

EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE CALIDAD DEL AGUA DE CAÑO  
GRANDE LOCALIZADO EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO.

JENIFER GUERRERO TRUJILLO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
VILLAVICENCIO

2018

EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE CALIDAD DEL AGUA DE CAÑO GRANDE  
LOCALIZADO EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO.

JENIFER GUERRERO TRUJILLO

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

Director

RUBÉN DARÍO CELY VELÁSQUEZ

Ingeniero Ambiental

Codirector

MIGUEL ÁNGEL GONZÁLES OCAMPO

Ingeniero Ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

VILLAVICENCIO

2018

**Autoridades Académicas**

**P. JUAN UBALDO LÓPEZ SALAMANCA, O.P**

Rector General

**P. MAURICIO ANTONIO CORTÉS GALLEGO, O.P**

Vicerrector Académico General

**P. JOSÉ ARTURO RESTREPO RESTREPO, O.P**

Rector Sede Villavicencio

**P. FERNANDO CAJICÁ GAMBOA, O.P**

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

**JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN**

Secretaria de División Sede Villavicencio

**YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRAN**

Decana de la Facultad de Ingeniería Ambiental

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN**

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

---

**RUBÉN DARÍO CELY VELÁSQUEZ**

Director Trabajo de Grado

---

**MIGUEL ÁNGEL GONZÁLES OCAMPO**

Codirector

---

**HENRY CONTRERAS LEÓN**

Jurado

---

**JUAN JOSÉ NIETO BERNAL**

Jurado

Villavicencio, julio 2018

*A mis padres quienes siempre han estado a mi  
lado brindándome su apoyo incondicional.*

### **Agradecimientos**

Le agradezco a Dios por ser mi compañía incondicional y guía a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en cada momento de debilidad y brindarme nuevas experiencias.

A mis padres Rafael y Argenis, por haberme dado la oportunidad de una excelente educación en el transcurso de mi vida y brindarme siempre una motivación constante.

Agradezco a la Universidad Santo Tomás, por brindarme la mejor formación profesional en el campo de la ingeniería ambiental.

De igual forma, un especial reconocimiento por su apoyo y orientación en el desarrollo de este proyecto de grado, al Ingeniero Rubén Darío Cely Velásquez, director del proyecto.

Al Ingeniero Ambiental Miguel Ángel Gonzales Ocampo, Codirector del proyecto de grado y director ejecutivo de FUNDACYT+I COLOMBIA, quien me brindó la oportunidad de realizar mis prácticas en la fundación.

Por último, agradezco a mi hermana y demás familiares por acompañarme en esta etapa de mi vida.

## Tabla de Contenido

|                                                                                                                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Resumen .....</b>                                                                                                                                      | <b>13</b> |
| <b>Introducción.....</b>                                                                                                                                  | <b>17</b> |
| <b>1 Planteamiento del problema.....</b>                                                                                                                  | <b>18</b> |
| 1.1 Objetivos .....                                                                                                                                       | 20        |
| 1.2 Justificación.....                                                                                                                                    | 20        |
| 1.3 Delimitación del área de estudio .....                                                                                                                | 22        |
| <b>2 Fundamentación teórica .....</b>                                                                                                                     | <b>24</b> |
| 2.1 Antecedentes .....                                                                                                                                    | 24        |
| 2.2 Marco de referencia.....                                                                                                                              | 27        |
| <b>3 Procesamiento Metodológico.....</b>                                                                                                                  | <b>38</b> |
| 3.1 Fase I. Nivel de calidad del agua en la Microcuenca, a través del uso del índice NSF. ....                                                            | 38        |
| 3.2 Fase II. Análisis de los resultados del INSF en relación con las posibles causas de alteración del recurso hídrico en las estaciones de muestreo..... | 43        |
| 3.3 Fase III. Propuestas de mejoramiento en los puntos de muestreo de Caño Grande.....                                                                    | 44        |
| <b>4 Resultados y análisis .....</b>                                                                                                                      | <b>49</b> |
| 4.1 Calidad de la microcuenca caño Grande- ÍNSF .....                                                                                                     | 49        |
| 4.2 Estadística descriptiva.....                                                                                                                          | 67        |
| <b>5 Conclusiones .....</b>                                                                                                                               | <b>89</b> |
| <b>6 Discusión .....</b>                                                                                                                                  | <b>91</b> |
| <b>7 Recomendaciones .....</b>                                                                                                                            | <b>94</b> |
| <b>8 Bibliografía .....</b>                                                                                                                               | <b>95</b> |
| <b>9 Anexos .....</b>                                                                                                                                     | <b>99</b> |

