreo por parte de la entidad competente, para garantizar la conservación de la fuente.
- Si bien el Río Las Piedras presenta vertimientos industriales y domésticos, no alteraron su calidad significativamente por lo que posee una alta capacidad de depuración; en cuanto al Río Piendamó presenta variaciones considerables al año 2019 en cuanto a la DBO y % OD, las cuales son producto de la variación de dinámicas naturales por la PCH y los vertimientos del municipio de Silvia que pueden estar incumpliendo la normatividad vigente, por lo cual es importante verificar el cumplimiento del acuerdo 09 de 2019 de la CRC.
- Las dos fuentes presentan un ICA con calificación del estado del agua ACEPTABLE, ya que, aunque existen intervenciones antrópicas los Ríos Las Piedras y Piendamó cuentan con una buena capacidad de autodepuración. En cuanto al régimen pluvial de las fuentes indican un comportamiento bimodal en función al fenómeno del niño (época seca) y la niña (época húmeda), con una correlación en los parámetros como SST, color, Turbiedad y OD, teniendo en cuenta las isoyetas 1997-2016 y las precipitaciones dentro de las tres campañas de muestreos 2017-2019.
- Las dinámicas fisicoquímicas de los tramos de los Ríos Las Piedras y Piendamó, presentaron comportamientos según las alteraciones antrópicas y el comportamiento pluvial de las fuentes, sobre parámetros como SST, OD y DBO principalmente. Donde se destaca la dispersión de datos por PCA y discriminantes en los puntos de monitoreo después de la Piscifactoría en el Río Las Piedras y El punto después de Silvia en el Río Piendamó, debido a los vertimientos industriales y domésticos de la zona, al igual que la presencia de la PCH Vatia S.A. E.S.P en el Río Piendamó la cual altera las dinámicas naturales de la fuente, sin poner en riesgo la vida acuática y la calidad de la fuente.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda recopilar mayor información registrada respecto a los registros de caudales en diferentes épocas del año, realizando más campañas en las cuencas lo que permitirá tener una mejor proyección de caudales de forma detallada, para mayor precisión en estudios referentes al comportamiento de las cuencas.
- Se recomienda verificar que las plantas de tratamiento industriales y domésticas de las cuencas del Río Las Piedras y Piendamó este en correcto funcionamiento para mejorar la calidad del recurso hídrico, puesto que la variación de DBO, % OD y coliformes indican que en el año 2019 no cumplieron con la norma, lo que puede la biota acuática y del corredor biológico de la zona.
- Se recomienda una vigilancia más estricta en la zona por posibles vertimientos ilegales (no registrados) sin previo tratamiento o que no cumplan con los parámetros permisibles como lo es el caso del Bypass de Silvia, ya que influye sobre la calidad de la fuente, en este caso es vital corroborar la puesta en marcha del acuerdo 09 del 2019 de la CRC con el propósito de preservar de la fuente del Río Piendamó.
- Es de relevancia infundir en la comunidad de la zona la sensibilización ambiental, por medio de programas y campañas, que permitan su entendimiento hacia la concientización de la importancia de las fuentes hídricas y la biodiversidad que proporcionan.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Guzman *et al.*, «Evaluación espacio–temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México», *Rev Int Contam Ambie*, vol. 27, n.º 2, pp. 89-102, 2011.
- [2] Solange Gutiérrez, *Evaluación espacio temporal de la calidad del agua del río Monjas, sectores Pomasqui y San Antonio de Pichincha mediante ICA-NSF*, vol. 11, n.º 1. 2019.
- [3] C. Guerrero, «Evaluación Temporal Y Espacial De La Calidad Del Agua De La Quebrada Las Delicias (Cerros Orientales De Bogotá) Mediante Un Análisis Estadístico Multivariado», 2013.
- [4] W. J. Peña-Caro *et al.*, «Aproximación al Modelo de Estimación Para El Uso De Agua Del Rio Bogotá, Basado En El Análisis De Vertimientos En Aguas Superficiales», *Rev. Científica*, vol. 3, n.º 26, p. 92, 2016, doi: 10.14483/23448350.11096.
- [5] Instituto de hidrología y estudios ambientales - IDEAM, Estudio Nacional del Agua, 2018.
- [6] A. Oscar y N. Brillith, «Evaluación de la calidad de agua para consumo humano de la comunidad de Llañucancho del distrito de Abancay, provincia de Abancay», *Univ. Tecnológica Los Andes Abancay*, 2017.
- [7] Á. Borja, «Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad», *Boletín - Inst. Espanol Oceanogr.*, vol. 18, n.º 1-4, pp. 41-49, 2002.
- [8] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Ley 99», vol. 1993, n.º diciembre 22, pp. 1-16, 1993.
- [9] Corporación Autónoma Regional del Cauca, Informes Índices de Calidad del Agua.
- [10] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 631 de 2015. [En Línea]. Disponible en: <http://www.emserchia.gov.co/PDF/Resolucion631.pdf>. [Accedido 08/02/2021]
- [11] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Decreto 1076 de 2015, vol. 1, 2015.
- [12] Corporación Autónoma Regional del Cauca, Recurso Hídrico, 2019. [En Línea]. Disponible en: <http://web2018.crc.gov.co/index.php/ambiental/recursos/recurso-hidrico> [Accedido 11/03/2020]
- [13] E. L. Pedraza Romero *et al.*, «Variables más influyentes en la calidad del agua del río Bogotá mediante análisis de datos», *Rev. Logos Cienc. Tecnol.*, vol. 7, n.º 2, p. 35, 2016, DOI: 10.22335/rlct.v7i2.258.
- [14] L. M. Virviescas y J. D. Benavides, «Análisis Espacio-Temporal de la Calidad del Agua del Rio Magdalena (Periodo 2009-2018) A Partir de la Comparación de Índices de Calidad del Agua», en *Universidad El Bosque*, 2020.

