

ANÁLISIS DE LA AFECTACIÓN EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL CAÑO SIETE  
VUELTAS DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO POR VERTIMIENTOS DE AGUAS  
RESIDUALES.



JESSICA QUIÑONES VALBUENA  
LEIDY LORENA MARTÍNEZ URREA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
VILLAVICENCIO  
2019

ANÁLISIS DE LA AFECTACIÓN EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL CAÑO SIETE  
VUELTAS DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO POR VERTIMIENTOS DE AGUAS  
RESIDUALES

JESSICA QUIÑONES VALBUENA  
LEIDY LORENA MARTÍNEZ URREA

Pasantía para optar al título de Ingeniero(a) Ambiental

Director:  
VERÓNICA DUQUE PARDO  
Ingeniera Ambiental, Msc en Hidrosistemas

Codirector:  
ISABEL SIERRA SEPÚLVEDA  
Contralora auxiliar de control fiscal y apoyo financiero

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
VILLAVICENCIO

2019

**Autoridades Académicas**

**P. José Gabriel MESA ANGULO, O. P.**

Rector General

**P. Eduardo GONZÁLEZ GIL, O. P.**

Vicerrector Académico General

**P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O.P.**

Rector Sede Villavicencio

**P. Rodrigo GARCÍA JARA, O.P.**

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

**Adm. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN**

Secretaria de División Sede Villavicencio

**Ing. YÉSSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN**

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

**Nota De Aceptación**

---

---

---

---

---

**YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRAN**

Decana de la Facultad de Ingeniería Ambiental

---

**VERÓNICA DUQUE PARDO**

Director Trabajo de Grado

---

**OLGA LUCIA CUDIDES DUSSAN**

Jurado

---

**KIMBERLY PATRICIA MONTAÑEZ MEDINA**

Jurado

Villavicencio, Septiembre, 2019.

### **Dedicatoria**

A Dios que por su ayuda constante nunca me dejo desfallecer a pesar de las dificultades.

A mis padres Carlos Martínez Ladino y Yamile Urrea Parra quienes me han apoyado incondicionalmente en todo el proceso con su amor, paciencia y esfuerzo, me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía.

A mi familia, mis amigos que de una u otra manera me brindaron su colaboración y se involucraron en este proyecto

*Leidy Lorena Martínez Urrea*

A Dios por su infinito amor al darme la oportunidad de este gran paso, con miras a colaborar en la construcción de una sociedad mejor en termino ambiental.

A mi madre; Lilia Valbuena Cañón, por sus buenos valores, su comprensión, su paciencia y apoyo incondicional quien con su ejemplo hizo de mí una persona perseverante para lograr cada objetivo que me proponga, mi ejemplo a seguir, mi guía.

A mi familia, amigos y cada una de las personas que estuvieron en algún momento en esta maravillosa etapa. Mil gracias.

*Jessica Quiñones Valbuena*

### **Agradecimiento**

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias Familia Martínez Urrea y Quiñones Valbuena, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

Agradecemos a nuestros docentes de la facultad de ingeniería ambiental de la Universidad Santo Tomas sede Villavicencio, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, a la ingeniera Ambiental con Msc en Hidrosistemas Verónica Duque Pardo directora de nuestro proyecto de investigación quien ha guiado con paciencia, comprensión, respeto y apoyo la culminación de este proyecto; a la contraloría municipal de Villavicencio por permitir desarrollar nuestra pasantía logrando un mayor aprendizaje en campo.

*Leidy Lorena Martínez Urrea*

*Jessica Quiñones Valbuena*

## Resumen

El objetivo principal de este proyecto es analizar la afectación en la calidad del agua del caño siete vueltas del municipio de Villavicencio por vertimientos de aguas residuales teniendo en cuenta la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) donde se clasifican en Aguas Residuales Domésticas (ARD), Aguas Residuales no Domésticas (ARnD), a causa de la problemática ambiental presentada a la contraloría municipal de Villavicencio por la veeduría ambiental de la comuna 8 del municipio anteriormente mencionado; se reconoció el área de estudio identificando cada uno de los puntos donde hay presencia de vertimientos de agua residual comparando con la información previa otorgada por Cormacarena donde se determina la cantidad de vertimientos y su respectivo permiso ambiental.

Así mismo se realizó monitoreo in-situ y ex-situ a diferentes parámetros como: temperatura, caudal, conductividad, PH, dureza, alcalinidad, turbiedad, solidos suspendidos totales, nitratos, fosforo, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), coliformes fecales y totales, la interpretación de estos datos físicos, químicos y microbiológicos se llevaron a cabo a través del uso de índices de calidad del agua “ICA” e índices de contaminación “ICO’s” como el índice de contaminación por mineralización (ICOMI), índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), índice de contaminación por solidos suspendidos (ICOSUS), índice de contaminación por temperatura (ICOTEMP) e índice de contaminación por pH (ICOpH), en el laboratorio de aguas y microbiología de la universidad Santo Tomas campus aguas claras sede Villavicencio, se tuvo en cuenta las condiciones climáticas precipitaciones altas y bajas en el primer semestre del año 2019, reconociendo las características de las aguas vertidas al caño siete vueltas, determinando el tipo de vertimiento mediante la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible (MADS), la afectación sobre el cuerpo receptor mediante indicadores de calidad del agua (ICA) e índices de contaminación (ICO) y el grado de afectación de contaminación presente en el caño siete vueltas.

Con el fin de consolidar toda la información recolectada la cual será insumo para la elaboración del informe ambiental anual que presenta la contraloría municipal de Villavicencio y dar respuestas por la situación actual de la microcuenca caño siete vueltas a la veeduría ambiental de la comuna 8 de Villavicencio.

**Palabras clave:** Calidad del agua, ICA, ICO, vertimientos.



### **Abstract**

The main objective of this project is to analyze the impact on the water quality of the seven laps of the municipality of Villavicencio by wastewater discharges, taking into account resolution 631 of 2015 of the Ministry of Environment and Sustainable Development (MADS) where they are classified as Domestic Wastewater (ARD), Non-Domestic Wastewater (ARnD), a cause of the environmental problem presented to the municipal comptroller of Villavicencio by the environmental oversight of the commune 8 of the previous municipality; The study area is recognized by identifying each of the points where there is a presence of wastewater discharges compared to the previous information granted by Cormacarena where the amount of discharges and their respective environmental permit is determined.

Likewise, in-situ and ex-situ monitoring was carried out at different parameters such as: temperature, flow, conductivity, PH, hardness, alkalinity, turbidity, total suspended solids, nitrates, phosphorus, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand (BOD5), fecal and total coliforms, the interpretation of these physical, chemical and microbiological data was carried out through the use of “ICA” water quality indices and “ICO's” contamination indices such as the mineralization contamination index (ICOMI), organic matter contamination index (ICOMO), suspended solids contamination index (ICOSUS), temperature contamination index (ICOTEMP) and pH contamination index (ICOpH), in the water and microbiology laboratory of the Santo Tomas University Villavicencio headquarters clear water campus, the high and low rainfall climatic conditions were taken into account in the first half of the year 2019, recognizing the characteristics of the water discharged into the pipe seven laps, determining the type of discharge through resolution 631 of 2015 of the Ministry of Environment and Sustainable Development ( MADS), the affectation on the receiving body by means of water quality indicators (ICA) and pollution indexes (ICO) and the degree of contamination affectation present in the pipe seven laps.

In order to consolidate all the information collected which will be input for the preparation of the annual environmental report presented by the municipal comptroller of Villavicencio and provide

answers for the current situation of the Caño microbasin seven laps to the environmental oversight of the commune 8 of Villavicencio.

**Keywords:** Water quality, ICA, ICO, dumping.

**Tabla de contenido**

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Resumen.....                                                          | 7  |
| Abstract .....                                                        | 9  |
| 1. Introducción .....                                                 | 17 |
| 2. Descripción del problema .....                                     | 18 |
| 3. Justificación .....                                                | 20 |
| 4. Alcance .....                                                      | 22 |
| 5. Objetivos.....                                                     | 24 |
| 5.1.    Objetivo general .....                                        | 24 |
| 5.2.    Objetivos específicos.....                                    | 24 |
| 6.    Antecedentes.....                                               | 25 |
| 7.    Marco referencial.....                                          | 28 |
| 7.1.    Marco teórico .....                                           | 28 |
| 7.2.    Marco conceptual .....                                        | 29 |
| 7.3.    Marco legal.....                                              | 32 |
| 8.    Metodología.....                                                | 34 |
| 9.    Resultados y análisis de resultados.....                        | 44 |
| 10.    Evaluación y cumplimiento de los objetivos de la pasantía..... | 76 |
| 11.    Conclusiones.....                                              | 77 |
| 12.    Recomendaciones .....                                          | 79 |
| 13.    Bibliografía .....                                             | 80 |
| 14.    Apéndices.....                                                 | 85 |

### Lista de tablas

|                                                                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> Normatividad Vigente a implementar en el análisis de la afectación en la calidad del agua del caño siete vueltas del municipio de Villavicencio por vertimientos de aguas residuales.....   | 33 |
| <b>Tabla 2</b> Parámetros a medir IN-SITU - EX-SITU en el análisis de la afectación en la calidad del agua del caño siete vueltas del municipio de Villavicencio por vertimientos de aguas residuales..... | 36 |
| <b>Tabla 3</b> Valores asignados para el índice de calidad del agua ICA-NFS .....                                                                                                                          | 38 |
| <b>Tabla 4</b> Clasificación del índice de calidad del agua ICA-NSF .....                                                                                                                                  | 38 |
| <b>Tabla 5</b> Clasificación según grado de contaminación .....                                                                                                                                            | 42 |
| <b>Tabla 6</b> Coordenadas de los puntos de monitoreo del caño Siete Vueltas .....                                                                                                                         | 44 |
| <b>Tabla 7</b> Resultado de monitoreo realizado por proceavicola S.A.S el 7 de julio de 2019.....                                                                                                          | 46 |
| <b>Tabla 8</b> Resultados de monitoreo realizado a vertimiento doméstico, en precipitación baja en el primer semestre del año 2019 .....                                                                   | 49 |
| <b>Tabla 9</b> Resultados de monitoreo realizado a vertimiento doméstico, en precipitación alta en el primer semestre del año 2019 .....                                                                   | 50 |
| <b>Tabla 10</b> Resultados de monitoreo realizado a vertimiento no doméstico ARnD, en precipitación baja en el primer semestre del año 2019.....                                                           | 52 |
| <b>Tabla 11</b> Resultados de monitoreo realizado a vertimiento no doméstico ARnD, en precipitación alta en el primer semestre del año 2019.....                                                           | 52 |
| <b>Tabla 12</b> Vertimientos puntuales identificados de aguas residuales en la fuente hídrica Caño Siete Vueltas del municipio de Villavicencio del departamento del Meta.....                             | 57 |
| <b>Tabla 13</b> Datos obtenidos en la toma de muestras para el cálculo del índice de calidad del agua (ICA) e índices de contaminación (ICOs) .....                                                        | 58 |
| <b>Tabla 14</b> Valores obtenidos del ICA-NSF del caño siete vueltas, a partir de los datos obtenidos.....                                                                                                 | 59 |
| <b>Tabla 15</b> Valores obtenidos del ICOMI del caño siete vueltas, a partir de los datos obtenidos.....                                                                                                   | 60 |
| <b>Tabla 16</b> Valores obtenidos del ICOMO del caño siete vueltas a partir de los datos obtenidos .....                                                                                                   | 61 |
| <b>Tabla 17</b> Valores obtenidos del ICOSUS del caño siete vueltas, a partir de los datos obtenidos.....                                                                                                  | 62 |
| <b>Tabla 18</b> Valores obtenidos del ICOTEMP del caño siete vueltas, a partir de los datos obtenidos.....                                                                                                 | 63 |
| <b>Tabla 19</b> Valores obtenidos del ICOpH del caño siete vueltas, a partir de los datos obtenidos.....                                                                                                   | 64 |

### Lista de figuras

|                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Ubicación de la zona de estudio Caño Siete Vueltas. A partir de software ArcMaps 10.2.2.....                                                                                                                                          | 23 |
| Figura 2 Histórico de precipitaciones del primer semestre del año 2019 de la estación meteorológica ubicada en el barrio Catumare monitoreada por Cormacarena.....                                                                              | 35 |
| Figura 3 Salida del vertimiento de PROCEAVICOLA donde se evidencia residuos de plumas y demás .....                                                                                                                                             | 48 |
| Figura 4 Resultado de la toma de muestras en precipitaciones bajas y altas de los sólidos suspendidos totales del vertimiento doméstico.....                                                                                                    | 54 |
| Figura 5 Resultado de la toma de muestras en precipitaciones bajas y altas de los sólidos suspendidos totales del vertimiento no doméstico.....                                                                                                 | 55 |
| Figura 6 Resultado de la toma de muestras en precipitaciones bajas y altas de la demanda bioquímica de oxígeno del vertimiento doméstico .....                                                                                                  | 56 |
| Figura 7 Resultado de la toma de muestras en precipitaciones bajas y altas de la demanda bioquímica de oxígeno del vertimiento no doméstico .....                                                                                               | 57 |
| Figura 8. Aplicación del índice de calidad del agua ICA-NSF en el análisis de la afectación en la calidad del agua del caño siete vueltas del municipio de Villavicencio por vertimientos de aguas residuales.....                              | 66 |
| Figura 9. Aplicación del índice de contaminación por mineralización ICOMI en el análisis de la afectación en la calidad del agua del caño siete vueltas del municipio de Villavicencio por vertimientos de aguas residuales.....                | 68 |
| Figura 10. Aplicación del índice de contaminación por materia orgánica ICOMO en el análisis de la afectación en la calidad del agua del caño siete vueltas del municipio de Villavicencio por vertimientos de aguas residuales.....             | 70 |
| Figura 11. Aplicación del índice de contaminación por solidos suspendidos totales ICOSUS en el análisis de la afectación en la calidad del agua del caño siete vueltas del municipio de Villavicencio por vertimientos de aguas residuales..... | 72 |

Figura 12. Aplicación del índice de contaminación por Temperatura ICOTEMP en el análisis de la afectación en la calidad del agua del caño siete vueltas del municipio de Villavicencio por vertimientos de aguas residuales..... 74

Figura 13. Aplicación del índice de contaminación por pH ICOpH en el análisis de la afectación en la calidad del agua del caño siete vueltas del municipio de Villavicencio por vertimientos de aguas residuales ..... 75

**Lista de ecuaciones**

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Ecuación 1.</b> ICA-NSF .....                                          | 38 |
| <b>Ecuación 2.</b> Índice de contaminación por mineralización.....        | 39 |
| <b>Ecuación 3.</b> Conductividad .....                                    | 39 |
| <b>Ecuación 4.</b> Dureza .....                                           | 39 |
| <b>Ecuación 5.</b> Alcalinidad .....                                      | 40 |
| <b>Ecuación 6.</b> Índice de contaminación por materia orgánica.....      | 40 |
| <b>Ecuación 7.</b> Demanda Bioquímica de Oxígeno .....                    | 40 |
| <b>Ecuación 8.</b> Coliformes Totales .....                               | 40 |
| <b>Ecuación 9.</b> Oxígeno Disuelto .....                                 | 41 |
| <b>Ecuación 10.</b> Índice de contaminación por solidos suspendidos ..... | 41 |
| <b>Ecuación 11.</b> Índice de contaminación por temperatura .....         | 41 |
| <b>Ecuación 12.</b> Índice de contaminación por pH .....                  | 42 |

### Lista de Apéndices

|                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Apéndice A.</b> Evidencia en la temporada de sequía en el caño Siete Vueltas. ....                                                                 | 86 |
| <b>Apéndice B.</b> Toma de muestras de los parámetros a tener en cuenta para el índice de calidad del agua (ICA-NSF).....                             | 88 |
| <b>Apéndice C.</b> Toma de muestras de los parámetros a tener en cuenta para los índices de contaminación (ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOTEMP, ICOpH)..... | 89 |
| <b>Apéndice D.</b> Evidencia del sistema de tratamiento de aguas residuales y Campo de filtración de molinos ROA. ....                                | 92 |



## 1. Introducción

Toda comunidad tiene un impacto sobre el medio natural que la rodea este es el caso del desecho de aguas residuales, que son el resultado del uso en el hogar, en la industria y en el comercio de agua entubada (RAMALHO, 2008), estos vertimientos afectan directamente el recurso hídrico, por ello la importancia de establecer control y prevención ambiental para conservar y recuperar las características naturales de los cuerpos de agua receptores de todo tipo de vertimientos (Martínez Romero, Fonseca Gómez, Ortega Sánchez, & García Luján, 2009).

Los vertimientos directos son la mayor amenaza al recurso hídrico por la introducción incontrolada de contaminantes, provocando un impacto a corto y largo plazo sobre la fuente receptora, actualmente en el municipio de Villavicencio se presenta una queja por la veeduría ambiental en la contraloría municipal por vertimientos de aguas sucias al caño siete vueltas, lo cual ocasiona proliferación de vectores, enfermedades, malos olores entre otros, especialmente en la comuna 8 (CONTRALORIA, 2018).

La afectación en la calidad del agua por vertimientos de aguas residuales cada vez es mayor, frente a este panorama surge la necesidad de cuantificar y verificar la procedencia de los vertimientos en el afluente, teniendo como objetivo principal analizar la calidad del agua del caño Siete Vueltas empleando índices de calidad (ICA) e índices de contaminación (ICO); en los cuales se incluyen el índice de contaminación por mineralización (ICOMI), índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS), índice de contaminación por temperatura (ICOTEMP) e índice de contaminación por pH (ICOpH), en el primer semestre del año 2019, teniendo en cuenta precipitaciones altas y bajas. Con el fin de conocer la situación actual de la microcuenca caracterizando las aguas residuales vertidas mediante la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible (MADS) y definir el grado de afectación presente en el caño siete vueltas por medio de una zonificación, esta investigación será insumo para la elaboración del informe ambiental anual que presenta la contraloría municipal de Villavicencio.

## 2. Descripción del problema

La mayoría de las actividades humanas que utilizan agua generan aguas residuales, por esto a medida que crece la demanda global de agua, el volumen de aguas residuales y su nivel de contaminación y por ende es constante el aumento en todo el mundo (WWAP - Programa mundial de evaluación de los recursos hídricos de las naciones unidas., 2017). Una de las principales causas es la ausencia de control de las características y parámetros que deben ser reducidos en estas aguas. Esto se debe a la falta de normativas que regulen su manejo, lo cual constituye un riesgo para la salud de la comunidad y su entorno.

En Colombia, un alto porcentaje de la población se encuentra afectada por la contaminación del agua debido a que en muchos municipios no se realiza tratamiento alguno a dichas aguas domésticas y no domésticas antes de ser vertidas a las fuentes hídricas o cuerpos receptores (Díaz Martínez & Granada Torres, 2016), sin embargo una de las medidas fundamentales para prevenir la contaminación consiste en evitar el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento a los cuerpos de agua que abastecen a las ciudades y a sus industrias. En el caso de las plantas industriales, estas requieren agua, no sólo como parte de sus procesos, sino también para generar vapor o para labores de mantenimiento, en cada uno de estos casos el agua tiene que cumplir con ciertas especificaciones técnicas para posibilitar su aprovechamiento (Loayza, 2009).

Así mismo, en el departamento del Meta se presentan problemáticas relacionadas con la disposición de los efluentes líquidos provenientes del uso doméstico y no doméstico, afectando directamente a la fauna, flora, y problemas en la salud pública. El caño Siete Vueltas es una de las fuentes hídricas que se ha visto afectada por vertimientos; entre los cuales se encuentran domésticos y no domésticos. Por tal razón, la comunidad ha presentado quejas a la contraloría municipal, por la presencia puntual de vertimientos que generan vectores, olores y contaminación visual, dicha cuenca está ubicada en la vía Acacias, en el kilómetro 3 en Villavicencio, de igual, manifiesta la comunidad que muchos de estos vertimientos sobre el caño Siete Vueltas no cuentan con permisos ambientales para verter, permiso que otorga la autoridad ambiental CORMACARENA (Veeduría Ciudadana, 2018).

Por el escenario planteado anteriormente se formuló la siguiente pregunta problémica ¿Cuál es la afectación en la calidad del agua en el caño Siete Vueltas del municipio de Villavicencio (Meta), causada por los vertimientos domésticos y no domésticos?