**Listado de Figuras**

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Figura 1.</i> Escala de clasificación según resultado del ICA-NSF.....                                                                        | 32 |
| <i>Figura 2.</i> Muestras llevadas a Tecnoambiental S.A. ....                                                                                    | 41 |
| <i>Figura 3.</i> Flujograma de proceso de la metodología asignada para el estudio.....                                                           | 48 |
| <i>Figura 4 .</i> Mapa de vertimientos en Caño Grande.....                                                                                       | 50 |
| <i>Figura 5.</i> Caudales registrados en el mes con alta pluviosidad (octubre) y en el mes con baja pluviosidad (diciembre) en Caño Grande ..... | 51 |
| <i>Figura 6.</i> Toma de parámetros Insitu (Temperatura, pH, TDS), con equipo multiparámetro HI98130 .....                                       | 52 |
| <i>Figura 7.</i> pH para la época de octubre y diciembre.....                                                                                    | 54 |
| <i>Figura 8.</i> Sólidos Disueltos Totales para la época de octubre y diciembre.....                                                             | 55 |
| <i>Figura 9.</i> Temperatura para la época de octubre y diciembre .....                                                                          | 56 |
| <i>Figura 10.</i> Toma de muestra compuesta en campo. ....                                                                                       | 57 |
| <i>Figura 11.</i> Demanda Bioquímica de Oxígeno para la época de octubre y diciembre .....                                                       | 59 |
| <i>Figura 12</i> Fosfatos para la época de octubre y diciembre .....                                                                             | 60 |
| <i>Figura 13.</i> Nitratos para la época de octubre y diciembre.....                                                                             | 61 |
| <i>Figura 14.</i> Coliformes Fecales para la época de octubre y diciembre.....                                                                   | 61 |
| <i>Figura 15.</i> Turbiedad para la época de octubre y diciembre .....                                                                           | 62 |
| <i>Figura 16.</i> Oxígeno Disuelto para la época de octubre y diciembre .....                                                                    | 63 |
| <i>Figura 17.</i> Tendencias según el punto de muestreo teniendo en cuenta la temporada de alta pluviosidad y baja pluviosidad.....              | 74 |
| <i>Figura 18.</i> Tendencias de los valores en teniendo en cuenta la temporada de alta pluviosidad y baja pluviosidad. ....                      | 75 |

**Listado de Tablas**

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Descripción marco legal normativo para el Decreto 2811 de 1974 .....                                                    | 32 |
| <b>Tabla 2.</b> Descripción marco legal normativo para el Decreto 1541 de 1978 .....                                                    | 34 |
| <b>Tabla 3.</b> Descripción marco legal normativo para el Decreto 1594 de 1984 .....                                                    | 34 |
| <b>Tabla 4.</b> Descripción marco legal normativo para el Decreto 3930 de 2010 .....                                                    | 35 |
| <b>Tabla 5.</b> Descripción marco legal normativo para el Decreto 1640 de 2012 .....                                                    | 36 |
| <b>Tabla 6.</b> Descripción marco legal normativo para la Resolución 0631 de 2015 .....                                                 | 37 |
| <b>Tabla 7.</b> Formato de vertimientos denominado “identificación de vertimientos al recurso hídrico de caño Grande” .....             | 38 |
| <b>Tabla 8.</b> Coordenadas de los Punto de muestreo.....                                                                               | 39 |
| <b>Tabla 9.</b> Método de lectura de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos evaluados. .                                    | 42 |
| <b>Tabla 10.</b> Estructura de la matriz de doble entrada utilizada y los respectivos criterios .....                                   | 45 |
| <b>Tabla 11.</b> Cantidad de vertimientos de aguas residuales domésticas realizadas en Caño Grande .....                                | 49 |
| <b>Tabla 12.</b> Promedio de los resultados de las variables analizadas in situ en la temporada de alta pluviosidad (octubre) .....     | 52 |
| <b>Tabla 13.</b> Promedio de los resultados de las variables analizadas in situ en la temporada de baja pluviosidad .....               | 53 |
| <b>Tabla 14.</b> Resultado de parámetros analizados en el laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S, en cada punto de muestreo. ....             | 57 |
| <b>Tabla 15.</b> Cargas contaminantes en cada punto de muestreo para la temporada de alta pluviosidad y baja pluviosidad. ....          | 64 |
| <b>Tabla 16.</b> Resultados del ÍCA NSF para punto de muestreo, la temporada climática y la clasificación según el valor obtenido ..... | 66 |
| <b>Tabla 17.</b> Estadística descriptiva aplicada a los ICA-NSF .....                                                                   | 67 |
| <b>Tabla 18.</b> Datos promediados por temporadas (Baja y alta pluviosidad).....                                                        | 70 |
| <b>Tabla 19.</b> Análisis de Varianza (Anova). Variable dependiente ICA NSF .....                                                       | 73 |
| <b>Tabla 20.</b> Ficha °1, propuesta de capacitación y sensibilización sobre el cuidado y protección de caño Grande.....                | 77 |