- [15] A. M. Ceballos, «Análisis de la Oferta Hídrica de Zonas De Conservación, Soluciones de Agua y Acueductos Veredales En Las Subcuencas Río Las Piedras y Río Molino y Análisis de Parámetros Físico Químicos y Bacteriológicos de las Principales Fuentes de Abastecimiento de Agua», *Rev. Bras. Ergon.*, vol. 9, n.º August, p. 10, 2016.
- [16] Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Piendamó. [En Línea]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/read/31449152/recursos-hidricospdf-corporacion-autonoma-regional-del->. [Accedido 11/03/2020].
- [17] R. Domínguez *et al*, *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL*. UN, 2019. DOI: 10.18356/b89f0453-es.
- [18] G. D. Sánchez, «Precipitación pluvial en México: una aproximación a la evaluación de impactos», *Tecnol. Cienc. Agua*, vol. II, No. 4, pp. 51-64, 2011.
- [19] R. J. Moncayo y M. D. Trindade, «Evaluación espacio-temporal del estado trófico de un lago de grandes dimensiones usando imágenes MOD09GA», *Cienc. E Ing. Neogranadina*, vol. 27, n.º 1, pp. 27-42, 2017, DOI: 10.18359/rcin.1893.
- [20] CIAT, Fundación Pro Cuenca Rio Las Piedras Y CCAFS, «Información Climática al Alcance de los Agricultores para el Proceso de Toma de Decisiones en su Actividad Agrícola en el Componente de Aplicación de la Metodología Agricultura Sostenible Adaptada al Clima (ASAC) En La Subcuenca Río Las Piedras». pp. 1-88, 2015.
- [21] Aguas residuales: clasificación, características y composición, Bogotá, 2017.
- [22] Análisis de aguas, vol. 148, pp. 148-162.
- [23] B. Gramajo, Consumo Humano y Uso Industrial, 2004.
- [24] K. Yogendra y E. T. Puttaiah, «Determination of Water Quality Index and Suitability of an Urban Waterbody in Shimoga Town, Karnataka», *Proc. Taal2007 12th World Lake Conf. 342-346 Determ.*, pp. 342-346, 2008.
- [25] Corporación Autónoma Regional, Plan de Manejo de Vertimientos. [En Línea]. Disponible en: <https://www.car.gov.co/vercontenido/1169#:~:text=Es un instrumento de manejo, tratamiento y disposición final de.> [Accedido 01/08/2021]
- [26] Análisis de componentes principales, Bogotá. 2016.
- [27] Gobernación del Cauca, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Popayán, 2017.
- [28] T. Devereux, «Corporación Autónoma Regional del Cauca, "CRC," Manual de las medidas de adaptación al cambio climático practicadas por los campesinos de Asocampo de la cuenca Río Las Piedras, Cauca, Colombia», *Pap. Knowl. Media Hist. Doc.*, 2014.
- [29] IDEAM, *POMCA de la Cuenca*. 2017.
- [30] Ministerio del Medio Ambiente, Decreto 2811 del 1974, p. 244.
- [31] Congreso de Colombia, Ley 9 de 1979, vol. 2009, n.º 75, pp. 31-47.
- [32] Republica de Colombia Ministerio de Agricultura, «Decreto 1594 de 1984», n.º 36, p. 55.

- [33] Corte constitucional y Consejo Superior de la Judicatura, Constitución Política de Colombia 1991. Actualizada con los Actos Legislativos a 2016, pp. 1-170, 2016.
- [34] Ley 142, «Ley 142 de 1994», *D. Of.*, vol. 1994, n.º 41.433, p. 597.
- [35] A. H. Salazar *et al.*, «Diagnóstico del Municipio de Fusagasugá - Generalidades», *Meta*, vol. 4, n.º January, p. 61, 2005.
- [36] Ministerio del Medio Ambiente, Resolución 372 de 1998. [En Línea]. Disponible en: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica2.jsp?subtema=20564>. [Accedido 01/08/2021].
- [37] Ministerio de Desarrollo Económico. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) Título C, p. 17 C, 2000.
- [38] Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto 1180 de 2003, n.º mayo 10, pp. 1-21.
- [39] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, «Decreto 3100 del 2003», , n.º 45, pp. 1-20.
- [40] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo. Resolución 865 de 2004. [En Línea]. Disponible en: [https://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Resolucion865\\_20040722.htm](https://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Resolucion865_20040722.htm) . [Accedido 01/03/2021].
- [41] Resolución 240 de 2004. [En Línea]. Disponible en: [https://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Resolucion240\\_20040308.htm](https://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Resolucion240_20040308.htm) [Accedido 01/03/2021].
- [42] Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial. Decreto 3930 del 2010, *Minist. Ambiente Vivienda Desarro. Territ.*, p. 29, 2010.
- [43] Decreto 1076 de 2015, Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. [En Línea]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>. [Accedido 01/03/2021].
- [44] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Decreto 50 de 2018, p. 15, 2018.
- [45] Congreso de Colombia, «Ley 1955 de 2019». 2019.
- [46] Decreto 1541 de 1978. [En Línea]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1250>. [Accedido 20/04/2021].
- [47] Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales - IDEAM. Índices de calidad de agua en corrientes superficiales (ICA). [En Línea]. Disponible en: [http://www.ideam.gov.co/documents/24155/125494/36-3.21\\_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). [Accedido 20/04/2021].
- [48] A. Discriminante, «Análisis multivariante», *Prentice Hall*, vol. 53, n.º 9, pp. 1689-1699, 1999.