### 3. Justificación

La disposición final inadecuada de las aguas residuales provenientes de actividades industriales, comerciales, domésticas y entre otras, afectan directamente el recurso hídrico, por ello la importancia de establecer control y prevención ambiental para conservar y recuperar las características naturales de los cuerpos de agua receptores de todo tipo de vertimientos; ya que para el hombre el efecto más perjudicial del agua contaminada ha sido transmisión de enfermedades por microorganismos y vectores que pueden habitar en ella (Martínez Romero, Fonseca Gómez, Ortega Sánchez, & García Luján, 2009). La presencia de estos organismos patógenos hace que estas aguas sean consideradas como extremadamente peligrosas, sobre todo al ser descargadas en cuerpos de agua (Rodríguez Pimentel, s.f.), de igual manera cuando se disponen en una corriente superficial ocasionan contaminación que afecta la flora, la fauna y la población.

Así mismo en la mayoría de países en desarrollo, el riesgo microbiológico es bastante marcado principalmente asociado a un inadecuado saneamiento, lo que se ratifica en la Agenda 21 de la conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo que afirma que aproximadamente 80% de todas las enfermedades y más de una tercera parte de las defunciones en estos países tienen por causa el consumo de agua contaminada y hasta una décima parte del tiempo productivo de las personas se dedica a enfermedades relacionadas con agua (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

Esta investigación se realiza con la queja presentada por la veeduría ambiental en la contraloría municipal de Villavicencio por vertimientos de aguas sucias al caño siete vueltas, lo cual ocasiona proliferación de vectores, enfermedades, malos olores entre otros, especialmente en la comuna 8 (CONTRALORIA, 2018), frente a este panorama se realiza esta investigación que consiste en el análisis de la calidad del agua lo cual permite tomar acciones de control y mitigación del mismo, (Torres, Cruz, & Patiño, 2009), para así determinar la magnitud del impacto ambiental ocasionado por las aguas residuales sobre la cuenca del caño Siete Vueltas por vertimientos domésticos y no domésticos, es pertinente realizar estudios que contribuyan al mejoramiento de problemáticas ambientales para beneficiar a la comunidad de la comuna 8, teniendo en cuenta que en el año 2005

el número de habitantes perteneciente a esta comuna asciende a 44.688, aumentando un 2,51% y para el año 2006 llegando a 45.810 personas, manteniéndose que la tendencia de incremento poblacional en las comunas es igual que el incremento poblacional municipal (DANE, 2018) y sus zonas aledañas, como a la fuente hídrica.

#### **4. Alcance**

El presente trabajo comprende el análisis de la afectación en la calidad del agua del caño Siete Vueltas del municipio de Villavicencio por vertimientos domésticos y no domésticos, a través del uso de índices de calidad de agua “ICA” e índices de contaminación “ICOS” determinando si cada una de las viviendas e industrias que vierten al cuerpo de agua están cumpliendo con los niveles permisibles establecidos por la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) de acuerdo a los parámetros medidos, para determinar el grado de contaminación de la microcuenca, con el fin de contribuir a la contraloría municipal de Villavicencio con la respuesta frente a la comunidad por contaminación a la fuente hídrica.

A continuación se muestra la delimitación espacial mediante el software ArcMap 10.2.2 de la zona de estudio de la microcuenca del caño siete vueltas del municipio de Villavicencio en el tramo comprendido entre las coordenadas 4° 11' 11" 695" - 73° 53' 335" y 4° 11' 11" 668" – 73° 53' 303 " , con una longitud aproximadamente de 1,90km (CORMACARENA, 2018).

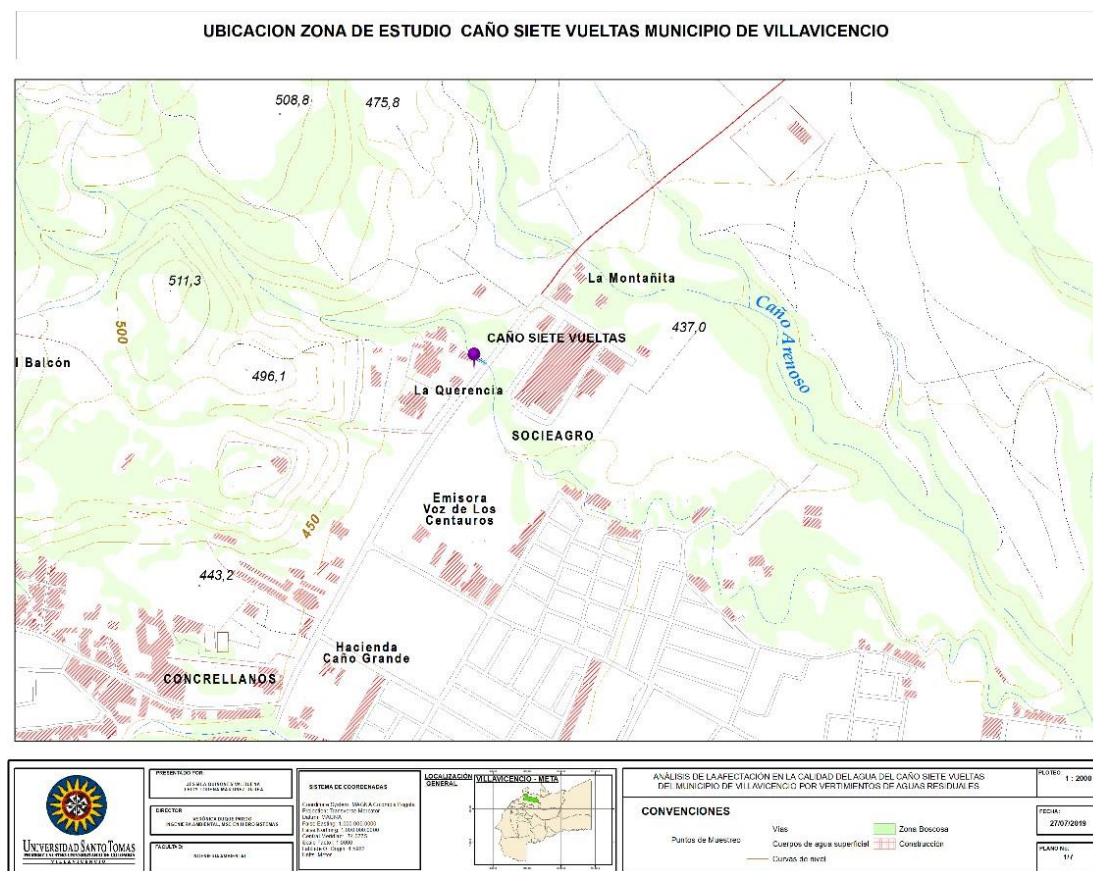


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio Caño Siete Vueltas. Fuente: Autores, 2019. A partir de software ArcMaps 10.2.2.

La ejecución de este proyecto se desarrolló en el primer semestre del año 2019, en los meses de febrero, marzo, abril y mayo, se tuvo en cuenta las condiciones climáticas del municipio tanto precipitaciones bajas y precipitaciones altas puesto que estas variables influyen directamente en las concentraciones y en la capacidad de asimilación del cuerpo receptor en el momento de tomar las muestras en vertimientos como en la superficie del afluente caño Siete Vueltas.

## **5. Objetivos**

### **5.1. Objetivo general**

Analizar la calidad del agua del caño Siete Vueltas empleando índices de calidad (ICA) e índices de contaminación (ICO).

### **5.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar las aguas residuales vertidas identificadas en el caño Siete Vueltas.
- Analizar la afectación sobre el cuerpo receptor mediante indicadores de calidad del agua (ICA) e índices de contaminación (ICO).
- Definir el grado de afectación presente en el caño siete vueltas por medio de una Zonificación.



## 6. Antecedentes.

En los últimos 10 años, varios países europeos han desarrollado y aplicado diferentes sistemas para clasificar la calidad de las aguas; sin embargo, el desarrollo de índices de calidad del agua (ICAs) basados en el empleo de valores numéricos para asignar una gradación de la calidad en una escala prácticamente continua son relativamente recientes (Torres, Cruz, & Patiño, 2009). El Índice de Calidad del Agua (ICA) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y esta expresado como porcentaje del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un valor cercano o igual a 0% en tanto que el agua en excelentes condiciones tendrá un valor de este índice cercano a 100% (Castro, Almeida, Ferrer, & Díaz, 2014).

En Canadá, el Canadian Council of Ministers of the Environment desarrolló un ICA orientado inicialmente a la elevación de la calidad ecológica de las aguas basado en la comparación de los valores de cada parámetro con un punto de referencia, el cual generalmente es obtenido de una norma o guía de calidad del agua; dada su flexibilidad en los parámetros y el uso de directrices para protección de la vida acuática que emplea, este índice permite evaluar la calidad de las aguas destinadas a consumo humano (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

En Brasil, la compañía de Tecnología de Saneamiento Ambiental desarrolló e implementó el índice de calidad del agua (ICA) de agua cruda para abastecimiento público – IAP como respuesta al aumento en la complejidad de los contaminantes vertidos a las fuentes de aguas; su cálculo se realiza mediante el producto de la ponderación de los resultados del índice de calidad del agua- IQA- y el índice de sustancias tóxicas –ISTO-, el primero adaptado a partir del ICA-NSF (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

En Colombia, el deterioro del recurso hídrico está asociado principalmente con vertimientos de aguas residuales domésticas, industriales, de producción agrícola, ganadera, y residuos sólidos dispuestos en rellenos sanitarios o directamente en fuentes hídricas (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

En socorro, Santander, se realizó un estudio dentro de la microcuenca Sancotea donde su principal objetivo era el diagnóstico de la calidad del agua mediante la aplicación de índices de contaminación, como el índice de contaminación por mineralización (ICOMI), sólidos suspendidos (ICOSUS), materia orgánica (ICOMO), pH (ICOpH) y el índice de contaminación biótico (ICOBIO), para así, evaluar su comportamiento como fuente de abastecimiento para el acueducto municipal (Torres Solano, 2008), obteniendo como resultado que en la parte alta y media de la cuenca se encontraban altamente contaminadas por DBO<sub>5</sub>, oxígeno disuelto y coliformes fecales. El autor relaciona estos resultados con variados rangos de intromisión, descargas de aguas residuales domésticas directas y procedentes de pozos sépticos, también intromisión agrícola con el vertido de residuos y uso inadecuado de agroquímicos.

En los cuerpos superficiales de Bahía Solano, Chocó, se aplicaron el ICOMI, ICOMO e ICOSUS, usando el protocolo del IDEAM como guía de monitoreo de las corrientes hídricas, donde se tomaron muestras de varios cuerpos de aguas superficiales, para así determinar mediante las características fisicoquímicas y bacteriológicas los índices de contaminación. Los resultados obtenidos arrojaron que los contaminantes asociados con la materia orgánica superan el 53%, estos problemas de contaminación del agua se generan como consecuencia del desarrollo de las actividades humanas (Valverde Solis, Moreno Tamayo, & Ortiz Palacios, 2015).

Entre el año de 2010 y 2013 se realizó la evaluación de la situación actual de las fuentes de vertimientos en la ciudad de Villavicencio-Meta en función del desarrollo de una propuesta de sostenibilidad ambiental de factores relacionados con la salud pública en poblaciones aledañas (González Archila, 2014).

En el año 2011 Cormacarena realizó un estudio de calidad de agua a la cuenca del río Guatiquía que abarca los municipios San Juanito, El Calvario, Villavicencio, Restrepo, Cumaral entre otros a raíz del aumento de asentamientos humanos y la necesidad del abastecimiento de agua potable y alcantarillado. En estos municipios se han conformado prestadores de servicios públicos que se encargan de la captación, conducción, almacenamiento, tratamiento, comercialización y distribución del agua potable para consumo humano, y de la recolección y disposición final de las aguas negras provenientes del alcantarillado (Amaya Cano, 2011).

En el año 2018 se realizó un proyecto de evaluación de la calidad del agua para la formulación de estrategias de aprovechamiento y conservación de la microcuenca quebrada la argentina en Villavicencio, Meta, el tratamiento y la interpretación de los datos físicos, químicos y microbiológicos, se llevó a cabo a través de índices de calidad del agua "ICA" e índices de contaminación "ICO", por mineralización ICOMI y materia orgánica ICOMO (Martinez Ortiz & Barrero Arias, 2018).

Actualmente no se han realizado estudios a la fuente hídrica del caño siete vueltas, se cuenta con información secundaria como quejas de la veeduría ambiental de la comuna 8 puesta ante la comisión (Veeduría Ciudadana, 2018).

## **7. Marco referencial**

### **7.1. Marco teórico**

La contaminación de los cuerpos superficiales de agua es un proceso que se refleja debido a acciones antrópicas y el crecimiento desordenado de las áreas residenciales tanto a nivel urbano como rural. La calidad del agua superficial regularmente es estudiada a través de la cuantificación de características fisicoquímicas y biológicas del agua, sin embargo, existen diferentes agrupaciones de estas características denominadas índices de calidad del agua, desarrollados bien con fines específicos de conformidad con los usos del agua o como resultado de políticas de monitoreo y evaluación de la calidad del agua superficial a nivel de región o país (Aguirre Cordón, Vanegas Chacón , & García Álvarez , 2016).

El conocimiento de las características fisicoquímicas de las aguas residuales es importante no solo para la industria o residencia doméstica sino para cumplir con las exigencias de la entidad reguladora (ANDI & Banco Interamericano de Desarrollo, 1997). Para conocer las condiciones de estas aguas se emplean los índices de calidad del agua en donde se engloban varios parámetros en su mayoría físico-químicos y en algunos casos pueden llegar a ser microbiológicos que permiten reducir la información a una expresión sencilla, conocida como: índices del agua (ICA) e índices de contaminación del agua (ICO) (Samboni Ruiz, Carvajarl Escobar, & Escobar, 2007).

Dichos índices nos permiten tener una idea clara de la situación que expresa el índice como contaminación excesiva, media o inexistente, siendo de fácil interpretación y abstracción, los beneficios que tienen estos índices son tales como tomar información compleja y la sintetizarla de manera que la hace entendible, ayudar a transformar gran variedad de indicadores ambientales en un sistema de comunicación y hacer que la información derivada de su aplicación, sea de gran utilidad a las personas que trabajan en la normatividad (Fernández & Solano, 2005).

El índice de contaminación por mineralización (ICOMI), se expresa en distintas variables como lo es la conductividad como reflejo del conjunto de solidos disueltos, dureza por cuanto recoge los

caciones calcio y magnesio, y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonates y bicarbonatos, de igual manera el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) se expresa en diferentes variables fisicoquímicas de las cuales se seleccionan la demanda química de oxígeno, coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno, las cuales, en conjunto recogen efectos distintos de la contaminación orgánica (Ramírez, Restrepo, & Viña, 1997).

El índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS), como el índice de contaminación por temperatura (ICOTEMP) y el índice de contaminación por PH (ICOpH) se determinan tan solo con una variable. Todos estos índices de contaminación son de fácil estimación (matemática o gráficamente) y permiten puntualizar el tipo de problema ambiental existente (Ramírez, Restrepo, & Viña, 1997).

## **7.2. Marco conceptual**

Las aguas residuales son aquellos residuos líquidos provenientes del uso doméstico, comercial e industrial, los cuales por razones de salud pública no pueden ser vertidas a los cursos de aguas de corrientes o lagos (Decreto 3930, 2010).

Las Aguas Residuales Domésticas (ARD) son las procedentes de los hogares, así como la de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que correspondan a descargas de los retretes, servicios sanitarios, descarga de los sistemas de aseo personal como la duchas y lavamanos, las áreas de cocinas, las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos, en cambio, las Aguas Residuales no Domésticas (ARnD), son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintas a las que constituyen aguas residuales domésticas (Resolución 631, 2015).

La caracterización de estas aguas se hace por medio de los parámetros físico-químicos y microbiológicos que dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas y microbiológicas (Samboni Ruiz, Carvajarl Escobar, & Escobar, 2007).

- Parámetros físicos-Químicos

*Turbiedad:* Es una expresión de la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión, a mayor intensidad de suspensión de la luz, la turbiedad será mayor (IDEAM, 2007)

*Sólidos Suspendidos Totales:* Evaporación de un volumen conocido de muestra y secado el residuo en estufa a 105°C, se realiza el peso indicando el resultado en mg/L, con esta medida se permite conocer el contenido total de sustancias volátiles presentes en el agua (Jiménez & Barba, 2000).

*DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxígeno):* es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días a 20°C (IDEAM, 2007).

*pH:* Parámetro de control, importante en los procesos de los seres vivos, una variación brusca de este o valores extremos causaran serios problemas a los procesos biológicos, pH menores de 7 son aguas ácidas, pH mayores de 7 se denominan aguas básicas y pueden producir precipitación de sales insolubles (ANDI & Banco Interamericano de Desarrollo, 1997).

*Temperatura:* La temperatura del agua tiene gran importancia en el desarrollo de los diversos procesos que en ella se realizan, de forma que un aumento de la temperatura modifica la solubilidad de las sustancias (Jiménez & Barba, 2000).

*Conductividad:* Es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica, esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad valencia y de la temperatura de la medición (IDEAM, 2006).

*Alcalinidad:* Se determina por valoración con ácido, determinando los puntos de equivalencia mediante electrodo selectivo de pH o indicadores adecuados (Jiménez & Barba, 2000).

*Oxígeno disuelto:* Capacidad de oxígeno que está en disolución (ANDI & Banco Interamericano de Desarrollo, 1997).

*Fosforo:* El fosforo junto con el nitrógeno, son dos de los nutrientes fundamentales de todos los seres vivos, de forma que contenidos anormalmente altos de estos en las aguas pueden producir un crecimiento incontrolado de la biomasa acuática (eutrofización) (Jiménez & Barba, 2000).

*Dureza:* La dureza es causada por iones metálicos divalentes capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones (IDEAM, 2017).

- Parámetros microbiológicos

*Coliformes Totales:* Se encuentran con más frecuencia en el medio ambiente, pueden estar en el suelo y en las superficies de agua dulce, por lo que no son siempre intestinales (IDEAM, 2007).

Es corriente la utilización de parámetros físico-químicos, de forma aislada, como “indicadores” de la calidad del agua, así como la aplicación de fórmulas que combinan alguno de ellos y que reciben el nombre de “índices”. Estos índices proporcionan un valor numérico que, posteriormente, se relaciona con una determinada calidad del agua (Vidal, Gutierrez, Suarez, Gómez Cerezo, & Ramírez Díaz, 1996).

*Los índices de calidad e índices de contaminación de aguas (ICA e ICO:* Se utilizan para simplificar numéricamente las características positivas o negativas del estado de las fuentes superficiales. Estos ICA e ICO, tienden a estimar un numero comprendido entre 0 y 1 o 0 y 100, que definen el grado de calidad el cuerpo del agua y a la integridad ecológica en los sistemas acuáticos. Con los ICA, se reconoce de forma más sencilla y económica los problemas de contaminación del cuerpo de agua (Valverde Solis, Moreno Tamayo, & Ortiz Palacios, 2015)

#### Ventajas del ICA:

- Permiten mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua.
- Método simple, conciso y valido para expresar la importancia de los datos generados regularmente en el laboratorio
- Útiles en la evaluación de la calidad del agua para usos generales
- Permiten a los usuarios una fácil interpretación de los datos
- Pueden identificar tendencias de la calidad del agua y áreas problemáticas
- Permiten priorizar para evaluaciones de calidad del agua más detalladas
- Mejoran la comunicación con el público y aumentan su conciencia sobre las condiciones de calidad del agua
- Ayudan en la definición de prioridades con fines de gestión (Torres, Cruz, & Patiño, 2009)

#### Limitaciones del ICA:

- Proporcionan un resumen de los datos
- No proporcionan información completa sobre la calidad del agua
- No pueden evaluar todos los riesgos presentes en el agua
- Pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación
- No son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que presentan las cuencas de una región a otra
- Se basan en generalizaciones conceptuales que no son de aplicación universal
- Algunos científicos y estadísticos tienden a rechazar y criticar su metodología, lo que afecta la credibilidad de los ICA como una herramienta para la gestión (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

### 7.3. Marco legal

La normatividad vigente a implementar teniendo en cuenta la importancia del recurso hídrico son las mostradas a continuación;



**Tabla 1**

Recopilación de la normatividad vigente que aplica para el trabajo desarrollado

| <b>Norma</b>                   | <b>Artículo</b>        | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Decreto 1594 de 1984</b>    | Art. 6                 | Entiéndase por vertimiento líquido cualquier descarga líquida hecha a un cuerpo de agua o a un alcantarillado.                                                                                                                                                          |
| <b>Decreto 3930 de 2010</b>    | Art. 41                | Toda persona natural o jurídica cuya actividad o servicio genere vertimientos a las aguas superficiales, marinas, o al suelo, deberá solicitar y tramitar ante la autoridad ambiental competente, el respectivo permiso de vertimientos.                                |
| <b>Decreto 1076 de 2015</b>    | Título 3<br>Capítulo 2 | Se prohíbe verter, sin tratamiento, residuos sólidos, líquidos o gaseosos, que puedan contaminar o eutroficar las aguas, causar daño o poner en peligro la salud humana o el normal desarrollo de la flora o fauna, o impedir u obstaculizar su empleo para otros usos. |
| <b>Resolución 0631 de 2015</b> | Art. 2                 | La presente resolución se adopta para las aguas residuales domésticas –ARD como las procedentes de hogares; y aguas residuales no domésticas - ARnD actividades industriales, comerciales o de servicios.                                                               |
|                                | Art. 8                 | Los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales Domésticas – ARD y de las aguas residuales no domesticas - ARnD                                                                               |

***Nota: Normatividad vigente a implementar en el análisis de la afectación en la calidad del agua del caño siete vueltas del municipio de Villavicencio por vertimientos de aguas residuales. Por Martínez & Quiñones, 2019.***

## **8. Metodología**

### **Fase 1: caracterizar las aguas residuales vertidas al caño siete vueltas.**

#### **Actividad 1: Selección de puntos de muestro**

En esta fase, se realizó el reconocimiento del área de estudio por medio de salidas a campo en la microcuenca del caño Siete Vueltas (2 días). A partir de esto, se tuvieron en cuenta varios factores, principalmente la ubicación, accesibilidad y procedencia (domésticos y no domesticos) de los puntos de cada uno de los vertimientos de aguas residuales, y de esta manera confirmar y validar la información proporcionada por CORMACARENA.