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 21.</b> <i>Ficha°2, Propuesta conexión al sistema de alcantarillado municipal .....</i>                                                | 79 |
| <b>Tabla 22.</b> <i>Ficha°3, propuesta educación ambiental en instituciones educativas .....</i>                                                | 81 |
| <b>Tabla 23.</b> <i>Ficha°4, Propuesta de estudio de factibilidad para la reubicación de viviendas que intervienen en la ronda hídrica.....</i> | 83 |
| <b>Tabla 24.</b> <i>Ficha°5, propuesta de Programa de monitoreo y seguimiento del recurso hídrico ..</i>                                        | 84 |
| <b>Tabla 25.</b> <i>Ficha °6, Programa para el manejo integral del recurso hídrico de la microcuenca de Caño Grande.....</i>                    | 86 |
| <b>Tabla 26.</b> <i>Ficha °7, Control en el área de expansión de asentamientos. ....</i>                                                        | 87 |

**Listado de Ecuaciones**

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Ecuación 1. Promedio geométrico ponderado .....               | 31 |
| Ecuación 2. Índice, promedio aritmético ponderado-actual..... | 31 |

**Listado de Anexos**

|                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Anexo 1</b> Ubicación de la Microcuenca Caño Grande .....                                                                                   | 99  |
| <b>Anexo 2.</b> Ubicación de los puntos de muestreo.....                                                                                       | 100 |
| <b>Anexo 3</b> Mapa de soporte ambiental de la Comuna 8 .....                                                                                  | 101 |
| <b>Anexo 4.</b> Inventario de vertimientos al recurso hídrico de caño Grande .....                                                             | 102 |
| <b>Anexo 5.</b> Mapa de vertimientos en Caño Grande.....                                                                                       | 106 |
| <b>Anexo 6.</b> Cartera de aforo Caño Grande, temporada lluviosa, PM 1 .....                                                                   | 107 |
| <b>Anexo 7.</b> Cartera de aforo Caño Grande, temporada lluviosa, PM 2 .....                                                                   | 108 |
| <b>Anexo 8.</b> Cartera de aforo Caño Grande, temporada lluviosa, PM 3 .....                                                                   | 109 |
| <b>Anexo 9.</b> Cartera de aforo Caño Grande, temporada lluviosa, PM 4 .....                                                                   | 110 |
| <b>Anexo 10.</b> Cartera de aforo Caño Grande, temporada seca, PM 1 .....                                                                      | 111 |
| <b>Anexo 11.</b> Cartera de aforo Caño Grande, temporada seca, PM 2 .....                                                                      | 112 |
| <b>Anexo 12.</b> Cartera de aforo Caño Grande, temporada seca, PM 3 .....                                                                      | 113 |
| <b>Anexo 13.</b> Cartera de aforo Caño Grande, temporada seca, PM 4.....                                                                       | 114 |
| <b>Anexo 14.</b> Resultados de T°, TDS y pH en octubre. ....                                                                                   | 115 |
| <b>Anexo 15.</b> Resultados de T°, TDS y pH en octubre. ....                                                                                   | 116 |
| <b>Anexo 16.</b> Reporte de laboratorio en temporada de alta pluviosidad PM1 para DBO, Fosfatos, Nitratos, Turbidez y Coliformes Fecales ..... | 117 |
| <b>Anexo 17.</b> Reporte de laboratorio en temporada de alta pluviosidad PM2 para DBO, Fosfatos, Nitratos, Turbidez y Coliformes Fecales ..... | 118 |
| <b>Anexo 18.</b> Reporte de laboratorio en temporada de alta pluviosidad PM3 para DBO, Fosfatos, Nitratos, Turbidez y Coliformes Fecales ..... | 119 |
| <b>Anexo 19.</b> Reporte de laboratorio en temporada de alta pluviosidad PM4 para DBO, Fosfatos, Nitratos, Turbidez y Coliformes Fecales ..... | 120 |
| <b>Anexo 20.</b> Reporte de laboratorio época de alta pluviosidad en PM1 de Oxígeno Disuelto .....                                             | 121 |
| <b>Anexo 21.</b> Reporte de laboratorio época de alta pluviosidad en PM2 de Oxígeno Disuelto .....                                             | 122 |
| <b>Anexo 22.</b> Reporte de laboratorio época de alta pluviosidad en PM3 de Oxígeno Disuelto .....                                             | 123 |
| <b>Anexo 23.</b> Reporte de laboratorio época de alta pluviosidad en PM4 de Oxígeno Disuelto .....                                             | 124 |