- [49] Ecuador initiative.Fundación Procuencia Río Las Piedras, 2020. [En Línea]. Disponible en: <https://www.equatorinitiative.org/2020/04/24/solution11276/>. [Accedido 20/04/2021].
- [50] Corporación Autónoma Regional del Cauca. “Renovación Permiso de Vertimiento Psifactoria El Diviso».
- [51] A. B. Aponte y G. Giraldo, «Perfil Productivo en el Municipio de Silvia en el Cauca para el Desarrollo y la Competitividad Territorial de la Región Pacifico», *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, n.º 9, pp. 1689-1699, 2013.
- [52] Corporación Autónoma Regional del Cauca.Documentos internos y registros de la PCH Vatia S.A E.S.P.
- [53] Ministerio del Medio Ambiente.Usó y aprovechamiento del agua. [En Línea]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/administracion-del-recurso-hidrico/demanda/uso-y-aprovechamiento-del-agua>. [Accedido 20/04/2021].
- [54] S. A. Martínez y G. A. Pardo, «Evaluación del Impacto por Vertimientos de Aguas Residuales Domésticas, Mediante la Aplicación del Índice de Contaminación (ICOMO) en Caño Grande, Localizado en Villavicencio-Meta.», p. 80.
- [55] J. E. Montealegre, «Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia», *Ideam*, p. 81, 2007.
- [56] S. M. Ortiz y I. Arias, «Evaluación de las Condiciones de Calidad del Agua, ´para la Formulación de Estrategias de Aprovechamiento y Conservación de la Microcuenca Quebrada La Argentina, Villavicencio – Meta.», p. 80, 2018.
- [57] IDEAM. Formato Común Hoja Metodológica Índice de calidad del agua en corrientes superficiales (ICA), n.º 96, pp. 1-10, 2011.
- [58] Normalizado de Observaciones Isoyetas, Capítulo 30, 1950.
- [59] OMS. Guías para la calidad del agua de consumo humano., *Organ. Mund. Salud*, vol. 4, p. 608, 2011.

## ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Revisión Sistémica Documental

N°	TÍTULO	AÑO	AUTORES	RESUMEN	APORTES AL TRABAJO
1	EVALUACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA LAS DELICIAS (CERROS ORIENTALES DE BOGOTÁ) MEDIANTE UN ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIADO		CRISTIAN DAVID GUERRERO MARTÍNEZ	El informe se centra en la evaluación de la calidad del agua de la quebrada Las Delicias (cerros orientales de Bogotá) a escala temporal y espacial de variables fisicoquímicas mediante un análisis estadístico multivariado	Se realizan aportes en referencia a determinación de épocas de lluvia y sequía, además de aportar información acerca de análisis estadístico multivariado por medio del programa R y con la obtención de resultados y análisis de variables fisicoquímicas por medio de análisis de componentes principales (APC)
2	Aproximación al Modelo de Estimación Para El Uso De Agua Del Rio Bogotá, Basado En El Análisis De Vertimientos En Aguas Superficiales	2016	Wilson Javier Peña Caro, Daissy Díaz, Paulo Gaona García, Carlos Enrique Montenegro Marín, Mario Castro	El documento se enfoca en el planteamiento de una metodología a través de la ejecución de un software que permita llevar a cabo el análisis de las variables en las fuentes de agua en particular el río Bogotá, con el fin de evaluar, probar y predecir la tasa de contaminación de las aguas. De la misma manera, se hace una revisión documental para determinar la forma en que se miden los índices de calidad del agua dándole un enfoque a las variables más representativas para el desarrollo de la investigación.	El estudio realiza una sistematización y organización de datos históricos de parámetros fisicoquímicos del río Bogotá, determinando la influencia de forma directa de cada una de las variables en los índices de calidad del agua.



3	Estudio Nacional del Agua	2018	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, IDEAM	El ENA es un documento detallado que aporta información sobre el estado de las aguas superficiales, las aguas subterráneas, el uso y calidad del agua, los sedimentos, y el análisis de las relaciones del agua con la salud de los ecosistemas.	Este documento da una perspectiva de la problemática y del estado actual de las aguas superficiales en cada una de las regiones de Colombia, permitiendo así obtener información de la calidad, cantidad y afectación de fuentes hídricas de interés.
4	Manual de las medidas de adaptación al cambio climático practicadas por los campesinos de Asocampo de la cuenca Río Las Piedras, Cauca, Colombia		ASOCAMPO	Trata la problemática del cambio climático y las repercusiones que esto ha traído a los sistemas productivos de los habitantes aledaños a la cuenca río Las Piedras, así como también las medidas de adaptación usadas para reducir los impactos y daños causados por el cambio climático.	Aporta conocimiento acerca de todo el sistema productivo y de usos de suelo de la región, lo cual es de gran importancia para determinar el grado de impacto que esto puede llegar a tener sobre la cuenca.
5	Evaluación de la calidad ecológica del agua en la cuenca alta del río Imaza (Perú)	2014	Fernando Corroto, Jeimis Royler Yalta Meza, Héctor Vladimir Vásquez Pérez, Oscar Andrés Gamarra Torres	Esta investigación tiene como objetivo evaluar de forma integral la calidad fisicoquímica, biológica e hidromorfológica de la cuenca alta del río Imaza, con la idea de conocer la calidad ecológica en la que se encuentra, tomando como base la disminución de la calidad del agua debido a las actividades antrópicas practicadas por el hombre.	Aporta conocimiento acerca de la evaluación de la calidad del agua de forma integral en diferentes tramos de la fuente hídrica. No analiza solo la parte fisicoquímica sino también la parte biológica que es de gran importancia tener en cuenta ya que esta se ve afectada por la alteración de los parámetros fisicoquímicos.

6	Análisis espacio-temporal de la calidad del agua del río Magdalena (periodo 2009-2018) a partir de la comparación de índices de calidad del agua	2020	Colmenares Virvesca Lina María, Cruz Benavides Juan David	El trabajo tiene como objetivo valorar la calidad del agua del río Magdalena por medio de la comparación de Índices de Calidad del Agua (ICA) nacionales, internacionales y de elaboración propia, a partir de un análisis espacio-temporal, considerando 12 estaciones de monitoreo (identificadas dentro de la red nacional de monitoreo del recurso hídrico), para el periodo comprendido entre 2009 y 2018.	Realizan comparación de variables fisicoquímicas que permiten la obtención de criterios de calidad en cada una de las estaciones de monitoreo.
7	ANÁLISIS DE LA OFERTA HÍDRICA DE ZONAS DE CONSERVACIÓN, SOLUCIONES DE AGUA Y ACUEDUCTOS VEREDALES EN LAS SUBCUENCAS RÍO LAS PIEDRAS Y RÍO MOLINO Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA EL MUNICIPIO DE POPAYÁN	2016	ANA MARÍA RÍOS CEBALLOS	En este informe se analiza la oferta hídrica de zonas de conservación y acueductos veredales de las subcuencas río las Piedras y Molino, así como también el análisis de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de las principales fuentes de abastecimiento de agua para el municipio de Popayán, tales como río Cauca, Molino, Pisojé, Palacé y Las Piedras para los años 2013 - 2015.	Realizan análisis de parámetros por medio de programa estadístico, con la obtención de información de ICA, ICOMI, ICOMO en la fuente hídrica río Las Piedras, permitiendo tener una percepción del comportamiento del río a ravés de tres años de estudio.