#### **Actividad 2: Monitoreo de parámetros fisicoquímicos en laboratorio**

Se tomaron dos muestras puntuales para conformar una muestra compuesta a los vertimientos de las aguas residuales del caño Siete Vueltas en el tramo comprendido entre las coordenadas 4° 111'695'' 73° 653' 335'' y 4° 111' 668'' 73° 653' 303'' de la microcuenca en los meses de febrero, marzo, abril y mayo del año 2019 teniendo en cuenta las condiciones climáticas del municipio, precipitaciones altas y bajas (ver figura 2).

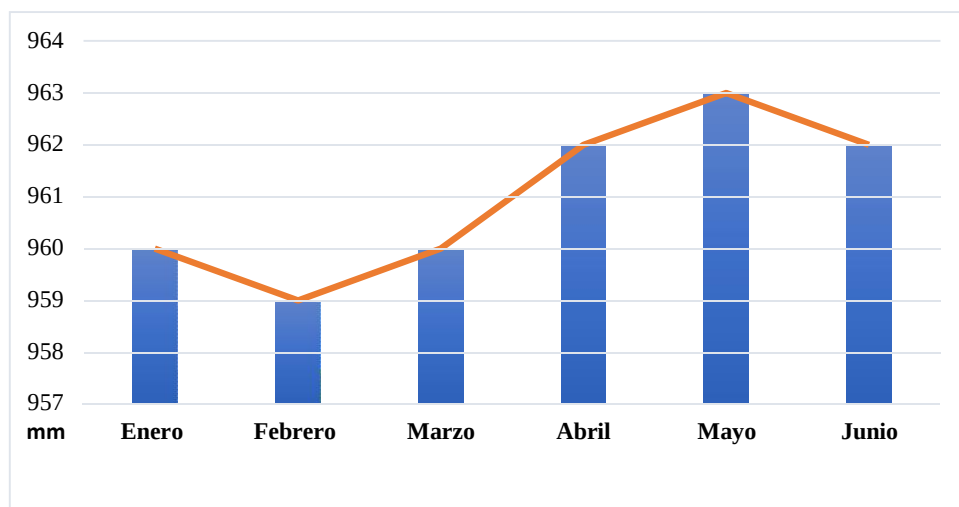


Figura 2 Histórico de precipitaciones del primer semestre del año 2019 de la estación meteorológica ubicada en el barrio Catumare monitoreada por Cormacarena.

Se realizaron 2 jornadas de muestreo por mes, para realizar mediciones de parámetros in-situ de: oxígeno disuelto, pH, temperatura, caudal y conductividad, así mismos parámetros fisicoquímicos ex-situ: alcalinidad, sólidos sedimentales, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), fósforo, nitratos, turbiedad y dureza, todas las muestras se recolectaron en envases cerrados con tapa de material plástico y vidrio, protegiendo su área de sellado (IDEAM, 2007). El procesamiento de las muestras se realizó en el laboratorio de aguas de la universidad Santo Tomas campus Aguas Claras sede Villavicencio.

Durante las jornadas de muestreo se hizo la medición de los parámetros in-situ y posteriormente, las muestras se transportaron para realizar las mediciones ex-situ en el laboratorio de Aguas de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio.

A continuación, se relacionan los parámetros que se midieron a cada una de las muestras:

**Tabla 2***Parámetros a medir IN-SITU y EX-SITU*

| <b>MEDICIONES IN-SITU</b>     |                        |                     |
|-------------------------------|------------------------|---------------------|
| <b>Parámetro</b>              | <b>Unidad</b>          | <b>Método</b>       |
| Caudal                        | L/S                    | Volumétrico manual  |
| Ph                            | Ph                     | Electrométrico      |
| Temperatura                   | °C                     | Lectura directa     |
| Conductividad                 | μs/cm                  | Electrométrico      |
| Oxígeno disuelto              | mg/L O <sub>2</sub>    | Electrométrico      |
| <b>MEDICIONES EX –SITU</b>    |                        |                     |
| <b>Parámetro</b>              | <b>Unidad</b>          | <b>Método</b>       |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L O <sub>2</sub>    | DBO <sub>5</sub>    |
| Coliformes fecales            | NPM-100ml              | Número más probable |
| Nitratos                      | mg/L NO <sub>3</sub>   | Espectrofotométrico |
| Fosfatos                      | mg/L PO <sub>4</sub>   | Colorímetro         |
| Turbiedad                     | UTN                    | Turbidímetro        |
| Sólidos suspendidos totales   | mg/L                   | Multiparámetro      |
| Dureza                        | mg/l CaCO <sub>3</sub> | Volumétrico EDTA    |
| Alcalinidad                   | mg/L CaCO <sub>3</sub> | Colorímetro         |

*Nota: Se muestran los parámetros a medir en el análisis de la afectación en la calidad del agua del caño siete vueltas del municipio de Villavicencio por vertimientos de aguas residuales*

**Actividad 3: Comparación de los parámetros medidos de información primaria y secundaria con la resolución 631 de 2015**

Caracterizar los vertimientos directos y sin tratamiento sobre el cuerpo de agua receptor, realizando un análisis comparativo entre los resultados obtenidos de cada parámetro medido, teniendo en cuenta la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible (MADS).

**Fase 2: Definir la afectación sobre el cuerpo receptor mediante indicadores de calidad del agua (ICA) e índices de contaminación (ICO)****Actividad 1: Medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos sobre el cuerpo receptor**

Esta actividad se desarrolló de la misma manera que la actividad 2 de la fase 1, sin embargo, cabe resaltar que las pruebas y análisis se realizaron a las muestras de agua superficiales tomadas en campo, del mismo modo los parámetros medidos in-situ se realizaron sobre la corriente principal del caño Siete Vueltas.

**Actividad 2: Cálculos para los ICA e ICOs***Índice de calidad del agua*

Para el cálculo del índice de Calidad del Agua se empleó el ICA-NSF en donde se tienen en cuenta nueve variables identificadas de mayor importancia según la metodología Delphi, cada variable cuenta con un peso asignado logrando así una suma de forma lineal ponderada (Samboni Ruiz, Natalia Eugenia; Carvajal Escobar, Yesid; Escobar, Juan Carlos, 2007). A continuación, se puede observar la ecuación implementada, las variables y sus respectivos pesos asignados:

- $Sub_i$  = Subíndice del parámetro.
- $W_i$  = Factor de ponderación para el subíndice  $i$ .

**Ecuación 1.** ICA-NSF Fuente: (Fernández *et al.*, 2003)

$$ICA = \sum_{i=1}^9 (Subi * Wi)$$

**Tabla 3**

Valores asignados para el índice de calidad del agua ICA-NSF

| <b>I</b> | <b>Subíndice</b>             | <b>Wi</b> |
|----------|------------------------------|-----------|
| 1        | Oxígeno Disuelto.            | 0,17      |
| 2        | Coliformes Fecales.          | 0,16      |
| 3        | pH.                          | 0,11      |
| 4        | DBO <sub>5</sub> .           | 0,11      |
| 5        | Nitratos.                    | 0,10      |
| 6        | Fosfatos.                    | 0,10      |
| 7        | Temperatura.                 | 0,10      |
| 8        | Turbiedad.                   | 0,08      |
| 9        | Sólidos suspendidos Totales. | 0,07      |

**Nota:** Pesos porcentuales de las variables a usar en el ICA-NSF. Por: (Fernández *et al.*, 2003)

El resultado final es interpretado de acuerdo a la escala de clasificación ICA-NSF

**Tabla 4**

Clasificación del índice de calidad del agua ICA-NSF

| <b>Ámbito numérico</b> | <b>Descriptores</b> | <b>Escala de color</b> |
|------------------------|---------------------|------------------------|
| 91-100                 | Bueno               | Azul                   |
| 71-90                  | Aceptable           | Verde                  |
| 51-70                  | Regular             | Amarillo               |
| 26-50                  | Malo                | Naranja                |
| 0-25                   | Muy malo            | Rojo                   |

**Nota:** Clasificación del índice de calidad del agua. Por: (Fernandez & Solano, 2005)

**Índice de contaminación**

Para los índices de contaminación se tendrán en cuenta las siguientes ICOs (Ramírez, Restrepo, & Cardeñosa, 1999).

- Índice de contaminación por mineralización (ICOMI), en donde se integra la conductividad, dureza y alcalinidad.

**Ecuación 2.** Índice de contaminación por mineralización (Ramírez *et al.*, 1997)

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

Donde:

**Ecuación 3.** Conductividad (Ramírez *et al.*, 1997)

$$I_{\text{Conductividad}} = -3.26 + 1.34 \log_{10} \text{Conductividad } (\mu\text{s/cm})$$

Conductividades > 270  $\mu\text{s/cm}$ , tienen un índice de conductividad = 1

**Ecuación 4.** Dureza (Ramírez *et al.*, 1997)

$$I_{\text{Dureza}} = -9.09 + 4.40 \log_{10} \text{Dureza (mg/L)}$$

Durezas > 110 mg/L tienen un índice = 1

Durezas < 30 mg/L tienen un índice = 0

**Ecuación 5.** Alcalinidad (Ramírez *et al.*, 1997)

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

Alcalinidades > 250 mg/L tienen un índice de 1

Alcalinidades < 50 mg/L tienen un índice de 0

- Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

Conformado por demanda bioquímica de Oxígeno (DBO5), Coliformes Totales y porcentaje de Saturación de Oxígeno.

**Ecuación 6.** Índice de contaminación por materia orgánica (Ramírez *et al.*, 1997).

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

Donde:

**Ecuación 7.** Demanda Bioquímica de Oxígeno (Ramírez *et al.*, 1997)

$$I_{\text{DBO}} = -0.05 + 0.070 \log_{10} \text{ DBO (mg/L)}$$

DBO > 30 (mg/L) = 1

DBO < 2 (mg/L) = 0

**Ecuación 8.** Coliformes Totales (Ramírez *et al.*, 1997)

$$I_{\text{Coliformes Totales}} = -1.44 + 0.56 \log_{10} \text{ Coliformes totales (NMP/100ml)}$$



Coliformes Totales > 20.000 (NPM/100ml) = 1

Coliformes Totales < 500 (NPM/100ml) = 0

**Ecuación 9.** Oxígeno Disuelto (Ramírez *et al.*, 1997)

$$I_{\text{Oxígeno}} = 1 - 0.01 \text{ Oxígeno } \%$$

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

- Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS)

**Ecuación 10.** Índice de contaminación por sólidos suspendidos (Ramírez *et al.*, 1997).

$$\text{ICOSUS} = -0.02 + 0.003 \text{ Sólidos suspendidos (mg/L)}$$

Sólidos Suspendidos > a 340 mg/L tienen un ICOSUS = 1

Sólidos Suspendidos < a 10 mg/L tienen un ICOSUS = 0

- Índice de contaminación por temperatura (ICOTEMP)

**Ecuación 11.** Índice de contaminación por temperatura (Ramírez *et al.*, 1999).

$$\text{ICOTEMP} = -0,49 + 1,27 \log (\text{Temp vertimiento} - \text{Temp curso receptor})$$

Si la diferencia de Temperatura es menor a 2.5°C (275.5°K), ICOTEMP = 0.

Si la diferencia de Temperatura es mayor a 15.0°C (288.5°K), ICOTEMP = 1.

- Índice de contaminación por pH (ICO, pH)

**Ecuación 12.** Índice de contaminación por Ph (Ramírez *et al.*, 1999).

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

El resultado final de los índices de contaminación es interpretado de acuerdo a la siguiente tabla.

**Tabla 5**  
*Clasificación según grado de contaminación*

| ICO        | Grado de contaminación | Escala de color |
|------------|------------------------|-----------------|
| 0 - 0.2    | Ninguna                | Azul            |
| >0.2 - 0.4 | Baja                   | verde           |
| >0.4 - 0.6 | Media                  | Amarillo        |
| >0.6 - 0.8 | Alta                   | Naranja         |
| >0.8 - 1   | muy Alto               | Rojo            |

*Nota: clasificación de los índices de contaminación. Por: (Ramírez *et al.*, 1997)*

### Fase 3: Zonificación del grado de afectación del caño siete vueltas

#### Actividad 1: Zonificación según ICA

Mediante el software ArcMap 10.2.2, se generan polígonos sobre la imagen georreferenciada del caño siete vueltas, así mismo se incorporan los datos que se obtienen a partir de los cálculos ICA, con el fin de crear un mapa de escala de colores, el cual dará a conocer los puntos menos y más significativos de calidad de agua del caño estudiado.

#### Actividad 2: Zonificación según ICO

Mediante el software ArcMap 10.2.2, se elaboró un mapa de escala de colores según la tabla de rangos explicada en la actividad 2 de la fase 2 para cada ICO: ICOMI, ICOMO, ICOSUS,

ICOTEMP y ICOPH con los resultados que se obtendrán en los cálculos de ICO, de esta manera se determinará por rangos el grado de contaminación alto, medio y bajo en el caño siete vueltas.

## 9. Resultados y análisis de resultados

### Fase I: Caracterización de los vertimientos presentes en el cuerpo hídrico del caño siete vueltas.

#### Actividad 1: Selección de puntos de muestro

A partir de la jornada de reconocimiento se identificaron tres puntos de monitoreo para agua residual y tres puntos de monitoreo de agua superficial, evidenciando que en los puntos aguas arriba durante el mes de febrero los caudales no permitían una toma de muestra, debido a los bajos niveles de agua presentada (ver apéndice A), a continuación, se registran las coordenadas de cada uno de estos puntos, los puntos de agua superficial se identifican con la letra P, ubicándose en orden descendente según la dirección del flujo del caño Siete Vueltas.

**Tabla 6**

*Coordenadas de los puntos de monitoreo del caño Siete Vueltas*

| PUNTO DE MONITOREO                                    | COORDENADAS                     |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------|
| <b>P1</b>                                             | 04° 06' 698''<br>73° 39' 237''  |
| <b>Vertimiento doméstico (ARD)</b>                    | 4° 111' 694''<br>73° 653' 463'' |
| <b>P2</b>                                             | 04° 06' 707''<br>73° 39' 204''  |
| <b>Vertimiento no doméstico (ARnD) "Proceavicola"</b> | 4° 111' 695''<br>73° 653' 335'' |
| <b>Vertimiento no doméstico (ARnD)</b>                | 4° 111' 668''<br>73° 653' 303'' |
| <b>P3</b>                                             | 4° 06' 700''<br>73° 39' 237''   |

*Nota: Se presentan las coordenadas de cada uno de los puntos del caño Siete Vueltas, donde se realizó monitoreo. Por: Martínez & Rodríguez, 2019.*

Durante este recorrido se evidencia también que la industria molinos arroz roa y capachos no realizan vertimiento de aguas residual al caño siete vueltas, así mismo mediante información secundaria otorgada por las industrias nombradas y visita en campo a cada una de ellas, se evidencia que molinos ROA posee sistema de tratamiento de aguas residuales y un campo de filtración (cancha de futbol) (Ver apéndice D), y Capachos posee pozos sépticos; posteriormente llevan estas aguas a una planta de tratamiento de aguas residual para así ser dispuesta, la anterior información es de interés para la veeduría ambiental de la comuna 8, quienes en su queja a la contraloría nombran a molinos ROA y capachos de verter sus aguas a la microcuenca caño siete vueltas del municipio de Villavicencio.

## **Actividad 2. Monitoreo de los parámetros fisicoquímicos en agua residual y cumplimiento de normatividad**

Para verificar los puntos de monitoreo de agua residual seleccionados en la actividad 1 se solicitó a CORMACARENA la información de permisos de vertimientos reportados en el caño Siete Vueltas, a partir de esta información se determinó que los puntos identificados no cuentan con permiso de vertimiento, y adicional a estos se registró el otorgamiento de este permiso a la empresa PROCEAVICOLA Ltda., obteniendo así tres puntos de vertimiento puntual al cuerpo de agua.

### **Vertimiento de agua residual no doméstica ARnD**

La empresa PROCEAVICOLA LTDA con NIT 900.072.898-1, se encuentra situada en el departamento del Meta, en la localidad de Villavicencio y su dirección postal es vía Acacias km4, está constituida como una sociedad por acciones simplificada y se dedica a la actividad de procesamiento y conservación de carnes y productos cárnicos, esta industria cuenta con un permiso de vertimiento de aguas residuales industriales (1L/s) en meses de abril a noviembre al afluente caño Siete Vueltas del municipio de Villavicencio mediante la resolución N° PS-GJ.1.2.6.014-0897 del 27 de julio del 2014, expediente N° 3.37.6.013.014 sumado a esto cuenta con permisos

ambientales de concesión de aguas superficiales por un caudal de 1L/s y permiso de ocupación del cauce de la fuente hídrica para el desarrollo de la actividad de beneficio de aves, este permiso está otorgado para el periodo de abril hasta noviembre, motivo por el cual no fue posible realizar monitoreo de este vertimiento, teniendo en cuenta para su caracterización la información brindada por Cormacarena (CORMACARENA, 2019).

**Tabla 7**

Resultado de monitoreo realizado por proceavicola S.A.S el 7 de julio de 2019

| Parámetro                   | Unidad                  | FUENTE RECEPTORA (CAÑO SIETE VUELTAS)     |                                                                                |        |              |             |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|-------------|
|                             |                         | Salida Del Vertimiento Proceavicola S.A.S | Niveles máximos permisibles por la Resolución 0631 de 2015 capítulo VI, art. 9 | Cumple | Aguas Arriba | Aguas Abajo |
| Acidez total                | Mg CaCO <sub>3</sub> /L | 45                                        | A.R                                                                            | SI     | 7            | 6           |
| Alcalinidad                 | Mg CaCO <sub>3</sub> /L | 3                                         | A.R                                                                            | SI     | <3           | <3          |
| Cloruros                    | mg/L                    | 120                                       | 250                                                                            | SI     | <1           | 1           |
| Color-436nm                 | m <sup>-1</sup>         | 3                                         | A.R                                                                            | SI     | <5           | <5          |
| Color-525nm                 | m <sup>-1</sup>         | <5                                        | A.R                                                                            | SI     | <5           | <5          |
| Color-620nm                 | m <sup>-1</sup>         | <5                                        | A.R                                                                            | SI     | <5           | <5          |
| D.B.O                       | mg O <sub>2</sub> /L    | 313                                       | 300                                                                            | NO     | <5           | <5          |
| D.Q.O                       | mg O <sub>2</sub> /L    | 129                                       | 650                                                                            | SI     | <15          | <15         |
| Dureza cálcica              | Mg CaCO <sub>3</sub> /L | 28                                        | A.R                                                                            | SI     | 6            | 5           |
| Dureza total                | Mg CaCO <sub>3</sub> /L | 56                                        | A.R                                                                            | SI     | 9            | 11          |
| Fosforo total               | mg/L                    | 3.05                                      | A.R                                                                            | SI     | <0.2         | <0.2        |
| Grasas y aceites            | mg/L                    | 15.01                                     | 40                                                                             | SI     | <1           | <1          |
| Nitratos                    | mg N-NO <sub>3</sub> /L | <0.5                                      | A.R                                                                            | SI     | <0.3         | <0.3        |
| Nitrógeno amoniacal         | mg N-NH <sub>3</sub> /L | 12.6                                      | A.R                                                                            | SI     | <0.5         | <0.5        |
| Nitrógeno kjendhal          | Mg O <sub>2</sub> N/L   | 13                                        | A.R                                                                            | SI     | <5           | <5          |
| Oxígeno disuelto            | mg O <sub>2</sub> /L    | -                                         | N.A                                                                            | -      | -            | -           |
| Ortofosfatos                | Mg P P <sub>4</sub> /L  | 0.07                                      | A.R                                                                            | SI     | <0.05        | <0.05       |
| Ph                          | UN                      | 5.55                                      | 6 a 9                                                                          | SI     | 5.83         | 6.05        |
| Solidos sedimentables       | ml/L                    | 0.8                                       | 2                                                                              | SI     | <0.1         | 0.3         |
| Solidos suspendidos totales | mg/L                    | 24                                        | 100                                                                            | SI     | <10          | <10         |

**Tabla 7***Continuación de la. Tabla 7.*

|                                                                                           |                       |         |     |    |       |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------|-----|----|-------|-------|
| <b>Sulfatos</b>                                                                           | mg SO <sub>4</sub> /L | 35      | 250 | SI | <5    | <5    |
| <b>Temperatura</b>                                                                        | °C                    | 25      | A.R | SI | 21.43 | 22    |
| <b>Tensoactivos<br/>(calculado<br/>como SDS<br/>peso<br/>molecular<br/>288,38 g/mol )</b> | Mg MBAS/L             | 1.8     | A.R | SI | <0.2  | <0.2  |
| <b>Coliformes<br/>fecales<br/>Termotolerantes</b>                                         | NMP/100ml             | 2419600 | A.R | SI | 2143  | 10462 |
| <b>Caudal</b>                                                                             | L/s                   | 8.07    | A.R | SI | 52.5  | 59,5  |

*Nota:* A.R: análisis y reporte. N.A: No aplica. Por: CORMACARENA, 2019

La información otorgada por Cormacarena (ver tabla 7) se comparó con la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible (MADS), verificando el cumplimiento o no, de los valores máximos permisibles en vertimientos ARnD en cuerpo de aguas superficiales definidos en el capítulo VI, artículo 9.

A partir de esta información se establece que el parámetro de demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O<sub>5</sub>), supera los valores límites máximos permisibles. Sin embargo, esta información no fue posible verificarla debido a que la empresa no realiza vertimientos en los meses en los que se desarrollaron las jornadas de monitoreo para esta pasantía. Pese a esto, la población de la comunidad LOS GUAYABOS informa que la empresa realiza vertimientos a altas horas de la noche, evidenciando plumas, excretas y olor desagradable (Veeduría Ciudadana, 2018).

Debido a que durante las jornadas de muestreo y las visitas de campo no se presentó caudal suficiente para toma de muestras, se procedió a realizar una inspección visual a diferentes horas durante el día, evidenciándose al inicio del día (6:00 a.m.) presencia de plumas y excretas (ver figura 3) este reporte fue entregado a la contraloría municipal para solicitar verificación y ajuste del permiso otorgado por parte de Cormacarena.



*Figura 3 Salida del vertimiento de PROCEAVICOLA donde se evidencia residuos de plumas y demás. Fotografía tomada por: Lorena Martínez, 2019*

### **Vertimiento Doméstico (ARD)**

Mediante reconocimiento directo en campo se identificó un vertimiento puntual de agua residual procedente de una vivienda del barrio Los Guayabos, al cual se le realizó monitoreo en precipitaciones bajas y precipitaciones altas, según el IDEAM las mayores precipitaciones se encuentran en los meses agosto, septiembre y octubre en forma significativa, sin embargo los meses abril y mayo también presentan aumentos en esta variable, y siendo más secos los meses de enero a marzo y junio, julio, noviembre y diciembre, siendo el primero y el último los de mayor impacto sobre Colombia (Arango, Dorado, Guzmán, & Ruiz, 2018).

A partir de la elaboración de las tablas (ver tabla 8 Y 9) con los datos obtenidos en las pruebas realizadas en los laboratorios de aguas de la universidad Santo Tomas sede Villavicencio y mediciones in situ del Caño Siete vueltas se logró realizar la caracterización del vertimiento como vertimiento doméstico, según la fuente emisora (vivienda) mediante la resolución 631 de 2015



del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), en el capítulo V artículo 8 (Resolución 631, 2015).

Sin embargo, es necesario aclarar que para obtener una caracterización y clasificación válida ante el ministerio de medio ambiente, es necesario realizar el monitoreo y medición de parámetros adicionales a los reportados en este estudio, según la guía de toma de muestra de aguas residuales (IDEAM, 2007)

**Tabla 8**

*Resultados de monitoreo realizado a vertimiento doméstico ARD, en precipitación baja en el primer semestre del año 2019*

| Parámetro                          | Unidad       | FUENTE RECEPTORA (CAÑO SIETE VUELTAS) |                                                                         |        |              |             |
|------------------------------------|--------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|-------------|
|                                    |              | Salida Del Vertimiento Domestico      | Niveles máximos permisibles por la Resolución 631 capítulo V artículo 8 | Cumple | Aguas Arriba | Aguas Abajo |
| <b>Dureza</b>                      | mg/L         | 47                                    | A.R                                                                     | SI     | 15           | 15          |
| <b>Alcalinidad</b>                 | mg/L         | 645                                   | A.R                                                                     | SI     | 135          | 150         |
| <b>Turbiedad</b>                   | UTN          | 24                                    | A.R                                                                     | SI     | 3            | 7           |
| <b>Solidos suspendidos totales</b> | mg/L         | 563                                   | 100                                                                     | NO     | 550          | 800         |
| <b>Nitratos</b>                    | mg/L         | 22                                    | A.R                                                                     | SI     | 1,16         | 1,4         |
| <b>Fosforo</b>                     | mg/L         | 1,4                                   | A.R                                                                     | SI     | 0,65         | 0,48        |
| <b>Oxígeno disuelto</b>            | mg/L         | 5,94                                  | N.A                                                                     | -      | 7,26         | 5,7         |
| <b>DBO<sub>5</sub></b>             | mg/L         | 232                                   | 90                                                                      | NO     | 231          | 156         |
| <b>Coliformes fecales</b>          | NMP/100ml    | -                                     | A.R                                                                     | SI     | 40972        | 13988       |
| <b>Coliformes totales</b>          | NMP/100ml    | -                                     | A.R                                                                     | SI     | 40972        | 13988       |
| <b>Temperatura</b>                 | °C           | 25                                    | A.R                                                                     | SI     | 24           | 24          |
| <b>Conductividad</b>               | us/cm        | 439                                   | N.A                                                                     | -      | 19           | 38          |
| <b>pH</b>                          | Unidad de pH | 7,6                                   | 6 a 9                                                                   | SI     | 7,7          | 7,9         |
| <b>Caudal</b>                      | L/s          | 0,011                                 | A.R                                                                     | SI     | -            | -           |

*Nota: A.R: Análisis y reporte. N.A: No aplica. Por: Martínez & Quiñones, 2019*

**Tabla 9**

Resultados de monitoreo realizado a vertimiento doméstico ARD, en precipitación alta en el primer semestre del año 2019

| Parámetro                          | Unidad       | FUENTE RECEPTORA (CAÑO SIETE VUELTAS) |                                                                         |        |              |             |
|------------------------------------|--------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|-------------|
|                                    |              | Salida Del Vertimiento Domestico      | Niveles máximos permisibles por la Resolución 631 capítulo V artículo 8 | Cumple | Aguas Arriba | Aguas Abajo |
| <b>Dureza</b>                      | mg/L         | 130                                   | A.R                                                                     | SI     | 16           | 16          |
| <b>Alcalinidad</b>                 | mg/L         | 168                                   | A.R                                                                     | SI     | 100          | 73          |
| <b>Turbiedad</b>                   | UTN          | 41                                    | A.R                                                                     | SI     | 4            | 5           |
| <b>Solidos suspendidos totales</b> | mg/L         | 837,5                                 | 100                                                                     | NO     | 237,5        | 675         |
| <b>Nitratos</b>                    | mg/L         | 31,30                                 | A.R                                                                     | SI     | 4,64         | 8,31        |
| <b>Fosforo</b>                     | mg/L         | 1,08                                  | A.R                                                                     | SI     | 0,76         | 0,70        |
| <b>Oxígeno disuelto</b>            | mg/L         | 6,94                                  | N.A                                                                     | -      | 7,48         | 7,40        |
| <b>DBO<sub>5</sub></b>             | mg/L         | 144                                   | 90                                                                      | NO     | 103          | 95          |
| <b>Coliformes fecales</b>          | NMP/100ml    | -                                     | A.R                                                                     | SI     | 6853         | 15340       |
| <b>Coliformes totales</b>          | NMP/100ml    | -                                     | A.R                                                                     | SI     | 6853         | 15340       |
| <b>Temperatura</b>                 | °C           | 24,7                                  | A.R                                                                     | SI     | 23,8         | 23,7        |
| <b>Conductividad</b>               | us/cm        | 310                                   | N.A                                                                     | -      | 20,7         | 23,5        |
| <b>pH</b>                          | Unidad de pH | 7,8                                   | 6 a 9                                                                   | SI     | 6,5          | 7           |
| <b>Caudal</b>                      | L/s          | 0.0052                                | A.R                                                                     | SI     | -            | -           |

*Nota: A.R: análisis y reporte. N.A: No aplica. Por: Martínez & Quiñones, 2019.*

Este vertimiento no cuenta con permisos ambientales por Cormacarena, siendo este tipo de vertimiento un factor que aporta a la problemática actual del afluente caño siete vueltas y la comunidad adyacente en especial la comuna 8, quienes por medio de la veeduría ambiental entablan una queja por malos olores y proliferación de vectores, entre otros (Veeduría Ciudadana, 2018).

Teniendo en cuenta la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible (MADS) se logra evidenciar que los resultados de los atributos fisicoquímicos reflejan diferente grado de variación entre los parámetros. Siendo solidos suspendidos totales (SST) y de

demanda bioquímica de oxígeno (DBO) las variables que no cumplen con los niveles máximos permisibles establecidos para un vertimiento doméstico.

Esto posiblemente se debe a que durante los primeros meses del año (enero a marzo) las precipitaciones son bajas por ello la DBO es mayor a los resultados obtenidos en precipitaciones altas, con un rango en temporada seca de 232 mg/L y en temporada húmeda de 144 mg/L, presentando una mejoría en la fuente hídrica, sin embargo, es un vertimiento puntual constante y afecta las condiciones de la calidad del agua del caño siete vueltas, debido a la disminución de oxígeno disuelto, a lo que se suma el aumento de nutrientes, generando posible eutrofización del cuerpo hídrico (Raffo Lecca & Ruiz Lizama, 2014).

A partir de los parámetros monitoreados se podría caracterizar este vertimiento como vertimiento doméstico según Capítulo V, Artículo 8 de la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible (MADS) , sin embargo, es necesario realizar la medición y monitoreo de los parámetros no contemplados en este estudio, debido a las limitaciones presentadas en laboratorio y los altos costos de análisis en laboratorios externos, información que fue reportada a la Contraloría Municipal, quienes están a cargo de realizar el seguimiento.

### **Vertimiento Agua residual no doméstica (ARnD)**

El segundo vertimiento identificado durante el reconocimiento de la zona de estudio es proveniente de un sistema de recolección no reportado, de aguas residuales provenientes del barrio los Guayabos, por lo que no cuenta con permisos ambientales emitidos por Cormacarena.

Según los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio (ver tabla 10 y 11), se puede establecer que este tipo de vertimiento corresponde al descrito por la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible (MADS), en el capítulo V artículo 8, estableciendo que superan los niveles permisibles como vertimiento domestico de aguas residuales, por tanto se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público, como aguas residuales

no domesticas ARnD de los prestadores del servicio público de alcantarillado con una carga menor o igual 625,00 Kg/dia DBO5 (Resolución 631, 2015).

**Tabla 10**

Resultados de monitoreo realizado a vertimiento no doméstico ARnD, en precipitación baja en el primer semestre del año 2019

| Parámetro                          | Unidad       | FUENTE RECEPTORA (CAÑO SIETE VUELTAS) |                                                                         |        |              |             |
|------------------------------------|--------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|-------------|
|                                    |              | Salida Del Vertimiento no Domestico   | Niveles máximos permisibles por la Resolución 631 capítulo V artículo 8 | Cumple | Aguas Arriba | Aguas Abajo |
| <b>Dureza</b>                      | mg/L         | 84                                    | A.R                                                                     | SI     | 15           | 40          |
| <b>Alcalinidad</b>                 | mg/L         | 628                                   | A.R                                                                     | SI     | 150          | 305         |
| <b>Turbiedad</b>                   | UTN          | 252                                   | A.R                                                                     | SI     | 7            | 34          |
| <b>Solidos suspendidos totales</b> | mg/L         | 375                                   | 90                                                                      | NO     | 1525         | 3800        |
| <b>Nitratos</b>                    | mg/L         | 50,6                                  | A.R                                                                     | SI     | 1,4          | 12,2        |
| <b>Fosforo</b>                     | mg/L         | 1,9                                   | A.R                                                                     | SI     | 0,45         | 2,5         |
| <b>Oxígeno disuelto</b>            | mg/L         | 3,2                                   | N.A                                                                     | -      | 5,7          | 3,76        |
| <b>DBO<sub>5</sub></b>             | mg/L         | 264                                   | 90                                                                      | NO     | 156          | 168         |
| <b>Coliformes fecales</b>          | NMP/100 ml   | -                                     | A.R                                                                     | SI     | 13988        | 139885      |
| <b>Coliformes totales</b>          | NMP/100 ml   | -                                     | A.R                                                                     | SI     | 13988        | 139885      |
| <b>Temperatura</b>                 | °C           | 26,9                                  | A..R                                                                    | SI     | 24           | 24,9        |
| <b>Conductividad</b>               | us/cm        | 711                                   | A.R                                                                     | SI     | 37,6         | 80,6        |
| <b>pH</b>                          | Unidad de pH | 7,4                                   | 6 a 9                                                                   | SI     | 7,9          | 7,8         |
| <b>Caudal</b>                      | L/s          | 0,475                                 | A.R                                                                     | SI     |              |             |

*Nota: A.R: Análisis y reporte. N.A: No aplica. Por: Martínez & Quiñones, 2019.*

**Tabla 11**

Resultados de monitoreo realizado a vertimiento no doméstico ARnD, en precipitación alta en el primer semestre del año 2019

| Parámetro          | Unidad | FUENTE RECEPTORA (CAÑO SIETE VUELTAS) |                                                                         |        |              |             |
|--------------------|--------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|-------------|
|                    |        | Salida Del Vertimiento no Domestico   | Niveles máximos permisibles por la Resolución 631 capítulo V artículo 8 | Cumple | Aguas Arriba | Aguas Abajo |
| <b>Dureza</b>      | mg/L   | 289                                   | A.R                                                                     | SI     | 16           | 18          |
| <b>Alcalinidad</b> | mg/L   | 283                                   | A.R                                                                     | SI     | 73           | 100         |

**Tabla 11***Continuación de la Tabla 11.*

|                                    |              |      |       |    |       |       |
|------------------------------------|--------------|------|-------|----|-------|-------|
| <b>Turbiedad</b>                   | UTN          | 107  | A.R   | SI | 5     | 5     |
| <b>Sólidos suspendidos totales</b> | mg/L         | 713  | 90    | NO | 675   | 1938  |
| <b>Nitratos</b>                    | mg/L         | 61   | A.R   | SI | 8,3   | 7,1   |
| <b>Fosforo</b>                     | mg/L         | 1,8  | A,R   | SI | 0,7   | 0,8   |
| <b>Oxígeno disuelto</b>            | mg/L         | 3,9  | N.A   | -  | 7,4   | 7,4   |
| <b>DBO<sub>5</sub></b>             | mg/L         | 311  | 90    | NO | 95    | 92    |
| <b>Coliformes fecales</b>          | NMP/100ml    | -    | A..R  | SI | 10153 | 99639 |
| <b>Coliformes totales</b>          | NMP/100ml    | -    | A.R   | SI | 10153 | 99639 |
| <b>Temperatura</b>                 | °C           | 16,5 | A..R  | SI | 23,7  | 23,9  |
| <b>Conductividad</b>               | us/cm        | 693  | A.R   | SI | 23,5  | 30,3  |
| <b>pH</b>                          | Unidad de pH | 7,9  | 6 a 9 | SI | 6,8   | 6,7   |
| <b>Caudal</b>                      | L/s          | 0,44 | A.R   | SI |       |       |

**Nota:** A.R: Análisis y reporte. N.A: No aplica. Por: Martínez & Quiñones, 2019.

A partir de los resultados anteriores, en ambos casos (Vertimiento doméstico y Vertimiento no Doméstico) los parámetros sólidos suspendidos totales (SST) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) no cumple con los niveles máximos permisibles tanto en precipitaciones altas como en precipitaciones bajas, mediante la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Medio Ambiente (MMA).

Esto quiere decir que tener un exceso de sólidos suspendidos totales en el agua esta correlacionado con repercusiones ecológicas, incremento del color y la turbiedad, así como la presencia de materia orgánica e inorgánica, lo que indirectamente ejerce un consumo del oxígeno presente en el agua, en cuanto al incremento de la DBO<sub>5</sub> conlleva a una mayor carga microbiana (patógenos), que produce efectos adversos en la salud de la población, ya sea de forma directa o indirecta (Orjuela, Saldarriaga, Garcia, & Wilches, 2010).

### Análisis de parámetros excedidos

Para sólidos suspendidos totales (SST) se encontraron concentraciones de entre 150 mg/L - 1300 mg/L y 50 mg/L - 1300 mg/L; teniendo en cuenta que la acumulación de sólidos suspendidos es uno de los principales problemas de contaminación que presentan las fuentes hídricas este incremento hace que aumenten las condiciones de eutrofización en el caño siete vueltas del municipio de Villavicencio (Rangel & Beltrán, 2012), resaltando que la eutrofización produce de manera general un aumento de la biomasa y un empobrecimiento de la diversidad acortando considerablemente la vida del cuerpo receptor (Raffo Lecca & Ruiz Lizama, 2014).

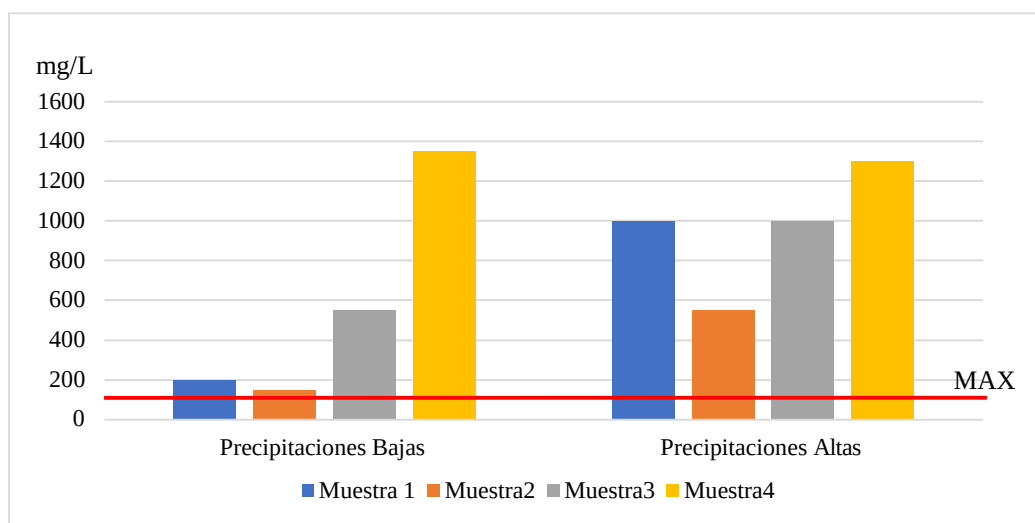


Figura 4 Resultado de la toma de muestras en precipitaciones bajas y altas de los sólidos suspendidos totales del vertimiento doméstico. Elaborado por: Autores, 2019.

Como se evidencia en la figura 4, la concentración de Sólidos suspendidos totales presenta un aumento gradual durante la temporada de precipitaciones altas debido posiblemente al arrastre de material ocasionado por las lluvias presentadas durante esos meses (Sierra Garcia, 2018), sin embargo, se evidencia la mayor concentración en la muestra tomada durante la temporada de precipitaciones bajas, resultado que respalda que al ser un vertimiento doméstico no reportado puede contener material proveniente de las actividades antrópicas desarrolladas en las viviendas del sector.