8	Variación espacio-temporal de la precipitación pluvial en México: una aproximación a la evaluación de impactos	2011		El artículo desarrolla una metodología para el estudio de la variación espacio-temporal de la precipitación pluvial en México, considerando información histórica de al menos 20 años, con el fin de analizar la frecuencia, duración e intensidad de periodos húmedos y secos en México, considerando la clasificación del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) y la interpolación de datos para obtener mapas raster de precipitaciones anuales en el periodo 1961-2003.	El documento cuenta con bases para la obtención de mapas de precipitaciones anuales de un área determinada por medio de la implementación de metodologías de interpolación espacial como kriging, cokriging e inverso de la distancia.
9	Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales - IDEAM, "Índices de calidad de agua en corrientes superficiales (ICA)		IDEAM	La ficha técnica presenta una guía para realizar el cálculo de Índices de Calidad del Agua	Se obtuvo toda la metodología para el cálculo del Índice de la Calidad del agua
10	ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE VARIABLES INDICADORAS DE CALIDAD DE AGUA PARA EL RIACHUELO (CUENCA MATANZA-RIACHUELO, ARGENTINA)	2018		En el trabajo, por medio de estadística de Mann-Kendall con una serie de datos de cinco variables fisicoquímicas, una microbiológica y la precipitación acumulada mensual para el área de estudio, realizan un análisis del estado de la calidad del agua de la fuente hídrica.	Se lleva a cabo un análisis estadístico a parámetros fisicoquímicos individuales conforme al comportamiento de las precipitaciones.

11	Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global	2014	Mario Castro, Juniel Almeida, Julio Ferrer, Daissy Díaz	La Universidad Cooperativa de Colombia, sede Bogotá, desde enero del 2014 empezó un proyecto de investigación en donde analizan las variables de mayor impacto sobre los indicadores de calidad del agua por medio de un software durante un período de análisis de 1980-2014 permitiendo obtener metodologías matemáticas que permiten un análisis más amplio de variables fisicoquímicas.	Aporta información bibliográfica con respecto a diferentes metodologías para el cálculo de ICA
12	Desarrollo de un Indicador de la Calidad del Agua usando Estadística Aplicada, Caso de Estudio: Subcuenca Zanjón Oscuro	2011	Jeferson Basto Valdes, Natalia Samboni, Yesid Carvajal	El artículo realiza la evaluación de la calidad del agua mediante la elaboración de un índice de calidad del agua "ICA", a partir del uso de la Estadística Aplicada, usando una metodología basada en curvas de calidad de diferentes parámetros fisicoquímicos desarrollados a partir de encuestas realizadas a varios expertos, con el objeto de establecer límites cualitativos y cuantitativos de la calidad del agua; para posteriormente seleccionar la curva óptima que refleje la mejor decisión, en dicha evaluación.	Aporta información de la calidad del agua a nivel local por medio del análisis estadístico de parámetros fisicoquímicos.
13	DETERMINACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL Y SU RELACIÓN CON VARIABLES INDICADORAS DE CALIDAD DEL RECURSO HÍDRICO	2015	Juan Fernando Casanova, Apolinar Figueroa	El objeto de esta investigación es la determinación del caudal ambiental en la subcuenca del río Las Piedras y su correlación con diferentes variables fisicoquímicas e índices de calidad del agua.	Brinda información geológica, hidrológica y de parámetros fisicoquímicos de la cueca río Las Piedras

14	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DE RÍOS DE COLOMBIA USANDO PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS	2016	Luis Eduardo Gualdron Duran	En el artículo analizan las características físicas, químicas y microbiológicas (coliformes totales, coliformes fecales y macroinvertebrados acuáticos) de diversos ríos de Colombia y se determina el índice de calidad de agua (IQA) de los ríos estudiados, con el fin de determinar si estas fuentes hídricas cuentan con condiciones óptimas para el crecimiento y la reproducción de diversos organismos acuáticos y si son aptas para el consumo humano.	Se analiza la relación entre parámetros fisicoquímicos y microbiológicos por medio de ICA y del método BMWP para Colombia.
----	--	------	-----------------------------	---	--

Fuente Elaboración Propia

Anexo 2. Datos Índice de Calidad del Agua para Río Las Piedras y Piendamó, 2017-2019