Por su parte el vertimiento de agua residual no doméstica (ARnD) (Figura 5) demuestra un aumento gradual durante la temporada de precipitaciones altas, sin embargo, para la muestra 3 durante la temporada de precipitaciones bajas, se presentaron altas concentraciones para este parámetro, esto puede ser posible a que, la concentración de Sólidos Suspendidos Totales tiene una relación directa con la turbiedad (Sierra Garcia, 2018), con lo cual se infiere que el agua residual proveniente de las viviendas presenta un comportamiento diferente por las actividades antrópicas en ese momento.

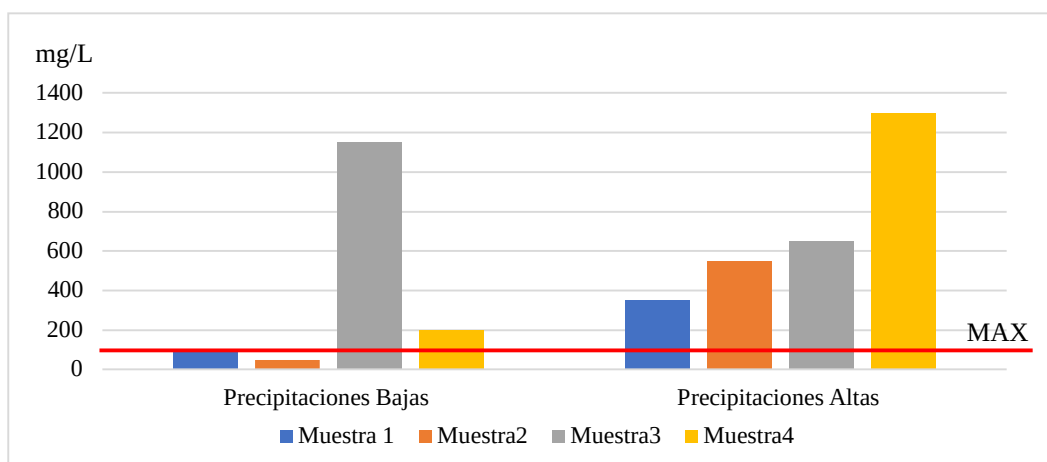


Figura 5: Resultado de la toma de muestras en precipitaciones bajas y altas de los sólidos suspendidos totales del vertimiento no doméstico. Elaborado por: Autores, 2019.

Para Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ) se obtuvieron rangos de 84 mg/L a 403 mg/L en el vertimiento doméstico y para el vertimiento domestico ARnD concentraciones entre 133 mg/L y 642 mg/L, lo cual registra una mayor carga contaminante que sobrepasa con los niveles máximos permisibles establecidos por la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible (MADS) (ver Figura 6 y 7), esto puede asociarse a antecedentes de lluvia y a un aumentó en el caudal del caño a los días previos al muestreo.

Este parámetro se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia organiza biodegradable determinado la cantidad total de oxígeno consumido por los microorganismos durante los primeros cinco días de biodegradación. Donde a mayor cantidad de materia orgánica contenida en una muestra de agua, más cantidad de oxígeno necesitan los

microorganismos para oxidarla o degradarla dando como consecuencia que la materia orgánica pierda sus propiedades contaminantes perjudicando al afluente caño siete vueltas del municipio de Villavicencio (Raffo Lecca & Ruiz Lizama, 2014).

Con base a lo anterior el consumo de oxígeno disuelto disminuye por presencia de materia orgánica en el cuerpo de agua, lo que indica que cuando hay disminución en los vertimientos de aguas residuales, el caño responde y trata de recuperarse, esto lo puede lograr en el periodo de precipitaciones altas ya que la materia orgánica se diluye y aumentan los niveles de oxidación de la fuente según estudio realizado del seguimiento de aguas residuales vertidas al río arzobispo de la ciudad de Bogotá (Huertas Bonilla & Sanchez Hernandez, 2009).

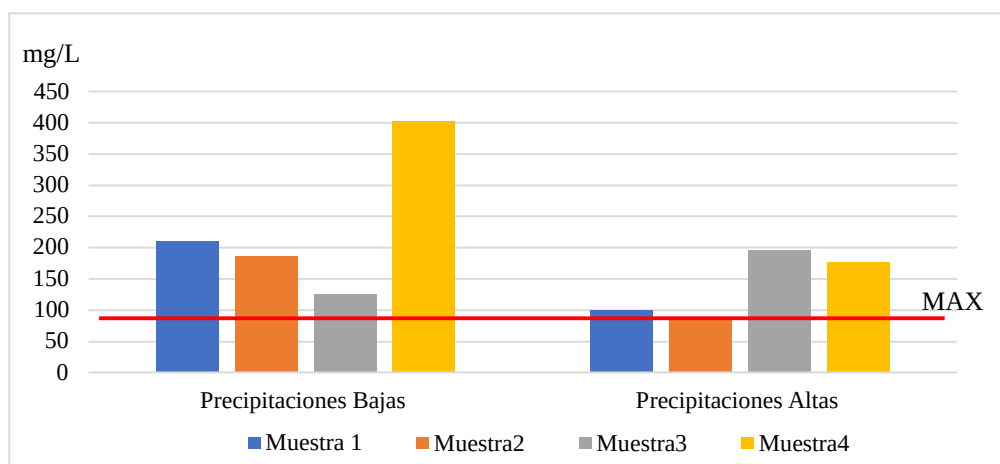


Figura 6: Resultado de la toma de muestras en precipitaciones bajas y altas de la demanda bioquímica de oxígeno del vertimiento doméstico. Elaborado por: Autores, 2019.



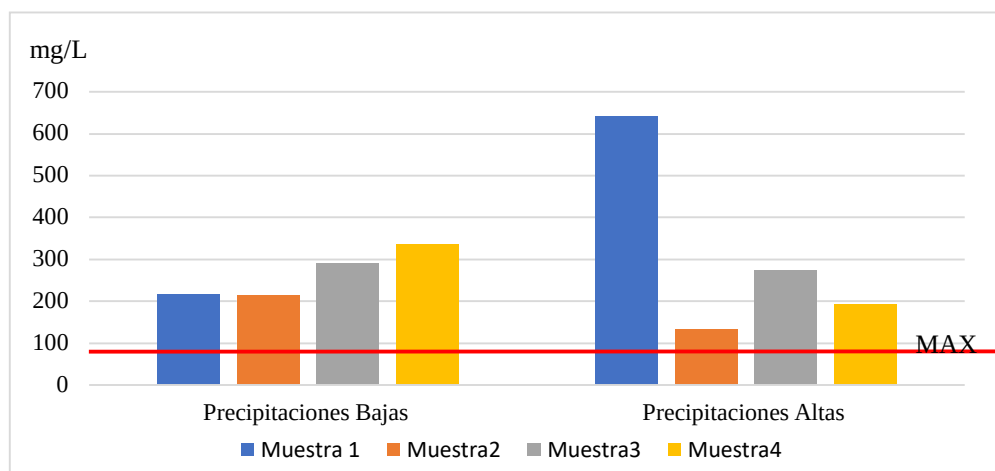


Figura 7: Resultado de la toma de muestras en precipitaciones bajas y altas de la demanda bioquímica de oxígeno del vertimiento no doméstico. Elaborado por: Autores, 2019.

Con la información anterior se identificaron y se caracterizaron tres vertimientos puntuales en el afluente caño Siete Vueltas del municipio de Villavicencio, con sus respectivas coordenadas según la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible (MAD), vertimientos descritos en la Tabla 12.

**Tabla 12**

*Vertimientos puntuales identificados de aguas residuales en la fuente hídrica Caño Siete Vueltas del municipio de Villavicencio del departamento del Meta*

| Tipo de vertimiento                    | Ubicación geográfica            | Descripción                                                                                                                                 |
|----------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Vertimiento no doméstico (ARnD)</b> | 4° 111' 695''<br>73° 653' 335'' | Proceavicola: posee permiso de vertimientos de aguas residuales industriales otorgado por Cormacarena.                                      |
| <b>Vertimiento Domestico (ARD)</b>     | 4° 111' 694''<br>73° 653' 463'' | Vivienda del barrio Los Guayabos ubicada en el kilómetro 4 vía Acacias del municipio de Villavicencio, no posee permiso para verter .       |
| <b>Vertimiento no Domestico (ARnD)</b> | 4° 111' 668''<br>73° 653' 303'' | Alcantarillado del barrio Los Guayabos: ubicada en el kilómetro 4 vía Acacias del municipio de Villavicencio, no posee permiso para verter. |

*Nota: Se muestra de manera organizada los vertimientos puntuales localizados en el caño Siete Vueltas, su ubicación geográfica y una breve descripción del tipo de vertimiento. Por: Martínez & Quiñones, 2019.*

## FASE 2: DEFINIR LA AFECTACIÓN SOBRE EL CUERPO RECEPTOR MEDIANTE INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA (ICA) E ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (ICO)

### Actividad 1: Medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos sobre el cuerpo receptor

A continuación, se pueden observar los datos obtenidos en la toma de muestras de los parámetros a tener en cuenta para la aplicación del índice de calidad (ICA) e índices de contaminación (ICO).

**Tabla 13**

*Datos obtenidos en la toma de muestras para el cálculo del índice de calidad del agua (ICA) e índices de contaminación (ICOs)*

| Parámetro                   | UNIDAD       | Punto 1 |      | Punto 2 |       | Punto 3 |       |
|-----------------------------|--------------|---------|------|---------|-------|---------|-------|
| Precipitación               |              | Baja    | Alta | Baja    | Alta  | Baja    | Alta  |
| Oxígeno Disuelto            | % saturación | 87      | 90,4 | 69      | 89    | 46      | 90    |
| Coliformes Fecales          | NPM/100ml    | 40972   | 6853 | 13988   | 10153 | 139885  | 99639 |
| pH                          | Unidad de pH | 7,7     | 6,5  | 7,9     | 6,8   | 7,8     | 6,7   |
| DBO <sub>5</sub>            | mg/L         | 231     | 103  | 156     | 95    | 168     | 92    |
| Nitratos                    | mg/L         | 1,2     | 4,6  | 1,4     | 8,3   | 12,2    | 7,1   |
| Fosfatos                    | mg/L         | 0,65    | 0,8  | 3,4     | 0,7   | 2,5     | 0,8   |
| Temperatura                 | °C           | 4,5     | 3,2  | 4,4     | 3,3   | 3,5     | 3,2   |
| Turbiedad                   | UTN          | 3       | 4    | 6,5     | 4,5   | 34      | 5     |
| Sólidos Suspendidos Totales | mg/L         | 500     | 238  | 850     | 675   | 4475    | 1938  |
| Conductividad               | Us/cm        | 18,9    | 20,8 | 37,6    | 23,5  | 80,6    | 30,3  |
| Dureza                      | mg/L         | 14,8    | 15,5 | 15      | 16    | 40      | 18    |
| Alcalinidad                 | mg/L         | 135     | 100  | 150     | 73    | 305     | 100   |

**Nota:** Valores promedio calculado a partir de todas las jornadas. Por: Martínez & Quiñones, 2019.

En la tabla 13 se reflejan los promedios calculados de las muestras realizadas en la microcuenca caño Siete Vueltas donde se evidencia que la variable de coliformes fecales y DBO<sub>5</sub> presentan un descenso en los valores registrados en las precipitaciones altas, esto se debe a que a medida que el caudal aumenta la contaminación varía en el transcurso de la corriente de agua debido a la

autodepuración (Sanchez Ramos, 2016), permitiendo una mayor dilución y mezcla de los contaminantes.

Así mismo el porcentaje de saturación de oxígeno es inversamente proporción a los coliformes fecales y DBO<sub>5</sub>, lo cual indica un aumento de materia orgánica en la fuente hídrica permitiendo que los microorganismos usen el oxígeno para así oxidar la materia generando una disminución de forma gradual en el porcentaje de saturación. (Peña Pulla, 2007).

## Actividad 2: Cálculos para los ICA e ICOs

### Estimación del índice de calidad del agua (ICA-NSF)

La estimación del índice de calidad del agua (ICA-NSF), es de suma importancia para la elaboración del informe ambiental que presenta la contraloría anualmente, para el capítulo de la calidad del agua de las fuentes hídricas del municipio de Villavicencio, especialmente la comuna 8.

Con base en los resultados obtenidos de las muestras procesadas en el laboratorio de aguas de la Universidad Santo Tomas campus Aguas Claras sede Villavicencio de los parámetros oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, demanda bioquímica de oxígeno “DBO<sub>5</sub>”, nitratos, fosfatos, temperatura, turbiedad, sólidos suspendidos totales se logra determinar mediante cálculos una escala de color de las concentraciones de cada uno de los puntos estudiados tanto en precipitaciones altas como precipitaciones bajas durante el primer semestre del año 2019. (ver Tabla 14).

**Tabla 14**

Valores obtenidos del ICA-NSF del caño siete vueltas, a partir de los datos obtenidos

|           | PRECIPITACIONES BAJAS |                 |            | PRECIPITACIONES ALTAS |                 |            |
|-----------|-----------------------|-----------------|------------|-----------------------|-----------------|------------|
|           | ICA-NSF               | Escala de color | Descriptor | ICA-NSF               | Escala de color | Descriptor |
| <b>P1</b> | 58,9                  | Amarillo        | Regular    | 60,9                  | Amarillo        | Regular    |
| <b>P2</b> | 50,7                  | Amarillo        | Regular    | 55,7                  | Amarillo        | Regular    |
| <b>P3</b> | 36,95                 | Naranja         | Malo       | 52,3                  | Amarillo        | Regular    |

**Nota:** P1: agua superficial antes del vertimiento doméstico: P2: Agua superficial final vertimiento doméstico e inicial vertimiento no doméstico: P3: Agua superficial después del vertimiento no doméstico. Por: Martínez & Quiñones, 2019.

Respecto a los resultados obtenidos se encuentran concentraciones altas según la escala de color entre 36.95 - 58.9 en precipitación bajas y 52.3 – 60.9 que evidencian que en la longitud del caño se observan la calidad del agua regular estableciendo rangos variados de intromisión en los cuales se puede decir que las aguas residuales domésticas y no domésticas se vierten de forma directa al cuerpo hídrico provenientes de un ineficiente servicio de alcantarillado para estos asentamientos subnormales (Hernandez Casas & Páez Cárdenas, 2018), sin contar con un tratamiento previo a esta disposición. Es decir que estas situaciones son las que alteran las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del caño siete vueltas.

### Estimación del índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

Para obtener el índice de contaminación por mineralización, se integra la conductividad, dureza y alcalinidad. En la tabla 15 se puede observar en qué condiciones se encuentra el cuerpo hídrico con respecto a este índice, mostrando en su mayoría valores inferiores a 0,2 indicando que el caño siete vueltas no presenta alguna contaminación significativa por mineralización, lo que refleja poca presencia de sólidos disueltos en el agua, produciendo baja conductividad, dureza y alcalinidad, así como de carbonatos y bicarbonatos lo que indica que son aguas poco minerales (Zabala Davila, 2018). Obteniendo para los tres puntos una calidad del agua buena, a excepción del punto P3 durante las precipitaciones bajas, esto posiblemente debido a que en este punto se realiza la descarga intermitente del vertimiento no doméstico descrito en la Fase 1 de este documento.

**Tabla 15**

*Valores obtenidos del ICOMI del caño siete vueltas, a partir de los datos obtenidos*

|           | PRECIPITACIONES BAJAS |                 |                        | PRECIPITACIONES ALTAS |                 |                        |
|-----------|-----------------------|-----------------|------------------------|-----------------------|-----------------|------------------------|
|           | ICOMI                 | Escala de color | Grado de contaminación | ICOMI                 | Escala de color | Grado de contaminación |
| <b>P1</b> | 0,1                   | Azul            | Ninguna                | 0,1                   | Azul            | Ninguna                |
| <b>P2</b> | 0,2                   | Azul            | Ninguna                | 0,08                  | Azul            | Ninguna                |
| <b>P3</b> | 0,5                   | Amarillo        | Media                  | 0,11                  | Azul            | Ninguna                |

**Nota:** P1: agua superficial antes del vertimiento doméstico: P2: Agua superficial final vertimiento doméstico e inicial vertimiento no doméstico: P3: Agua superficial después del vertimiento no doméstico. Por: Martínez & Quiñones, 2019.

### Estimación del índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

El índice de contaminación por materia orgánica refleja valores superiores a 0,6 lo que indica que se encuentran en un alto grado de contaminación, tanto en precipitaciones bajas como en altas (ver tabla 16), el oxígeno disuelto es uno de los parámetros más importante para la auto purificación de la fuente hídrica, la cual arrojó valores muy bajos en el momento de la toma de las muestras, los coliformes fecales en su mayoría tuvieron valores superiores 20.000 (NPM/100ml), de igual manera la demanda bioquímica de oxígeno tuvo valores superiores a 30 (mg/L), alcanzando estos dos parámetros los valores más altos a la hora de la toma de muestras.

La contaminación constante tanto en las precipitaciones bajas como en las altas se debe a los asentamientos humanos aledaños a la fuente hídrica, debido a que la descarga del vertimiento domestico dos es constante (Valverde Solis, Moreno Tamayo, & Ortiz Palacios, 2015).

Evidentemente la calidad mejora con las precipitaciones esto puede deberse a la aireación y dilución producida por las precipitaciones, además del aumento del caudal, lo que permite una mayor dilución y mezcla de los contaminantes.

**Tabla 16**

*Valores obtenidos del ICOMO del caño siete vueltas a partir de los datos obtenidos*

|           | PRECIPITACIONES BAJAS |                 |                        | PRECIPITACIONES ALTAS |                 |                        |
|-----------|-----------------------|-----------------|------------------------|-----------------------|-----------------|------------------------|
|           | ICOMO                 | Escala de color | Grado de contaminación | ICOMO                 | Escala de color | Grado de contaminación |
| <b>P1</b> | 0,7                   | Naranja         | Alta                   | 0,42                  | Amarillo        | Media                  |
| <b>P2</b> | 0,7                   | Naranja         | Alta                   | 0,62                  | Naranja         | Alta                   |
| <b>P3</b> | 0,8                   | Rojo            | Muy Alta               | 0,67                  | Naranja         | Alta                   |

*Nota: P1: agua superficial antes del vertimiento domestico: P2: Agua superficial final vertimiento doméstico e inicial vertimiento no domestico: P3: Agua superficial después del vertimiento no doméstico. Por: Martínez & Quiñones, 2019.*

En el trimestre del año 2019 las fuentes hídricas del departamento del Meta presentan descensos en los niveles hídricos, alcanzando valores en el rango de condiciones bajas, lo cual determina que es la temporada de menos lluvia particularmente en la región Orinoquia (IDEAM, 2019). Con lo anterior se analiza que en esta época del año el caño Siete Vueltas sufre una gran degradación,

presentando caudal bajo, generación de malos de olores, disminución en fauna y flora, puesto que el consumo de oxígeno disuelto disminuye por presencia de materia orgánica en el cuerpo de agua y este no logra asimilar generando alta contaminación. Sin embargo, a partir del mes de abril, se evidencia la primera temporada de lluvias del año 2019 de acuerdo a la información del IDEAM, con lo cual se evidencia una mejoría en la calidad del agua, ya que las condiciones del afluente cambian aumentando el caudal, aumentando los niveles de oxigenación de la fuente lo que permite una mayor dilución y mezcla de contaminantes, permitiendo que la microcuenca logre responder y recuperarse (Huertas Bonilla & Sanchez Hernandez, 2009).

### Estimación del índice de contaminación por solidos suspendidos (ICOSUS)

Los solidos suspendidos, hace referencia a aquellos compuestos inorgánicos en suspensión presentes en la fuente hídrica, según los datos obtenidos en la toma de la muestra, los solidos suspendidos superan los maximos permisibles presentes en la resolucio 631 del 2015, cuando se presenta gran cantidad de estos puede afectar el paso de la luz solar disminuyendo así el oxígeno disuelto presente en la fuente hídrica, disminuyendo la posibilidad de contar con diversidad biológica (Torres Solano, 2008).

En la tabla 17 se puede observar que según los resultados obtenidos por el ICOSUS, el caño Siete Vueltas, tanto en precipitaciones bajas como en precipitaciones altas, arroja valores superiores a 0,7, lo que nos indica que el caño presenta un grado de contaminación alto, debido a contenido inorgánico con la presencia de grandes cantidades de solidos suspendidos (Zabala Davila, 2018).