CORRIENTE	PUNTO DE MONITOREO	GEOREFERENCIACIÓN			DATOS IN SITU																	
		NORTE	ESTE	a.s.n.m.	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)			pH UND			TEMPERATURA (°C)			CONDUCTIVIDAD (µS/cm)			OXIGENO DISUELTTO (mg/L)			% de OD		
					1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Rio Piedras	Antes de Pisofactoria El Diviso	761644	1068216	2304	1.14	1.06	0.70	7.27	6.72	6.25	13.2	14.5	14.4	42.1	65.7	66.6	7.2	7.2	7.3	90.3	73.5	85.2
Rio Piedras	Puente vía a Quintana	762124	1063067	2016	2.55	1.51	1.23	7.92	6.55	6.41	14.8	14.7	16.4	89.2	120.1	78.4	6.7	7.2	7.2	88.1	73.9	82.3
Rio Piedras	Después de pisofactoria El Diviso	761093	1066834	2232	1.28	1.08	0.71	7.71	6.81	7.17	13.4	14.6	14.2	73.1	189.2	79.6	6.9	7.2	6.9	87.9	73.4	80.1
Rio Piendamó	Después de Quebrada Nimbe	772305	1057744	1756	4.75	1.51	*	7.93	6.31	5.52	17.3	10.0	10.8	100.6	26.7	33.0	8.0	8.7	8.8	82.7	77.6	88.4
Rio Piendamó	Después de Silvía	772305	1057744	1756	4.75	1.51	*	7.93	6.31	5.52	17.3	10.0	10.8	100.6	26.7	33.0	8.0	8.7	8.8	82.7	77.6	88.4
Rio Piendamó	Puente Panamericana	765658	1059889	1875	0.68	3.54	4.55	7.07	7.01	7.28	17.8	16.2	15.4	27.9	50.1	81.3	7.6	8.4	8.4	79.8	86.4	85.7
CORRIENTE	PUNTO DE MONITOREO	DATOS DE LABORATORIO																				
		DBO mg/L			DQO mg/L			SST mg/L			COLOR UPC			TURBIEDAD UNT			DUREZA mgCaCO3/L			ALCALINIDAD mgCaCO3/L		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Rio Piedras	Antes de Pisofactoria El Diviso	0.8	0.8	0.8	14	14	14	5	5	11.4	18	10	12	1.30	1.30	1.20	30.4	38.6	24.8	*	31.4	33
Rio Piedras	Puente vía a Quintana	0.8	0.8	0.8	14	14	14	63.5	5.9	6.4	115	14	14	19.40	2.50	0.70	27.4	27.5	38.6	*	28.4	35
Rio Piedras	Después de pisofactoria El Diviso	1	1.3	0.8	14	19.5	14	6.3	8.5	14.4	26	11	17	1.30	0.90	1.10	29.0	35.9	26.9	*	26.8	30
Rio Piendamó	Después de Quebrada Nimbe	0.8	0.8	0.8	38.6	46.3	46.3	10.5	80	80	55	93	93	24.10	6.90	6.90	29.1	11.2	11.2	28.5	10	10
Rio Piendamó	Después de Silvía	0.8	0.8	0.8	38.6	46.3	46.3	10.5	80	80	55	93	93	24.10	6.90	6.90	29.1	11.2	11.2	28.5	10	10
Rio Piendamó	Puente Panamericana	0.8	0.8	5.5	14	14.0	14	14.1	5	5	27	67	85	5.30	3.50	2.80	16.3	27.8	6.0	12.7	23.4	27.4
CORRIENTE	PUNTO DE MONITOREO	DATOS DE LABORATORIO															INDICES DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN 2017	ÍNDICE DE CALIDAD - IDEAM				
		NITRITOS mg NO2-N/L			NITRATOS mg NO3-N/L			ORTOFOSFATOS mg PO4-P/L			COLIFORMES TOTALES NMP/100ml			COLIFORMES FECALES				PARAMETROS EMPLEADOS EN EL CÁLCULO DEL ÍNDICE				
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		VALOR ICA	CALIFICACIÓN			
Rio Piedras	Antes de Pisofactoria El Diviso	0.50	0.65	0.74	0.02	0.02	0.01	0.02	0.04	0.02	8700	8300	2200	100	10	100		0.9	Acceptable			
Rio Piedras	Puente vía a Quintana	0.50	0.64	1.13	0.05	0.06	0.01	0.03	0.09	0.13	144000	21400	5800	12000	100	100		0.9	Acceptable			
Rio Piedras	Después de pisofactoria El Diviso	0.03	0.68	2.52	0.60	0.50	0.01	0.02	0.14	0.20	42300	167000	14000	100	1000	300		0.9	Acceptable			
Rio Piendamó	Después de Quebrada Nimbe	0.33	0.84	0.84	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	7500	4000	4000	900	100	100		0.7	Regular			
Rio Piendamó	Después de Silvía	0.33	0.84	0.84	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	7500	4000	4000	900	100	100		0.7	Regular			
Rio Piendamó	Puente Panamericana	0.23	0.94	0.73	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05	0.02	3700	1400	3800	10	100	200		0.9	Bueno			

CORRIENTE	PUNTO DE MONITOREO	REFERENCIAL			DATOS IN SITU																	
		NORTE	ESTE	a.s.n. m.	CAUDAL (m³/s)			pH UND			TEMPERATURA (°C)			CONDUCTIVIDAD (µS/cm)			OXIGENO DISUELTOS			% de OD		
					1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Rio Piedras	Antes de Pisofactoria El Diviso	761644	1068216	2304	1.6	1.5	0.7	7.2	7.1	8	14.1	15	14.5	42.65	41.3	60.2	7.85	7.9	7.5	101	102	79
Rio Piedras	Puente vía a Quintana	762439	1062683	2016	2.3	2	1.2	7.4	6.3	6.8	16.3	16.5	17.2	43.9	64.1	64	7.8	7.8	6.6	101	102	69
Rio Piedras	Después de pisofactoria El Diviso	761093	1066834	2232	1.6	1.5	0.7	6.9	7.2	7.7	14.5	15.1	14.4	45.99	58.7	65.5	7.95	7.5	7.3	102	98	76
Rio Piendamó	Después de Quebrada Nimbe	782054	1087357	2994	2.6	2.5	2.4	7.7	7.5	7.7	11.5	9.9	9.7	24.16	26.57	42.2	8.62	7.8	8.5	84	71	76
Rio Piendamó	Después de Silvia	779969	1077149	2471	5.2	3.9	3.4	7.8	7.6	8	14.2	15	12.8	39.21	127.2	64.8	8.6	6.4	8.2	84	61	79
Rio Piendamó	Puente Panamericana	782150	1061613	1813	6.4	4.5	3.7	7.7	7.7	8.2	16	15.1	16.5	39.4	52.7	77.9	8.35	4.3	7.8	84	44	81
CORRIENTE	PUNTO DE MONITOREO	DATOS DE LABORATORIO																				
		DBO mg/L			DQO mg/L			SST mg/L			COLOR UPC			TURBIEDAD UNT			DUREZA mgCaCO3/L			ALCALINIDAD mgCaCO3/L		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Rio Piedras	Antes de Pisofactoria El Diviso	0.8	1.9	1.3	14	14	14	5	266	18	13	151	18	1.4	8.2	4.2	19.2	16	24	5	25	33
Rio Piedras	Puente vía a Quintana	0.8	2.3	1.3	14	14	26	7.4	93	19	22	103	20	1.7	6.3	3.7	17.9	27	21	4.9	27	34
Rio Piedras	Después de pisofactoria El Diviso	1.6	2	3.8	14	14	14	5.5	182	21	21	124	18	1.8	6.8	5.4	19.5	18	24	5.8	30	34
Rio Piendamó	Después de Quebrada Nimbe	0.8	0.8	0.8	17	14	14	7.3	5	5	96	32	44	1.7	2.4	1.2	10.1	11	22	9	13	22
Rio Piendamó	Después de Silvia	0.8	0.8	0.8	16	14	14	56	5	5	114	37	49	7.8	3.6	2.2	15.4	16	24	16	19	30
Rio Piendamó	Puente Panamericana	0.8	0.8	0.8	14	14	14	322	5	5	310	29	37	53.7	5.6	1.3	14.4	19	27	16	22	35
CORRIENTE	PUNTO DE MONITOREO	DATOS DE LABORATORIO															ÍNDICES DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN - 2018	ÍNDICE DE CALIDAD - IDEAM				
		NITRITOS mg NO2-N/L			NITRATOS mg NO3-N/L			ORTOFOSFATOS mg PO4-P/L			COLIFORMES TOTALES NMP/100ml			COLIFORMES FECALES NMP/100ml				PARAMETROS EN EL CÁLCULO DEL ÍNDICE ICA				
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		VALOR ICA	CALIFICACIÓN			
Rio Piedras	Antes de Pisofactoria El Diviso	0.01	2.28	0.01	0.2	2.3	0.1	0	0.2	0.2	18000	24400	####	300	8300	300	0.96	Buena				
Rio Piedras	Puente vía a Quintana	0.02	2.31	0.01	0.5	2.3	0.1	0.1	0.2	0.2	16800	23600	####	100	3600	3000		0.96	Buena			
Rio Piedras	Después de pisofactoria El Diviso	0.02	2.51	0.03	0.6	2.5	0.1	0.1	0.2	0.2	107200	31200	####	100	4400	100		0.95	Buena			
Rio Piendamó	Después de Quebrada Nimbe	0.01	0.1	0.09	0	0.1	2.1	0	0.2	0.2	9400	6300	5100	600	800	300		0.94	Buena			
Rio Piendamó	Después de Silvia	0.01	0.1	0.03	0.2	0.1	0.4	0	0.2	0.2	24800	12000	####	2800	2400	6400		0.90	Buena			
Rio Piendamó	Puente Panamericana	0.03	0.59	0.02	0.4	0.6	0.3	0	0.2	0.2	54400	22000	####	13200	4000	2300		0.74	Aceptable			

CORRIENTE	PUNTO DE MONITORIO	GEOREFERENCIACIÓN			DATOS IN SITU																	
		NORTE	ESTE	a.s.n.m.	CAUDAL (m³/s)			pH UND			TEMPERATURA (°C)			CONDUCTIVIDAD (µS/cm)			OXIGENO DISUELTTO			% de OD		
					1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Rio Piedras	Antes de Pisofactoria El Diviso	761644	1068216	2304	0.60	0.78	0.65	7.22	7.73	7.58	15.2	15.5	15.8	60.51	57.9	49.2	7.97	6.19	6.97	103	85.3	89.3
Rio Piedras	Puente vía a Quintana	762439	1062683	2016	2.07	0.85	0.83	7.3	7.66	7.51	17.6	16.1	16.3	65.15	58.4	61.3	7.74	8.15	7.15	103	111	91.2
Rio Piedras	Después de pisofactoria El Diviso	761093	1066834	2232	0.94	0.57	0.59	7.9	7.77	7.62	14.9	15.4	15.9	72.4	65	53.7	7.93	8.17	6.72	102	111	83.4
Rio Piendamó	Después de Quebrada Nimbe	782054	1087357	2994	2.00	2.15	1.284	7.95	7.42	6.7	11.9	10.7	12.1	19.62	23.9	38.2	8.13	7.76	8.97	76.3	100	125
Rio Piendamó	Después de Silvia	779969	1077149	2471	4.17	4.31	2.710	7.96	7.56	6.44	13.8	12.3	13.3	38.2	44.7	61.1	7.08	7.16	8.56	69.5	92.7	122
Rio Piendamó	Puente Panamericana	782150	1061613	1813	4.97	5.00	3.322	7.53	6.85	6.91	16.1	17	19	36.3	44.2	77	7.11	6.15	8.05	73.2	80	121
CORRIENTE	PUNTO DE MONITORIO	DATOS DE LABORATORIO																				
		DBO mg/L			DQO mg/L			SST mg/L			COLOR UPC			TURBIEDAD UNT			DUREZA mgCaCO3/L			ALCALINIDAD mgCaCO3/L		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Rio Piedras	Antes de Pisofactoria El Diviso	9.9	9.9	0.89	14.9	14.9	24.3	9.9	9.9	14.7	40	21	25	1.4	1.3	1.2	21.8	20.5	23.2	27.4	29.4	34.6
Rio Piedras	Puente vía a Quintana	9.9	9.9	0.9	14.9	14.9	21.8	9.9	9.9	16.7	31	47	34	1.2	2.3	0.9	20.3	19.9	26.2	27.4	27	38.1
Rio Piedras	Después de pisofactoria El Diviso	9.9	9.9	5.4	14.9	14.9	37.1	9.9	9.9	10.2	38	30	52	1.3	1.6	1.7	21.6	21.8	25.5	28.9	30.8	33.6
Rio Piendamó	Después de Quebrada Nimbe	9.9	9.9	0.89	32.5	14.9	37	9.9	4.9	0.99	113	58	41	2.2	0.9	0.93	7.1	11.7	14.6	7.2	11.4	20
Rio Piendamó	Después de Silvia	9.9	9.9	0.89	35.6	14.9	21.3	20.7	4.9	0.99	142	50	38	6.3	1.3	1.04	12.8	15.8	32.2	15.7	10.7	26.8
Rio Piendamó	Puente Panamericana	9.9	9.9	0.89	15.7	14.9	25.8	74.4	4.9	0.99	214	40	30	16.5	1.1	0.79	10.4	18.2	26.4	14.3	21.2	30.4
CORRIENTE	PUNTO DE MONITORIO	DATOS DE LABORATORIO														INDICES DE CALIDAD Y CONTAMINACIÓN - 2019	INDICE DE CALIDAD - IDEAM					
		NITRITOS mg NO2-N/L			NITRATOS mg NO3-N/L			ORTOFOSFATO S mg PO4-P/L			COLIFORMES TOTALES			COLIFORMES FECALES			VALOR ICA	CALIFICACIÓN				
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2				3			
Rio Piedras	Antes de Pisofactoria El Diviso	0.02	0.019	0.019	0.1	0.09	0.14	0.1	0.09	0.99	22800	400	2900	200	0	100	0.95	Buena				
Rio Piedras	Puente vía a Quintana	0.05	0.03	0.019	0.35	0.09	0.14	0.1	0.09	0.11	23200	600	4500	100	0	100						
Rio Piedras	Después de pisofactoria El Diviso	0.29	0.02	0.04	0.55	0.09	0.14	0.15	0.09	0.16	55600	600	1000	100	0	100						
Rio Piendamó	Después de Quebrada Nimbe	0.02	0.019	0.09	0.1	0.09	0.34	0.1	0.09	0.99	3100	500	3800	100	0	100			0.85	Aceptable		
Rio Piendamó	Después de Silvia	0.02	0.019	0.09	0.1	0.09	0.31	0.1	0.09	0.99	8200	100	9800	900	10	2500						
Rio Piendamó	Puente Panamericana	0.02	0.019	0.09	5.61	0.09	0.26	0.1	0.09	0.99	11200	300	9200	1000	10	800			0.87	Aceptable		