**Tabla 17**

*Valores obtenidos del ICOSUS del caño siete vueltas, a partir de los datos obtenidos*

| PRECIPITACIONES BAJAS |        |                 |                        | PRECIPITACIONES ALTAS |                 |                        |
|-----------------------|--------|-----------------|------------------------|-----------------------|-----------------|------------------------|
|                       | ICOSUS | Escala de color | Grado de contaminación | ICOSUS                | Escala de color | Grado de contaminación |
| P1                    | 0,7    | Naranja         | Alta                   | 0,5                   | Amarillo        | Media                  |
| P2                    | 1      | Rojo            | Muy Alta               | 0,7                   | Rojo            | Muy Alta               |
| P3                    | 1      | Rojo            | Muy Alta               | 1                     | Rojo            | Muy Alta               |

*Nota: P1: agua superficial antes del vertimiento domestico: P2: Agua superficial final vertimiento doméstico e inicial vertimiento no domestico: P3: Agua superficial después del vertimiento no doméstico. Elaborado por: Autores, 2019.*

### Estimación del índice de contaminación por temperatura (ICOTEMP)

En comparación con los demás índices de contaminación, el índice de contaminación por temperatura tiene en cuenta tanto el vertimiento como el cuerpo receptor, con el fin de interpretar la condición de impacto o la contaminación que dicho cambio representa, los otros índices se encargan de la caracterización de las aguas naturales. Este índice en especial está enfocado a la evaluación de los vertimientos, la temperatura en una fuente hídrica se establece por medio de la radiación presente en las capas superiores del líquido, las variaciones en la temperatura pueden afectar de forma general todas sus propiedades.

Llegar a tener una descarga de aguas con altas temperaturas pueden llegar a causar daños tanto en la fauna y flora del cuerpo receptor interviniendo con la reproducción de especies, por lo general en las zonas tropicales la temperatura de las aguas se conservan (CORTOLIMA, 2011), En los resultados que se obtuvieron en el momento de la toma de muestra, la temperatura del vertimiento sobre el cuerpo receptor no es significativa, ya que diferencia de estos valores es inferior a 0,2 (ver tabla 18), indicándonos que no presenta contaminación por los cambios de temperatura en el caño siete vueltas.

**Tabla 18**

*Valores obtenidos del ICOTEMP del caño siete vueltas, a partir de los datos obtenidos*

| PRECIPITACIONES BAJAS |                 |                        | PRECIPITACIONES ALTAS |        |                        |         |
|-----------------------|-----------------|------------------------|-----------------------|--------|------------------------|---------|
| ICOTEMP               | Escala de color | Grado de contaminación | ICOTEMP               | Escala | Grado de contaminación |         |
| VD1                   | 0               | Azul                   | Ninguna               | 0      | Azul                   | Ninguna |
| VD2                   | 0               | Azul                   | Ninguna               | 0,008  | Azul                   | Ninguna |

*Nota: VD1: Vertimiento doméstico, VD2: vertimiento no doméstico. Por: Martínez & Quiñones, 2019*

### Estimación del índice de contaminación por pH (ICOpH)

El pH de una fuente hídrica se debe sobre todo al equilibrio carbónico y a la actividad de los microorganismos acuáticos, en los cálculos obtenido para este índice de contaminación nos arroja

valores inferiores a 0,2 (ver tabla 19), lo que significa que no presenta contaminación alguna en el cuerpo hídrico, esto se debe también a que el cuerpo hídrico no presenta disolución de carbonatos e insolubilización de bicarbonatos (aguas con poco minerales) (ver tabla 15), que son las que pueden alterar el pH de forma drástica (Torres Solano, 2008).

El valor del pH en aguas superficiales se encuentra en un intervalo de 6 a 8,5, los valores que obtuvimos en la toma de las muestras tanto en las precipitaciones bajas como en las precipitaciones altas tuvieron un intervalo de 6,5 a 7,9, lo que significa que el caño Siete Vueltas se encuentra en una condición natural en cuanto a su pH.

**Tabla 19**

Valores obtenidos del ICOpH del caño siete vueltas, a partir de los datos obtenidos

| PRECIPITACIONES BAJAS |       |                 |                        | PRECIPITACIONES ALTAS |                 |                        |
|-----------------------|-------|-----------------|------------------------|-----------------------|-----------------|------------------------|
|                       | ICOpH | Escala de color | Grado de contaminación | ICOpH                 | Escala de color | Grado de contaminación |
| <b>P1</b>             | 0,005 | Azul            | Ninguna                | 0,001                 | Azul            | Ninguna                |
| <b>P2</b>             | 0,022 | Azul            | Ninguna                | 0,003                 | Azul            | Ninguna                |
| <b>P3</b>             | 0,007 | Azul            | Ninguna                | 0,001                 | Azul            | Ninguna                |

*Nota: P1: Agua superficial antes del vertimiento doméstico; P2: Agua superficial final vertimiento doméstico e inicial vertimiento no doméstico; P3: Agua superficial después del vertimiento no doméstico. Por: Martínez & Quiñones, 2019.*

### Fase 3: Zonificación del grado de afectación del caño siete vueltas

#### Actividad 1: Zonificación del caño siete vueltas según el índice de calidad ICA

El caño siete vueltas presenta dos vertimientos de agua residual doméstica caracterizados en la fase 1 de este trabajo teniendo en cuenta la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible (MADS), así mismo se realizaron tres muestreos en puntos definidos en temporada de precipitaciones altas y precipitaciones bajas, en el primer semestre de año 2019.

Con los resultados obtenidos del índice de calidad del agua “ICA” se realizó una zonificación a cada punto de muestreo del afluente caño siete vueltas, empleando el software ArcMap 10.2.2,



dividiendo la microcuenca por puntos para obtener un análisis cuantitativo con el índice de calidad del agua “ICA-NSF”.

A partir de esto se obtuvo un mapa donde se ilustra la microcuenca y cada uno de los puntos de muestra tomados; iniciando con el punto de toma de muestra de agua superficial del vertimiento domestico (P1) con un índice promedio de 58.95, el cual es de color amarillo, indicando que en este punto la calidad del agua es “regular” tanto en temporada de precipitación alta como baja. Al anterior punto, lo sigue el punto final del agua superficial domestico e inicial del agua superficial inicial del vertimiento no domestico (P2) con un índice promedio 50.75 el cual es de color amarillo, lo cual indica que en ese punto la calidad del agua es “regular” tanto para precipitaciones altas como precipitaciones bajas y finaliza con el punto de agua superficial final del vertimiento no domestico (P3) con un índice promedio 36.95 el cual arroja color naranja en precipitaciones

bajas, esto indico que la calidad del agua es “mala”, y en precipitaciones altas su tonalidad es amarilla que indica que la calidad del agua es “regular”. (ver figura 8).

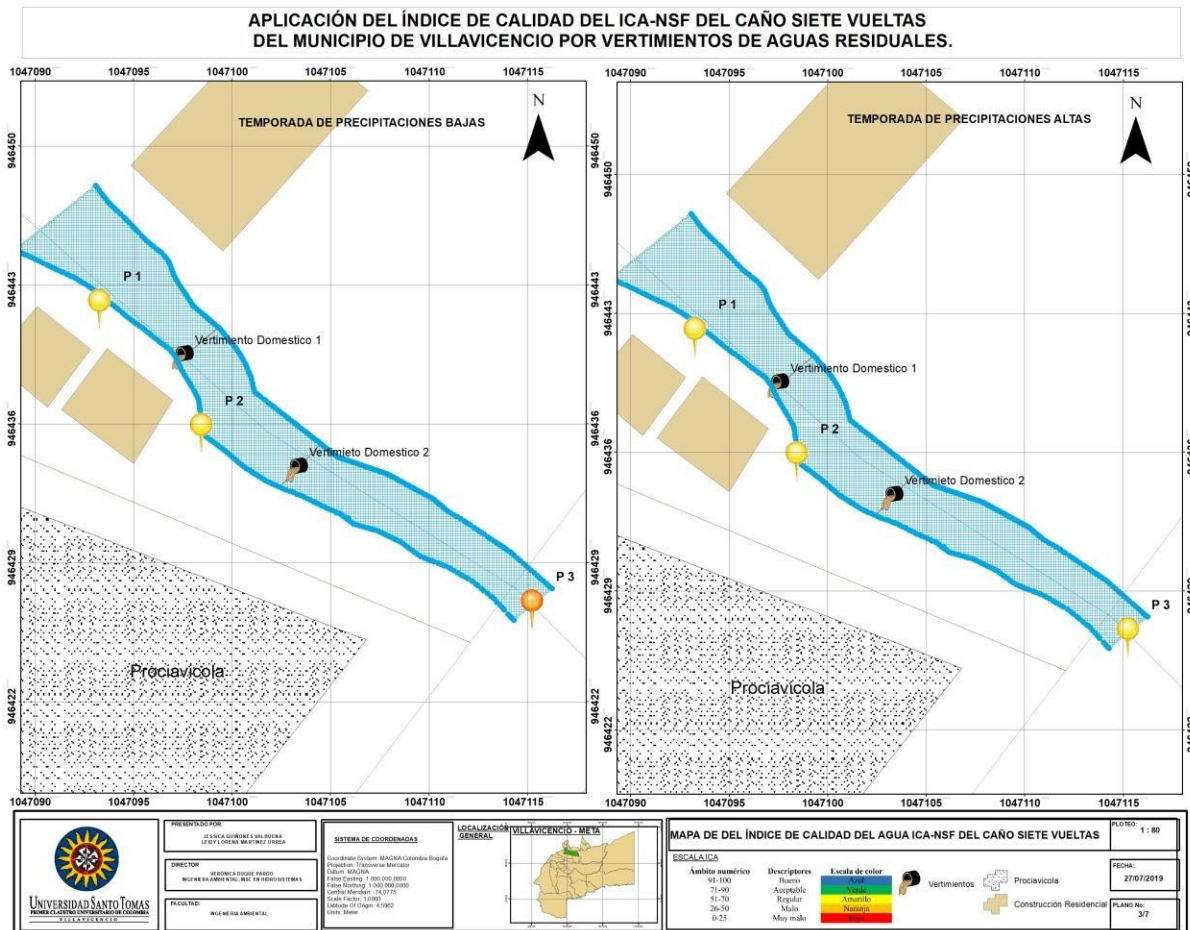


Figura 8. Aplicación del índice de calidad del agua ICA-NSF en el análisis de la afectación en la calidad del agua del caño siete vueltas del municipio de Villavicencio por vertimientos de aguas residuales.

Con lo anterior se determina que en la temporada de precipitaciones altas los puntos de agua superficial del caño Siete Vueltas presentan una calidad de agua regular, aun no presentando las mejores características de una calidad de agua buena, mejora respecto a las temporadas de precipitaciones bajas. Esto se podría atribuir al aumento del caudal, que ayuda a depurar y a diluir los contaminantes de los vertimientos.

Cuando existe un ICA de categoria mala esta agua puede presentar problemas de contaminación, según estudio de evaluacion de la calidad del agua, para la formulacion de

estrategias de aprovechamiento y conservación de la microcuenca quebrada la Argentina en el municipio de Villavicencio, se encuentran características similares a las de la microcuenca caño siete vueltas, donde determinan que al tener un ICA de categoría regular se aumenta el crecimiento de algas y por esta razón se tiene menor diversidad acuática, esta quebrada presenta un índice promedio 69,6 en precipitaciones bajas determinando que la cuenca presenta un deterioro significativo (Martínez Ortiz & Barrero Arias, 2018).

Teniendo en cuenta esta información, y los resultados obtenidos en la investigación se evidencia que en la longitud del caño Siete Vueltas la calidad del agua se categorizó como “regular” estableciendo rangos variados de intrusión en los cuales se puede decir que las aguas residuales domésticas, no domésticas e industriales se vierten de forma directa al cuerpo hídrico provenientes, esto se evidenció además de en los análisis de laboratorio, en las características organolépticas percibidas durante las jornadas de muestreo (mal olor, alta turbiedad, viscosidad, entre otras).

## **Actividad 2: Zonificación espacial de los puntos de muestreo del caño siete vueltas según el índice de contaminación ICO**

### **Análisis de la afectación en la calidad del agua del caño siete vueltas ICOMI.**

Se determina que en temporada de precipitaciones bajas en el punto de agua superficial inicial del vertimiento doméstico (P1) y el punto final del agua superficial doméstico e inicial del agua superficial inicial del vertimiento no doméstico (P2), se presentó un índice promedio de 0.15 y 0.2, indicando una tonalidad de color azul que indica “sin grado de contaminación”, sin embargo en el punto de agua superficial final del vertimiento no doméstico (P3) presenta un índice promedio de 0.5, presentando una tonalidad de color amarillo el cual indica que existe un grado de contaminación “medio”, y en temporada de precipitaciones altas los tres puntos se clasifican en la tabla de ICO “sin grado de contaminación”, siendo esta la mejor calidad. (ver Figura 9).

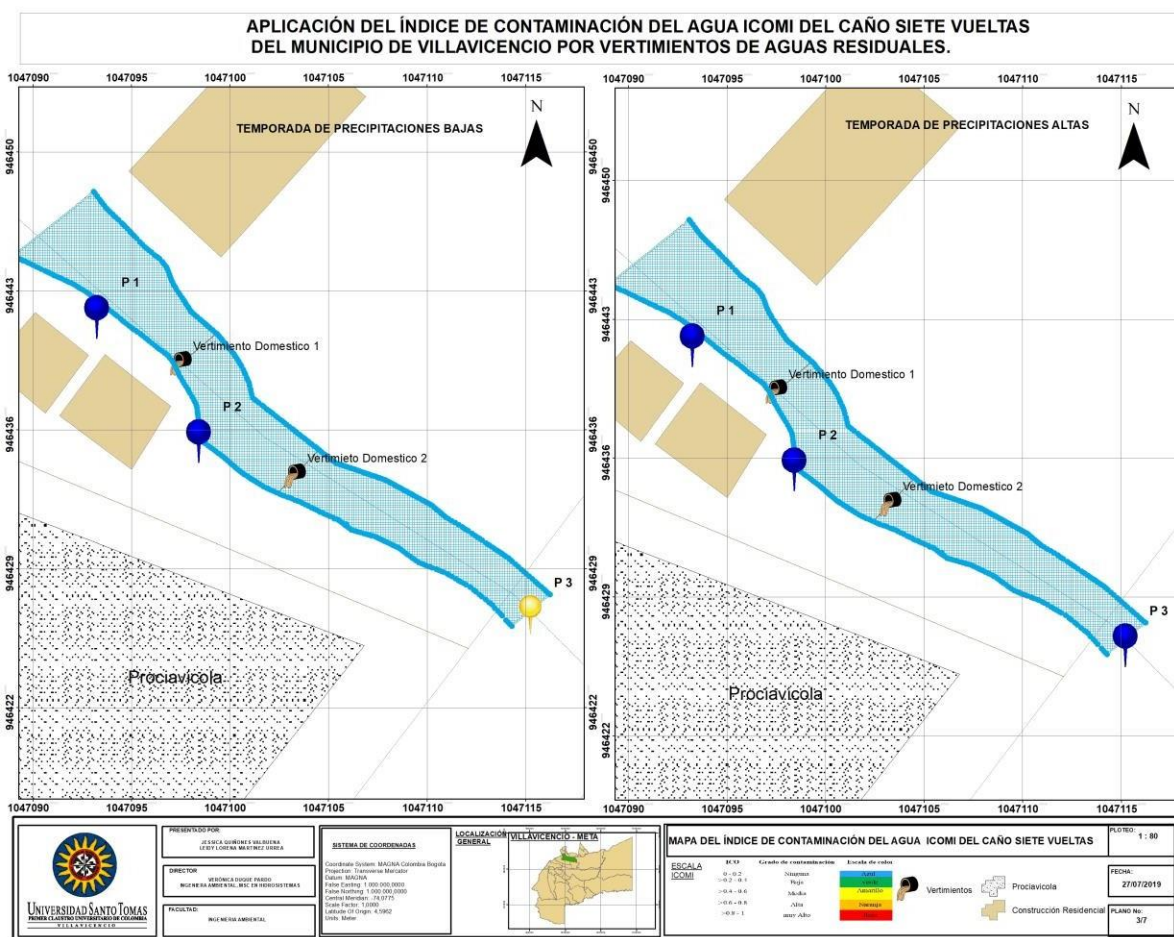


Figura 9. Aplicación del índice de contaminación por mineralización ICOMI en el análisis de la afectación en la calidad del agua del caño siete vueltas del municipio de Villavicencio por vertimientos de aguas residuales.

En este caso del índice de mineralización por contaminación ICOMI, no presentan cambios considerables en el tiempo, puesto que en cada uno de los puntos muestreados se situó con contaminación baja debido a la combinación de contaminantes producidos por los asentamientos humanos asociados con vertimientos industriales y domésticos, teniendo en cuenta las variables de conductividad como reflejo del conjunto, dureza y alcalinidad por cuanto recoge los niveles de calcio y magnesio y sólidos suspendidos que presentan concentraciones significativas en la microcuenca caño siete vueltas.

Se compara esta información con los resultados obtenidos de la investigación de análisis de la calidad de varios cuerpos de aguas superficiales en Bahía Solano, donde determinan que los niveles

de índice de mineralización son bajos debido a las variables de conductividad, dureza y sólidos disueltos por diferentes tipos de vertimientos de agua residual (Arlyn Valverde, Edinson Moreno, Nerlyn Yisseth Ortiz, 2015), así mismo el caño siete vueltas refleja poca presencia de sólidos disueltos en el agua, produciendo baja conductividad, dureza y alcalinidad, así como de carbonatos y bicarbonatos lo que indica que son aguas poco mineralizadas sin contaminación significativa.

### **Análisis de la afectación en la calidad del agua del caño Siete Vueltas por contaminación orgánica ICOMO.**

Las jornadas de muestreo se llevaron a cabo en dos temporadas con el fin de evaluar los cambios que se ven presentados en la contaminación del caño y como contribuyen las precipitaciones en el mejoramiento de la contaminación, por lo tanto, se realizó el análisis en precipitaciones bajas y altas.

En precipitaciones bajas el resultado del caño cambia entre el punto de vertimiento 1 y 2, sin embargo, desde el punto inicial del vertimiento doméstico (P1) e inicial del vertimiento doméstico 2, presenta un promedio en el ICOMO de 0,7 lo cual nos arroja un resultado de tonalidad naranja el cual indica que es un grado “alto” de contaminación lo cual caracteriza los puntos monitoreados con una incidencia importante de contaminación (Torres Solano, 2008), en lo que respecta a materia orgánica.

Al inicio del vertimiento no doméstico (P2) se obtiene un índice de 0.85, teniendo una tonalidad roja que indica un grado de “Muy alta” contaminación dado que es el punto con mayor descarga de contaminantes al caño por lo tanto se encuentra con deterioro la calidad del agua, esto manifiesta un nivel de contaminación respecto a la presencia de coliformes y oxígeno disuelto, debido a que los vertimientos residuales no son tratados (Zabala Davila, 2018).

Por el contrario, en precipitaciones altas el punto de agua superficial del vertimiento doméstico (P1), hasta el punto inicial del vertimiento no doméstico (P2) determina una tonalidad amarilla, con índice de grado “medio” característica de una notable actividad antrópica y en el punto de agua superficial final del vertimiento no doméstico (P3), arroja una tonalidad naranja indicando

un grado de contaminación “alta”. De lo cual se puede determinar que las altas precipitaciones permiten dispersar la contaminación, es decir que al aumento de precipitaciones arrastran las partículas de contaminación (Bañuelos, 2011) (ver figura 10).

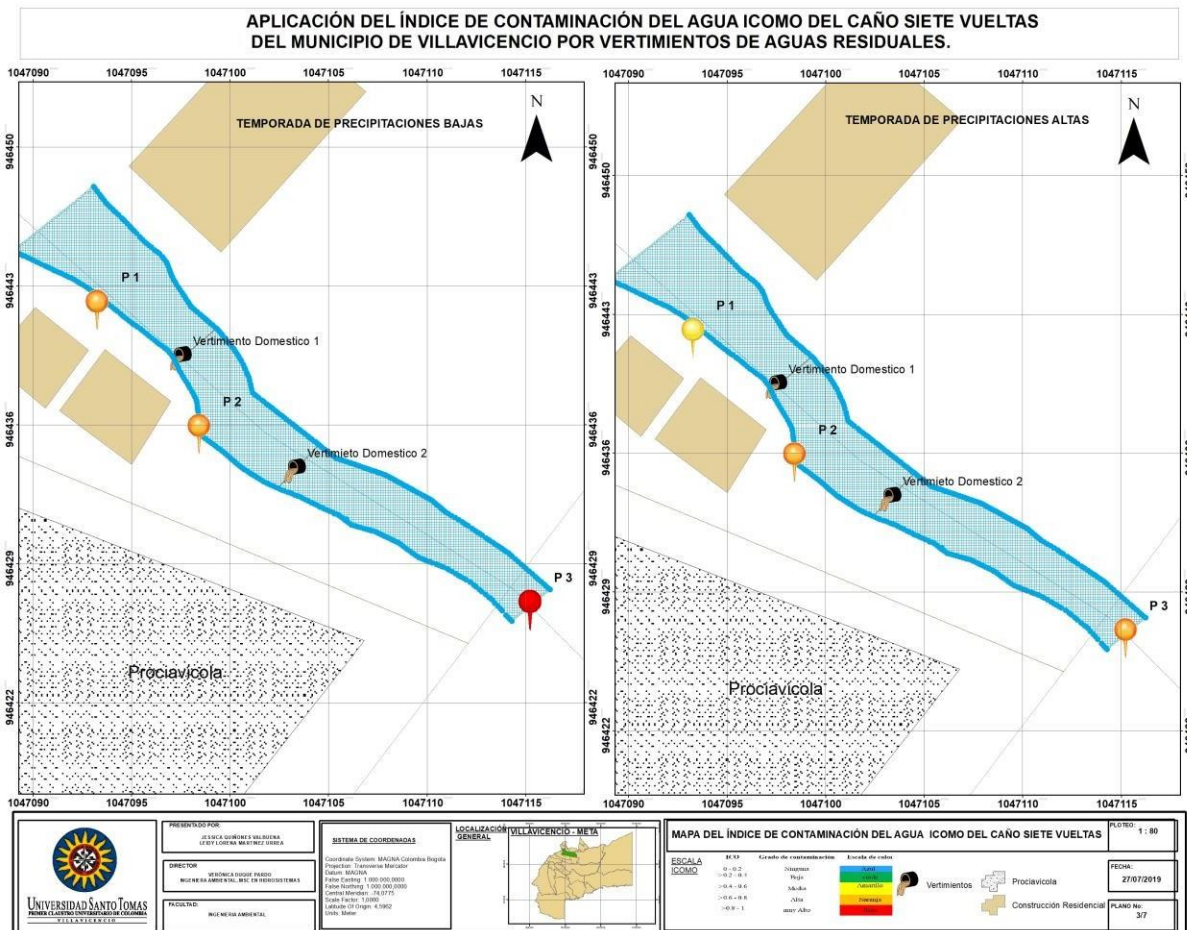


Figura 10: Aplicación del índice de contaminación por materia orgánica ICOMO en el análisis de la afectación en la calidad del agua del caño siete vueltas del municipio de Villavicencio por vertimientos de aguas residuales.

## Análisis de la afectación en la calidad del agua del caño Siete Vueltas por sólidos suspendidos totales ICOSUS

Se determina temporadas de precipitaciones bajas en el punto de agua superficial inicial del vertimiento doméstico (P1) se obtiene un índice promedio de 0.77, presentando una tonalidad

naranja, lo cual indica que el grado de contaminación es “alto”, y en el punto final del agua superficial doméstico e inicial del agua superficial del vertimiento no doméstico (P2) y el punto de agua superficial final del vertimiento no doméstico (P3), se obtiene un índice promedio de 1, presentando una tonalidad roja indicando el “mayor” grado de contaminación por el parámetro de sólidos suspendidos.

Así mismo, en temporada de precipitaciones altas en el punto de agua superficial inicial del vertimiento doméstico (P1), presenta una tonalidad amarilla, lo cual indica un grado de contaminación “media”, y en el punto final del agua superficial doméstico e inicial del agua superficial inicial del vertimiento no doméstico (P2) y el punto de agua superficial final del vertimiento no doméstico (P3), presenta una tonalidad roja, lo cual indica un grado de contaminación muy “alta” (ver Figura 11).



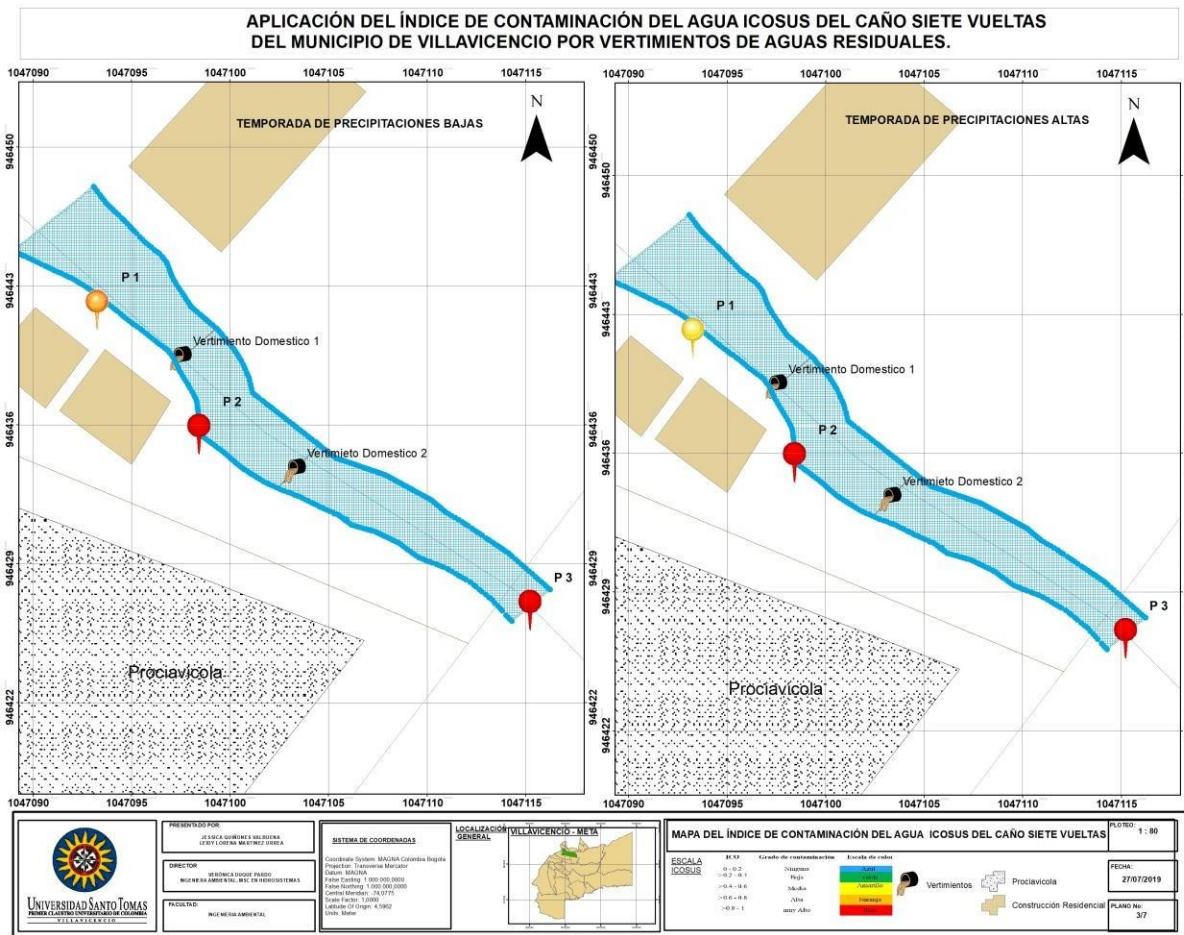


Figura 11. Aplicación del índice de contaminación por sólidos suspendidos totales ICOSUS en el análisis de la afectación en la calidad del agua del caño siete vueltas del municipio de Villavicencio por vertimientos de aguas residuales.

El índice de calidad del agua por sólidos suspendidos ICSUS, expresa la calidad del agua debido a la contaminación por sólidos suspendidos, de acuerdo con el mapa se logra evidenciar que a medida que el cauce del cuerpo receptor lleva su curso, va disminuyendo su corriente, generando estancamientos de aguas en el caño siete vueltas, generalmente en precipitaciones bajas, lo cual genera proliferación de factores, malos olores en la población de la comuna 8.

De igual manera muchos procesos generan cantidades de sólidos que influyen adversamente en los cuerpos de agua receptores, obstruyendo el paso de la luz solar disminuyendo la actividad fotosintética de las plantas acuáticas y por lo tanto la concentración de oxígeno disuelto (Hernandez Casas & Páez Cárdenas, 2018).

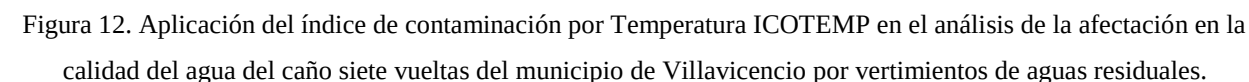


### **Análisis de la afectación en la calidad del agua del caño Siete Vueltas por Temperatura ICOTEMP**

Los tres puntos analizados de la microcuenca caño siete vueltas punto 1: agua superficial inicial del vertimiento doméstico (P1), punto 2: punto final del agua superficial doméstico e inicial del agua superficial inicial del vertimiento no doméstico (P2) y punto 3: en el punto de agua superficial final del vertimiento no doméstico (P3) (ver figura 12).

Establecen que la temperatura es un parámetro importante en la determinación de la calidad del agua, por su efecto sobre las características del agua; en general la temperatura afecta y altera la vida acuática, modifica la saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y de la actividad bacterial (Huertas Bonilla, Fabio Nelson; Sanchez Hernandez, Carlos Andres, 2009).

De acuerdo con lo anterior en la microcuenca del caño siete vueltas tanto en precipitaciones altas como bajas se determina que la zona de estudio no presenta ningún grado de contaminación ya que la variación en la temperatura de los vertimientos no es sustancial con la temperatura del caño ni la temperatura ambiente.



Se establece que en temporada de precipitaciones bajas y precipitaciones altas en los tres puntos analizados punto 1: agua superficial inicial del vertimiento doméstico (P1), punto 2: punto final del agua superficial doméstico e inicial del agua superficial inicial del vertimiento no doméstico (P2) y punto 3: en el punto de agua superficial final del vertimiento no doméstico (P3), determinan que la microcuenca no presenta ningún tipo de contaminación puesto que la variación en el pH no es sustancial con los vertimientos domésticos realizados (ver figura 13).

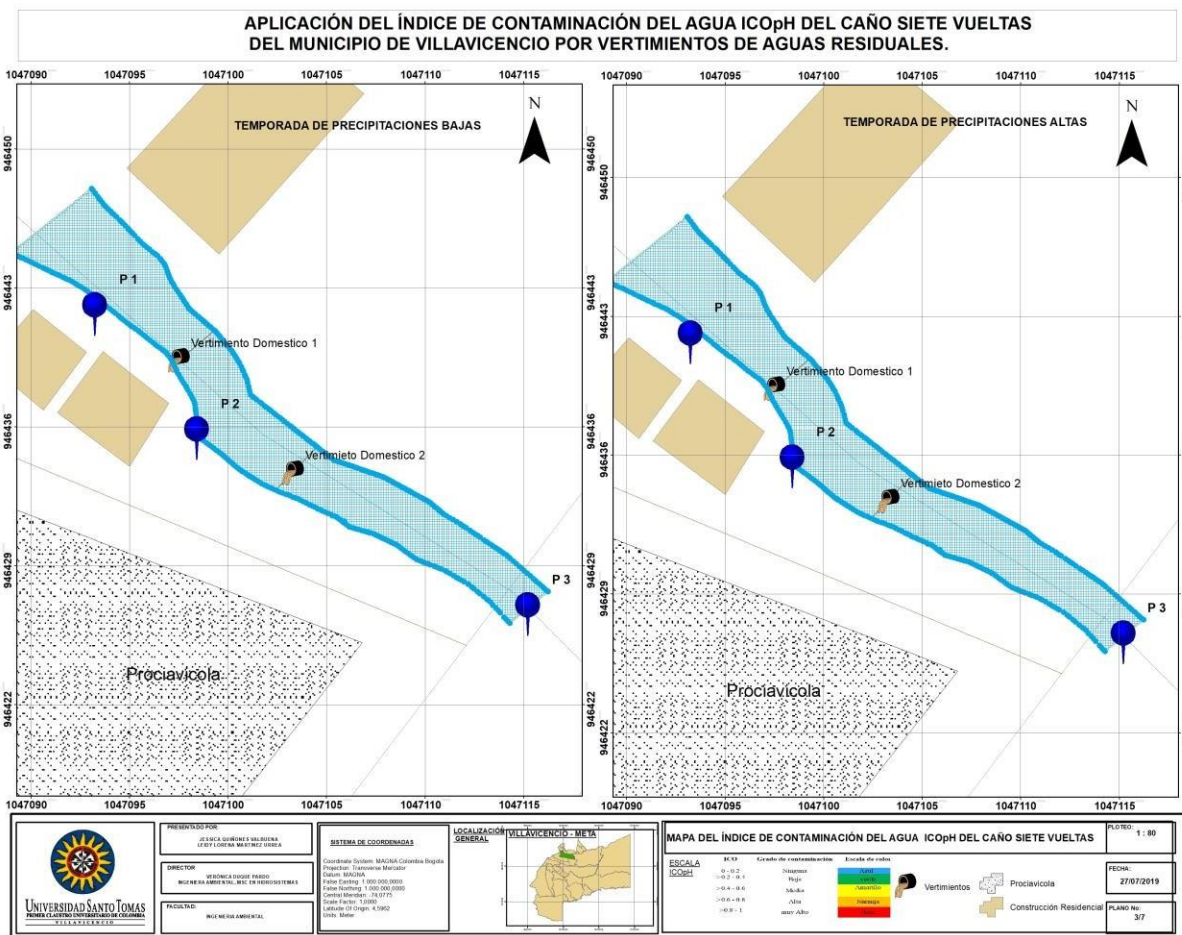


Figura 13. Aplicación del índice de contaminación por pH ICOpH en el análisis de la afectación en la calidad del agua del caño siete vueltas del municipio de Villavicencio por vertimientos de aguas residuales.

## **10. Evaluación y cumplimiento de los objetivos de la pasantía**

Los propósitos para esta pasantía desarrollada en la contraloría municipal de Villavicencio se cumplieron durante el primer semestre del año 2019, siendo guiada por la doctora Isabel Sierra contralora municipal y la ingeniera ambiental Verónica Duque Pardo docente de la universidad Santo Tomas de Villavicencio, quienes desde la identificación de las problemáticas ambientales generadas en la microcuenca caño siete vueltas, hasta la ejecución del proyecto estuvieron dirigiendo y verificando las diferentes funciones realizadas.

Algunos de los inconvenientes que se generaron en el transcurso de la pasantía y dificultaron el cumplimiento de los objetivos planteados, se relaciona por una parte con la restricción del préstamo de equipos y reactivos de los laboratorios, por esto desde un principio se redujo la cantidad de muestras a tomar; otra dificultad estuvo relacionada con la poca información que la autoridad ambiental Cormacarena posee de las microcuencas de Villavicencio.

Sin embargo, toda la información recolectada y plasmada en esta investigación durante la ejecución de la pasantía es de gran importancia para la elaboración del informe ambiental anual que presenta la contraloría municipal, y así mismo permite dar posibles respuestas a la comunidad de la comuna 8 de la ciudad de Villavicencio quienes en un principio presentan inconformidades con olores, proliferación de insectos, enfermedades entre otras, debido a vertimientos actuales presentes en la microcuenca.

## 11. Conclusiones

La caracterización de las aguas residuales vertidas identificadas al caño siete vueltas, teniendo en cuenta la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible (MADS), se determina que una de las principales causas de contaminación en el afluente, son los vertimientos no domésticos (ARnD). Dichas aguas poseen gran cantidad de contaminantes de tipo orgánico e inorgánico, presentando alta concentración de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) de hasta 313 mg/L, siendo esta superior al límite máximo permitido por la norma. Esto se refleja en la calificación "regular" del afluente caño siete vueltas del municipio de Villavicencio, requiriendo de principal atención la sección del caño localizada entre los puntos P2 y P3 por la cual se sugiere tratamiento de esta agua previo a su vertido.

El resultado del índice de calidad del agua "ICA" se respalda con los obtenidos por índices de contaminación "ICO's" y se concluye que los principales índices de contaminación y con más alto rango, son el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) y el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) lo cual determina una "alta contaminación" en la microcuenca sobre todo en época de precipitaciones bajas, sin embargo, estas condiciones permiten que haya un desarrollo moderado de vida acuática y flora.

A partir del uso de sistema de información geográfica (SIG), fue posible visualizar el estado de la calidad del agua de tres sectores del caño siete vueltas, sin embargo, para lograr una zonificación en términos de calidad del agua, es necesario realizar un monitoreo con una espacialidad más detallada, teniendo en cuenta los procesos de transporte de contaminantes que se pueden desarrollar en este cuerpo hídrico. basándose en los resultados y análisis del índice de calidad del agua "ICA" e índices de contaminación ICO's, se visualiza las concentraciones por medio de puntos de colores según la escala de cada índice el estado actual de la microcuenca caño siete vueltas, la cual presenta una degradación y disminución en fauna y flora.

Finalmente se lleva a cabo de manera satisfactoria y exitosa la ejecución de la pasantía en la contraloría municipal de Villavicencio, cumpliendo a cabalidad las funciones y deberes

establecidos por esta entidad, logrando reconocer las condiciones ambientales y el estado actual de la microcuenca del caño siete vueltas la cual es “regular”. Se identifica el número de vertimientos en el caño siete vueltas, los cuales son dos vertimientos de agua residual no doméstica (ARnD) procedentes de industria “PROCEAVICOLA” y de viviendas; y uno de agua residual doméstica (ARD) procedente de una vivienda del barrio LOS GUAYABOS, con esta investigación se informa a la contraloría las novedades encontradas, para que así la entidad haga uso de la investigación y pueda dar respuestas a la ciudadanía que presenta quejas por condiciones no adecuadas de la microcuenca estudiada.

## 12. Recomendaciones

- Se sugiere que los monitoreo realizados a la empresa Proceavicola por Cormacarena sean más frecuentes y en su efecto en las horas de la noche (IDEAM, 2007), según la guía de toma de muestras de aguas residuales, lo anterior con el fin de detectar si los resultados varían según la hora de la toma de la muestra.
- Realizar campañas de limpiezas en las temporadas de verano, puesto que por ser una microcuenca que se encuentra ubicada cerca una comunidad, una avenida principal, talleres entre otros es demasiada la presencia de residuos sólidos en el afluente.
- Desarrollar estrategias para generar conciencia en la población del barrio LOS GUAYABOS, mediante charlas, conferencias visitas sobre la importancia de informar a Cormacarena entidad responsable de los permisos para verter aguas residuales salientes de sus viviendas.

Es importante que la autoridad ambiental del municipio de Villavicencio “Cormacarena” tenga en cuenta esta investigación y nuevamente realice una inspección en campo, donde se recorra toda la microcuenca y se determine información exacta del número actual de vertimientos de agua residual del caño siete vueltas.

### 13. Bibliografía

- Aguirre Cordón, M., Vanegas Chacón, E., & García Álvarez, N. (2016). Aplicación del índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Lago de Izabal, Guatemala. *Revista ciencias técnicas agropecuarias*. Obtenido de: <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v25n2/rcta06216.pdf>
- Amaya Cano, R. A. (2011). Influencia del índice de escasez en la evaluación de tasas por uso y retributiva caso de estudio: cuenta río Guatiquia. Trabajo de grado. Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/3641/AmayaCanoRafaelAlexander2011.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- ANDI & Banco Interamericano de Desarrollo. (1997). *Manual de caracterización de aguas residuales industriales*. Medellín: Obtenido de: <http://www.acodal.org.co/holland/memorias/Taller%20Vertimientos/MANUAL%20DE%20CARACTERIZACION%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20INDUSTRIALES.pdf>.
- Arango, C., Dorado, J., Guzmán, D., & Ruiz, J. (2018). Climatología trimestral de Colombia. Obtenido de: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Climatolog%C3%ADa+Trimestral+para+Colombia+%28Ruiz%2C+Guzman%2C+Arango+y+Dorado%29.pdf/c2825963-c373-449a-a7cb-8480874478d9>
- Arlyn Valverde, Edinson Moreno, Nerlyn Yiseth Ortiz. (2015). Análisis de la calidad de varios cuerpos de aguas superficiales en. *Investigación, Biodiversidad y Desarrollo*, 34 (1): 14-21. Obtenido de: [https://revistas.utch.edu.co/ojs5/index.php/revinvestigacion/article/download/553/pdf\\_5](https://revistas.utch.edu.co/ojs5/index.php/revinvestigacion/article/download/553/pdf_5)
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Díaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: Evolución y tendencias a nivel global. *Ingennieria Solidaria*, 10(17). 111-124. Obtenido de: <https://pdfs.semanticscholar.org/698d/ccca891f920ec6f230ba47c6387a760a52184.pdf>
- Cochabamba-Bolivia: © Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA). Obtenido de: <http://www.gloobal.net/iepala/gloobal/fichas/ficha.php?id=12923&entidad=Agentes&html=1>
- Contraloría Municipal de Villavicencio. (2018). *Veedurida ciudadana*. Villavicencio.