Fuente: Elaboración Propia



Anexo 3. Caudales del Río Piendamó 2017-2019

<i>Caudal del Río Piendamó</i>															
Punto	ZONA HIDROGRÁFICA	CORRIENTE	PUNTO DE MONITOREO	GEOREFERENCIACIÓN			CAUDALES AÑOS 2017, 2018 Y 2019								
				NORTE	ESTE	a.s.n.m.	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)			CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)			CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)		
							2017			2018			2019		
							Mayo	Julio	Septiembre	Abril	Julio	Septiembre	Abril	Julio	Septiembre
							1	2	3	1	2	3	1	2	3
54	Cauca	Rio Piendamó	Después de Quebrada Ñimbe	772305	1057744	1756	4.75	1.51	*	2.624	2.518	2.389	2.00	2.15	1.284
55	Cauca	Rio Piendamó	Después de Silvia	772305	1057744	1756	4.75	1.51	*	5.203	3.947	3.353	4.17	4.31	2.710
56	Cauca	Rio Piendamó	Puente Panamericana	765658	1059889	1875	0.68	3.54	4.55	6.418	4.521	3.663	4.97	5.00	3.322
<b>Promedio por Campaña</b>							3.39	2.19	4.55	4.75	3.66	3.14	3.71	3.82	2.44
<b>Promedio por año</b>							3.38			3.85			3.32		

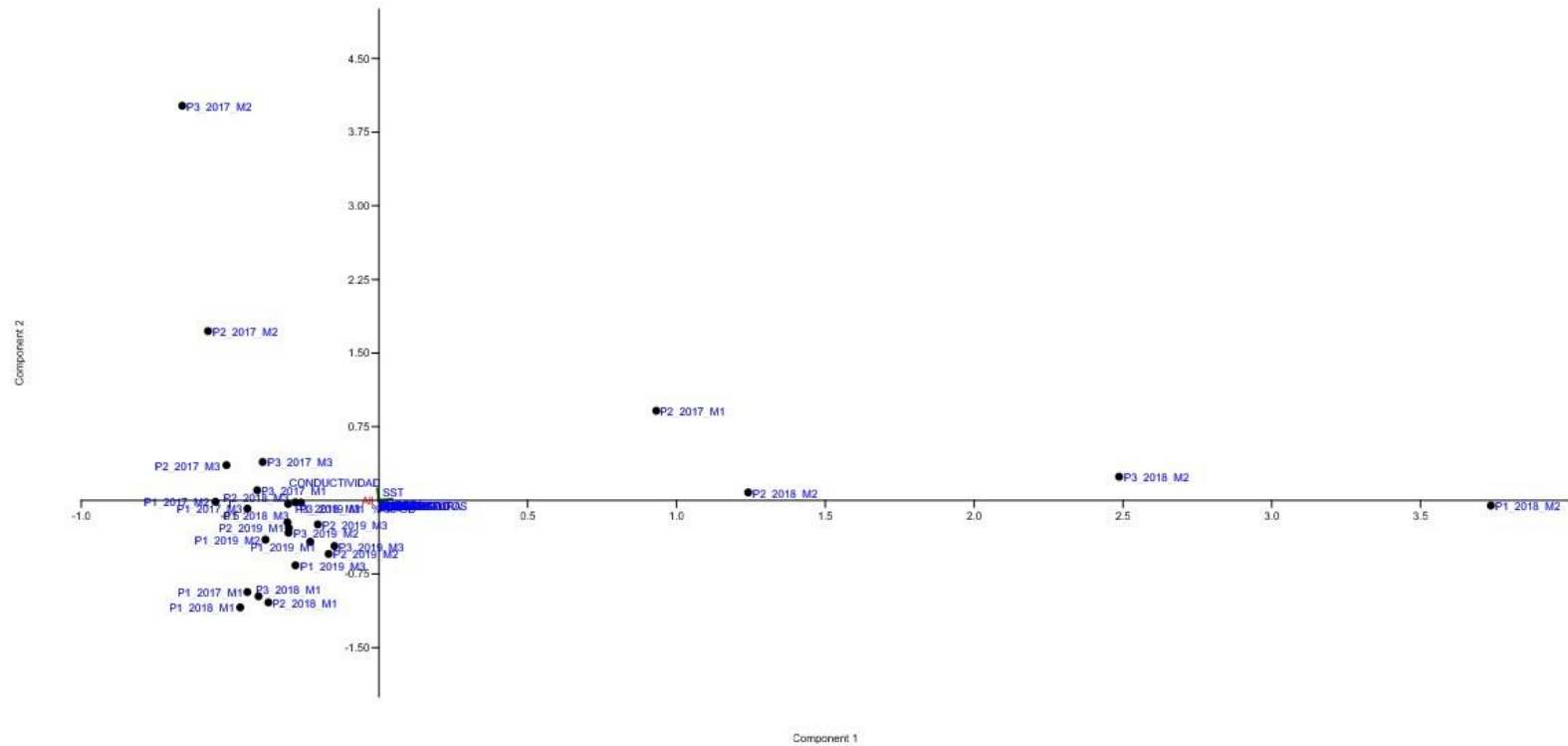
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 4. Caudales del Río Las Piedras 2017-2019

<i>Caudal del Río Las Piedras</i>															
Punto	ZONA HIDROGRÁFICA	CORRIENTE	PUNTO DE MONITOREO	GEOREFERENCIACIÓN			CAUDALES AÑOS 2017, 2018 Y 2019								
				NORTE	ESTE	a.s.n.m.	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)			CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)			CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)		
							2017			2018			2019		
							Abril	Junio	Agosto	Marzo	Abril	Agosto	Marzo	Agosto	Octubre
							1	2	3	1	2	3	1	2	3
39	Cauca	Río Las Piedras	Antes de Piscifactoría El Diviso	761644	1068216	2304	1.14	1.06	0.70	1.63	1.451	0.652	0.60	0.78	0.65
40	Cauca	Río Las Piedras	Puente vía a Quintana	762124	1063067	2016	2.55	1.51	1.23	2.289	2.049	1.236	2.07	0.85	0.83
41	Cauca	Río Las Piedras	Después de Piscifactoría El Diviso	761093	1066834	2232	1.28	1.08	0.71	1.619	1.458	0.659	0.94	0.57	0.59
<b>Promedio por Campaña</b>							1.66	1.22	0.88	1.85	1.65	0.85	1.20	0.74	0.69
<b>Promedio por año</b>							1.25			1.45			0.88		

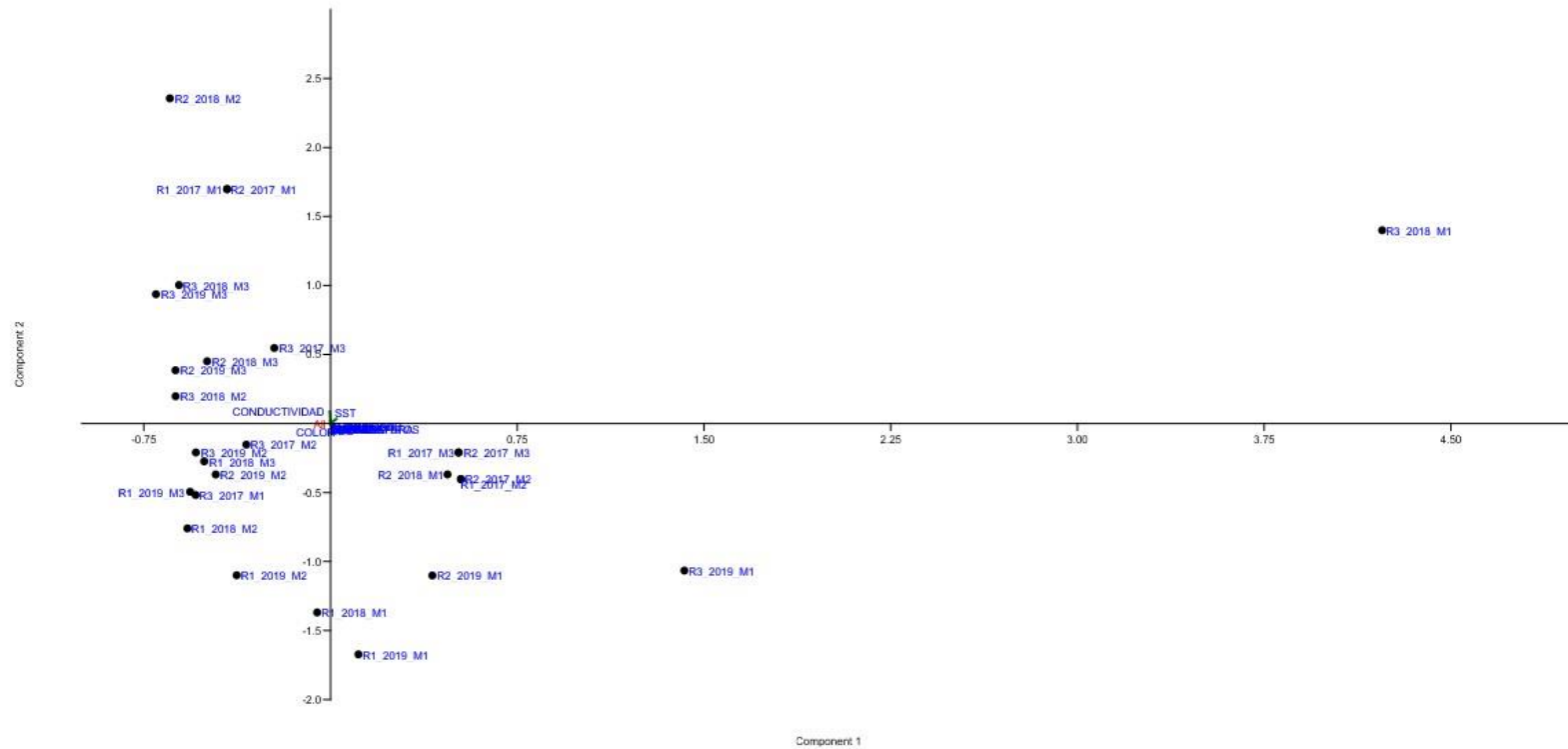
Fuente Elaboración Propia

## Anexo 5. Análisis de Componentes Principales (PCA), Río Las Piedras



Fuente: Elaboración Propia, Past 3.0

## Anexo 6. Análisis de Componentes Principales (PCA), Río Piendamó



Fuente: Elaboración Propia, Past 3.0