- Cormacarena. (2019). *informe ambiental, vertimiento de agua residual caño siete vueltas*. Villavicencio: autoridad ambiental. Villavicencio. Cormacarena
- Cormacarena. (24 de 09 de 2018). Corporación para el desarrollo sostenible del área de manejo espacial la macarena. Villavicencio. Cormacarena.
- Corporación Autónoma Regional del Tolima. (2011). *Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrografica mayor del río Totare*. Ibagué. Cortolima.
- Decreto 3930. (25, octubre de 2010). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No.47837. Obtenido de: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=40620>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales* (Nelson Antequera Durán ed.). Obtenido de: <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2018). *Información para todos*. Villavicencio. Dane.
- Díaz Martínez, J. A., & Granada Torres, C. A. (18 de 11 de 2016). Efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas del río Bogotá a lo largo del municipio de Villapinzón, Colombia. *Revista de la facultad de medicina* 66(1). 45-52. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfmun/v66n1/0120-0011-rfmun-66-01-00045.pdf>
- Fernández, L., & Solano, N. (2005). *Índices de calidad y de contaminación del Agua*. Universidad Pamplona. Obtenido de: [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home\\_10/recursos/general/pag\\_contenido/libros/06082010/icatest\\_capitulo3.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf)
- González Piana, M. (2009). *Biorremediación y tratamiento de efluentes*. Obtenido de: [http://www.ipmades.org/files/CONSULTORIA/INVESTIGACION/COD\\_02\\_Bioremediacion/Biorremediacion\\_y\\_tratamiento\\_de\\_efluentes.doc](http://www.ipmades.org/files/CONSULTORIA/INVESTIGACION/COD_02_Bioremediacion/Biorremediacion_y_tratamiento_de_efluentes.doc)
- González Archila, M. A. (2014). Evaluación de la situación actual de las fuentes de vertimientos en la ciudad de Villavicencio-Meta en función del desarrollo de una propuesta de sostenibilidad ambiental de factores relacionados con la salud pública en poblaciones

- aledañas. *Boletín semillas Ambientales*, 8(1). Obtenido de:  
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/9348>
- Hernandez Casas, F. A., & Páez Cárdenas, C. P. (2018). *Evaluación de la calidad del agua en el caño maizaro a partir de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y aplicación de índices de contaminación en un periodo de 4 meses*. Trabajo de grado. Villavicencio. Universidad Santo Tomás. Obtenido de:  
[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/15565/2019FredyHern%C3%A1ndez\\_Clau%20diaP%C3%A1ez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/15565/2019FredyHern%C3%A1ndez_Clau%20diaP%C3%A1ez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Huertas Bonilla, F. N., & Sanchez Hernandez, C. A. (2009). *Seguimiento de las descargas de aguas residuales del sistema de alcantarillado sobre canales y quebradas en Bogotá*. Trabajo de grado. Bogotá. Universidad de la Salle: Obtenido de:  
<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/10185/15389/1/T40.09%20H871s.pdf>
- Ingeniería de aguas residuales. (14 de MAYO de 2015). Ingeniería de aguas residuales la ciudad del agua. *Libros libres para un mundo libre*. Obtenido de:  
<http://www.ingenieriaquimica.org/recursos/libro-ingenieria-aguas-residuales-gratuito>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2006). *Conductividad eléctrica en agua*. Obtenido d:  
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2007). *Coliformes totales y e. Coli por el método de filtración por membrana en agar chromocult*. Obtenido de:  
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+E.+coli+en+Agua+Filtraci%C3%B3n+por+Membrana.pdf/5414795c-370e-48ef-9818-ec54a0f01174>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2007). *Demanda bioquímica de oxígeno 5 días incubación y electrometría*. Obtenido de:  
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2007). *Toma de muestras de aguas residuales - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de:  
[http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma\\_Muestras\\_AguasResiduales.pdf/f5badd](http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5badd)

f0-7d86-4598-bebd-0e123479d428

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2007). *Turbiedad por nefelometría*. Obtenido de: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometr%C3%ADa..pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2017). *Dureza Total en Agua con EDTA por Volumetría*. Obtenido de: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Dureza+total+en+agua+con+EDTA+por+volumetr%C3%ADa.pdf/44525f65-31ff-482e-bbf6-130f5f9ce7c3>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2019). *Boletín de predicción climática y recomendación sectorial*. Obtenido de: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/prediccion-climatica>
- Jiménez, A., & Barba, Á. (2000). *Determinación de los parámetros fisico-químicos de calidad de las aguas*. Obtenido de: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>
- Loayza, J. E. (2009). La problemática del agua y el tratamiento de aguas residuales industriales. *Virtual Pro*. Obtenido de <https://www.virtualpro.co/editoriales/20090301-ed.pdf>
- Maldonado, W., Baldiris, I., & Díaz, J. (2011). Evaluación de la calidad del agua de la Ciénaga de la Virgen (Cartagena, Colombia) durante el período 2006-2010. 9(2). Obtenido de: <https://revistas.usb.edu.co/index.php/GuillermoOckham/article/view/582/383>
- Martínez Ortiz, S. S., & Barrero Arias, I. J. (2018). *Evaluación de las condiciones de calidad del agua, para la formulación de estrategias de aprovechamiento y conservación de la microcuenca quebrada la argentina, Villavicencio – Meta*. Trabajo de grado. Villavicencio. Universidad Santo Tomás. Obtenido de: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/12064>
- Martínez Romero, A., Fonseca Gómez, K., Ortega Sánchez, J., & García Luján, C. (08 de 04 de 2009). Monitoreo de la calidad microbiológica del agua en la cuenca hidrológica del Río Nazas, México. *QuímicaVica* (1). Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/863/86311258005.pdf>
- Orjuela, L. C., Saldarriaga, G., Garcia, M., & Wilches, H. (2010). *Calidad del agua superficial en Colombia*. Obtenido de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP6.pdf>

- Peña Pulla, E. (2007). *Calidad del agua trabajo de investigacion oxigeno disuelto*. Guayaquil. Obtenido de: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>
- Raffo Lecca, E., & Ruiz Lizama, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista Facultad de ingeniería*, 11. Obtenido de <http://www.oocities.org/edrochac/residuales/dboydgo2.pdf>
- Ramalho, R. (2008). *tratamiento de aguas residuales*. Canada. Reverte
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para la caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación. *CT&F- Ciencia Tecnología y Futuro*, 1(3), 135-153. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/ctyf/v1n3/v1n3a09.pdf>
- Rangel, J. E., & Beltrán, J. O. (2012). Modelación dinámica de los sólidos suspendidos totales. 15(2), 191-205. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v15n2/v15n2a04.pdf>
- Resolución 631. (2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible*. Bogotá: Obtenido de: [https://www.redjurista.com/Documents/resolucion\\_631\\_de\\_2015\\_ministerio\\_de\\_ambiente\\_y\\_desarrollo\\_sostenible.aspx](https://www.redjurista.com/Documents/resolucion_631_de_2015_ministerio_de_ambiente_y_desarrollo_sostenible.aspx)
- Rodríguez Pimentel, H. (s.f.). *Las aguas residuales y sus efectos contaminantes*. Obtenido de: <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- Samboni Ruiz, Natalia Eugenia; Carvajal Escobar, Yesid; Escobar, Juan Carlos. (Diciembre de 2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v27n3/v27n3a19.pdf>
- Sanchez Ramos, D. (2016). *Calidad de Aguas*. Obtenido de [http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/11\\_Calidad-agua-y-control\\_v2015\\_resumen.pdf](http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/11_Calidad-agua-y-control_v2015_resumen.pdf)
- Sierra Garcia, S. C. (2018). *Efectos ambientales generados por los vertimientos de las industrias de curtido de pieles: implicaciones en la cuenca alta del río Bogotá*. Trabajo de grado. Bogotá. Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/17868>
- Torres Solano, D. P. (2008). *Diagnóstico de la calidad del agua de la Microcuenca Sancotea*.

- Socorro- Santander. Obtenido de:  
<http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista7/articulos/Diagnostico-de-la-calidad-del-agua-de-la-microcuenca-Sancotea.pdf>
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. *Revista Ingenierías*, 8(15). Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>
- Valverde Solis, A., Moreno Tamayo, E., & Ortiz Palacios, N. Y. (2015). Análisis de la calidad de varios cuerpos de aguas superficiales en Bahía Solano utilizando índices de contaminación. *Revista Científica Institucional*, © Investigación, Biodiversidad y Desarrollo. 34(1). 14-21. Obtenido de: [https://revistas.utch.edu.co/ojs5/index.php/revinvestigacion/article/download/553/pdf\\_5](https://revistas.utch.edu.co/ojs5/index.php/revinvestigacion/article/download/553/pdf_5)
- Vidal, R., Gutierrez, A., Suarez, L., Gómez Cerezo, R., & Ramírez Díaz, L. (1996). *Ecología de aguas continentales: práctica de limnología, Volumen 1*. Obtenido de: [https://www.researchgate.net/publication/45430835\\_Ecologia\\_de\\_Aguas\\_ContinentalPracticas\\_de\\_Limnologia\\_Practica\\_3Parametros\\_fisico-quimicos\\_ILa\\_composicion\\_ionica\\_del\\_agua](https://www.researchgate.net/publication/45430835_Ecologia_de_Aguas_ContinentalPracticas_de_Limnologia_Practica_3Parametros_fisico-quimicos_ILa_composicion_ionica_del_agua)
- WWAP - Programa mundial de evaluación de los recursos hídricos de las naciones unidas. (2017). *Aguas residuales el recurso no explotado*. Obtenido de: <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2017-wastewater-the-untapped-resource/>
- Zabala Davila, J. E. (2018). *Determinación de los índices de calidad y contaminación del agua (índice de calidad y contaminación) sobre tramos superficiales del río de oro y río vetas para el análisis y verificación del cumplimiento de la normatividad colombiana*. Trabajo de Grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Obtenido de: <http://www.cdmb.gov.co/web/images/Documentacion/sitios%20de%20interes/TESIS%20JUDITH%20ZABALA%20CDMB.pdf>

## 14. APÉNDICES

### APÉNDICE A Evidencia en la temporada de sequía en el caño Siete Vueltas.



*Imagen 1* Evidencia de las condiciones en las que se encontraba el caño Siete Vueltas, en la primera toma de muestras Fuente: Autores, 2019.





*Imagen 2* Evidencia de las condiciones en las que se encontraba el caño Siete Vueltas, en la primera toma de muestras Fuente: Autores, 2019.

**APÉNDICE B** Toma de muestras de los parámetros a tener en cuenta para el índice de calidad del agua (ICA-NSF).

**Tabla 1**

*Datos obtenidos para el cálculo del ICA-NSF en el agua superficial antes del vertimiento domestico*

| PARAMETRO                                  | UNIDAD       | PRECIPITACIONES<br>BAJAS | PRECIPITACIONES<br>ALTAS |
|--------------------------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>Oxígeno Disuelto</b>                    | % saturación | 87                       | 90,4                     |
| <b>Coliformes Fecales</b>                  | NPM/100ml    | 40972                    | 6853                     |
| <b>pH</b>                                  | Unidad de Ph | 7,7                      | 6,5                      |
| <b>DbO5</b>                                | mg/L         | 231                      | 103                      |
| <b>Nitratos</b>                            | mg/L         | 1,2                      | 4,6                      |
| <b>Fosfatos</b>                            | mg/L         | 0,65                     | 0,8                      |
| <b>Cambio<br/>Temperatura</b>              | °C           | 4,5                      | 3,2                      |
| <b>Turbiedad</b>                           | UTN          | 3                        | 4                        |
| <b>Solidos<br/>Suspendidos<br/>Totales</b> | mg/L         | 500                      | 238                      |

Elaborado por: Autores, 2019

**Tabla 2**

*Datos obtenidos para el cálculo del ICA-NSF en el agua superficial después del vertimiento doméstico y antes del vertimiento no domestico*

| PARAMETRO                                  | UNIDAD       | PRECIPITACIONES<br>BAJAS | PRECIPITACIONES<br>ALTAS |
|--------------------------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>Oxígeno Disuelto</b>                    | % saturación | 69                       | 89                       |
| <b>Coliformes Fecales</b>                  | NPM/100ml    | 13988                    | 10153                    |
| <b>pH</b>                                  | Unidad de Ph | 7,9                      | 6,8                      |
| <b>DbO5</b>                                | mg/L         | 156                      | 95                       |
| <b>Nitratos</b>                            | mg/L         | 1,4                      | 8,3                      |
| <b>Fosfatos</b>                            | mg/L         | 3,4                      | 0,7                      |
| <b>Cambio<br/>Temperatura</b>              | °C           | 4,4                      | 3,3                      |
| <b>Turbiedad</b>                           | UTN          | 6,5                      | 4,5                      |
| <b>Solidos<br/>Suspendidos<br/>Totales</b> | mg/L         | 850                      | 675                      |

Elaborado por: Autores, 2019



**Tabla 3***Datos obtenidos para el cálculo del ICA-NSF en el agua superficial después del vertimiento no domestico*

| PARAMETRO                          | UNIDAD       | PRECIPITACIONES<br>BAJAS | PRECIPITACIONES<br>ALTAS |
|------------------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>Oxígeno Disuelto</b>            | % saturación | 46                       | 90                       |
| <b>Coliformes Fecales</b>          | NPM/100ml    | 139885                   | 99639                    |
| <b>Ph.</b>                         | Unidad de Ph | 7,8                      | 6,7                      |
| <b>Db<sub>o5</sub></b>             | mg/L         | 168                      | 92                       |
| <b>Nitratos</b>                    | mg/L         | 12,2                     | 7,1                      |
| <b>Fosfatos</b>                    | mg/L         | 2,5                      | 0,8                      |
| <b>Cambio Temperatura</b>          | °C           | 3,5                      | 3,2                      |
| <b>Turbiedad</b>                   | UTN          | 34                       | 5                        |
| <b>Sólidos Suspendidos Totales</b> | mg/L         | 4475                     | 1938                     |

Elaborado por: Autores, 2019

**APÉNDICE C** Toma de muestras de los parámetros a tener en cuenta para los índices de contaminación (ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOTEMP, ICOpH).

- Índice de contaminación por mineralización (ICOMI)

**Tabla 4***Datos obtenidos para el cálculo del Índice de contaminación por mineralización (ICOMI) en el agua superficial antes del vertimiento domestico*

| PARAMETRO            | UNIDAD | PRECIPITACIONES<br>BAJAS | PRECIPITACIONES<br>ALTAS |
|----------------------|--------|--------------------------|--------------------------|
| <b>Conductividad</b> | Us/cm  | 18,9                     | 20,8                     |
| <b>Dureza</b>        | mg/L   | 14,8                     | 15,5                     |
| <b>Alcalinidad</b>   | mg/L   | 135                      | 100                      |

Elaborado por: Autores, 2019

**Tabla 5***Datos obtenidos para el cálculo del Índice de contaminación por mineralización (ICOMI), en el agua superficial después del vertimiento domestico y antes del vertimiento no domestico*

| PARAMETRO            | UNIDAD | PRECIPITACIONES<br>BAJAS | PRECIPITACIONES<br>ALTAS |
|----------------------|--------|--------------------------|--------------------------|
| <b>Conductividad</b> | Us/cm  | 37,6                     | 23,5                     |
| <b>Dureza</b>        | mg/L   | 15                       | 16                       |
| <b>Alcalinidad</b>   | mg/L   | 150                      | 73                       |

**Tabla 6**

*Datos obtenidos para el cálculo del Índice de contaminación por mineralización (ICOMI), en el agua superficial después del vertimiento no domestico*

| PARAMETRO            | UNIDAD | PRECIPITACIONES<br>BAJAS | PRECIPITACIONES<br>ALTAS |
|----------------------|--------|--------------------------|--------------------------|
| <b>Conductividad</b> | Us/cm  | 80,6                     | 30,3                     |
| <b>Dureza</b>        | mg/L   | 40                       | 18                       |
| <b>Alcalinidad</b>   | mg/L   | 305                      | 100                      |

Elaborado por: Autores, 2019

- Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

**Tabla 7**

*Datos obtenidos para el cálculo del índice de contaminación por metería orgánica (ICOMO) en el agua superficial antes del vertimiento domestico*

| PARAMETRO                     | UNIDAD    | PRECIPITACIONES<br>BAJAS | PRECIPITACIONES<br>ALTAS |
|-------------------------------|-----------|--------------------------|--------------------------|
| <b>DBO<sub>5</sub></b>        | mg/L      | 231                      | 103                      |
| <b>Coliformes<br/>Totales</b> | NPM/100ml | 40972                    | 1095                     |
| <b>Oxígeno Disuelto</b>       | %         | 87                       | 90                       |

Elaborado por: Autores, 2019

**Tabla 8**

*Datos obtenidos para el cálculo del índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) en el agua superficial después del vertimiento domestico 1 y antes del vertimiento domestico 2*

| PARAMETRO                     | UNIDAD    | PRECIPITACIONES<br>BAJAS | PRECIPITACIONES<br>ALTAS |
|-------------------------------|-----------|--------------------------|--------------------------|
| <b>DBO<sub>5</sub></b>        | mg/L      | 156                      | 94                       |
| <b>Coliformes<br/>Totales</b> | NPM/100ml | 13988                    | 15340                    |
| <b>Oxígeno Disuelto</b>       | %         | 69                       | 90                       |

Elaborado por: Autores, 2019

**Tabla 9**

*Datos obtenidos para el cálculo del índice de contaminación por metería orgánica (ICOMO) índice de contaminación por metería orgánica (ICOMO) en el agua superficial después del vertimiento no domestico*

| PARAMETRO                     | UNIDAD    | PRECIPITACIONES<br>BAJAS | PRECIPITACIONES<br>ALTAS |
|-------------------------------|-----------|--------------------------|--------------------------|
| <b>DBO<sub>5</sub></b>        | mg/L      | 168                      | 92                       |
| <b>Coliformes<br/>Totales</b> | NPM/100ml | 139885                   | 99639                    |
| <b>Oxígeno Disuelto</b>       | %         | 46                       | 90                       |

Elaborado por: Autores, 2019

- Índice de contaminación por solidos suspendidos (ICOSUS)

**Tabla 10**

*Datos obtenidos para el cálculo del índice de contaminación por solidos suspendidos (ICOSUS)*

| PARAMETRO | UNIDAD                 | PRECIPITACIONES<br>BAJAS | PRECIPITACIONES<br>ALTAS |
|-----------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>P1</b> | Solidos<br>Suspendidos | 500                      | 238                      |
| <b>P2</b> |                        | 850                      | 675                      |
| <b>P3</b> |                        | 4475                     | 1938                     |

Elaborado por: Autores, 2019

- Índice de contaminación por temperatura (ICOTEMP)

**Tabla 11**

*Datos obtenidos para el cálculo del índice de contaminación por temperatura (ICOTEMP)*

| PARAMETRO    | UNIDAD      | PRECIPITACIONES<br>BAJAS | PRECIPITACIONES<br>ALTAS |
|--------------|-------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>ASFD1</b> | Temperatura | 24                       | 23,7                     |
| <b>VD</b>    |             | 25,1                     | 24,7                     |
| <b>P3</b>    |             | 24,9                     | 23,9                     |
| <b>VD2</b>   |             | 27,2                     | 26,5                     |

Elaborado por: Autores, 2019

- Índice de contaminación por pH (ICOpH)

**Tabla 12**

*Datos obtenidos para el cálculo del índice de contaminación por pH (ICOpH)*

|    | PARAMETRO | UNIDAD          | PRECIPITACIONES<br>BAJAS | PRECIPITACIONES<br>ALTAS |
|----|-----------|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| P1 | pH        | Unidad de<br>Ph | 7,7                      | 6,5                      |
| P2 |           |                 | 7,9                      | 6,7                      |
| P3 |           |                 | 7,8                      | 6,7                      |

Elaborado por: Autores, 2019

#### **APÉNDICE D** Evidencia del sistema de tratamiento de aguas residuales y Campo de filtración de molinos ROA



*Imagen 3* Evidencia del sistema de tratamiento de aguas residuales de molinos ROA. Fuente: Autores, 2019.



*Imagen 4* Evidencia del campo de filtración de molinos ROA Fuente: Autores, 2019.