|                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Anexo 24.</b> Reporte de laboratorio en temporada de baja pluviosidad PM1 para DBO, Fosfatos, Nitratos, Turbidez y Coliformes Fecales ..... | 125 |
| <b>Anexo 25.</b> Reporte de laboratorio en temporada de baja pluviosidad PM2 para DBO, Fosfatos, Nitratos, Turbidez y Coliformes Fecales ..... | 126 |
| <b>Anexo 26.</b> Reporte de laboratorio en temporada de baja pluviosidad PM3 para DBO, Fosfatos, Nitratos, Turbidez y Coliformes Fecales ..... | 127 |
| <b>Anexo 27.</b> Reporte de laboratorio en temporada de baja pluviosidad PM4 para DBO, Fosfatos, Nitratos, Turbidez y Coliformes Fecales ..... | 128 |
| <b>Anexo 28.</b> Reporte de laboratorio época de baja pluviosidad en PM1 de Oxígeno Disuelto.....                                              | 129 |
| <b>Anexo 29.</b> Reporte de laboratorio época de baja pluviosidad en PM2 de Oxígeno Disuelto.....                                              | 130 |
| <b>Anexo 30.</b> Reporte de laboratorio época de baja pluviosidad en PM3 de Oxígeno Disuelto.....                                              | 131 |
| <b>Anexo 31.</b> Reporte de laboratorio época de baja pluviosidad en PM4 de Oxígeno Disuelto.....                                              | 132 |
| <b>Anexo 32.</b> Ejemplo para la ecuación del índice NSF (Resultados del muestreo PM1).....                                                    | 133 |
| <b>Anexo 33</b> Valor Qi en las curvas estandarizadas para cada parámetro .....                                                                | 134 |
| <b>Anexo 34.</b> Valor Qi en las curvas estandarizadas para cada parámetro. ....                                                               | 135 |
| <b>Anexo 35.</b> Obtención de la estimación de INSF para PM1 .....                                                                             | 136 |
| <b>Anexo 36.</b> Resultados del ICA NSF en temporada de alta pluviosidad (octubre). ....                                                       | 137 |
| <b>Anexo 37.</b> Resultados del ICA NSF en temporada de baja pluviosidad (diciembre).....                                                      | 138 |
| <b>Anexo 38.</b> Procedimientos matemáticos para la obtención del ANOVA.....                                                                   | 139 |
| <b>Anexo 39.</b> Matriz de doble entrada con información de los puntos de muestreo y el ICA. ....                                              | 143 |

### Resumen

En este proyecto se evaluó la calidad del agua de la microcuenca Caño Grande, localizado en el municipio de Villavicencio-Meta, que presenta alteraciones en el recurso a causa del vertimiento de aguas residuales domésticas, a través de la aplicación del índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (ÍNSF).

Inicialmente se realizaron visitas de campo para la recolección de información primaria e identificación de los vertimientos de aguas residuales domésticas realizadas sobre un tramo de cuatro kilómetros del afluente, en donde se obtuvieron un total de 81 descargas.

Posteriormente, se establecieron cuatro puntos de muestreo a lo largo del tramo estudiado de Caño Grande, en donde se tomaron muestras puntuales y compuestas en periodos de tiempo diferentes (octubre y diciembre) teniendo en cuenta que el mes de octubre se caracterizó por una alta pluviosidad mientras que el mes de diciembre presentó pluviosidad baja; con el fin de evaluar in situ y en laboratorio, nueve parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua (Oxígeno Disuelto, pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitratos, Fosfatos, Temperatura, Turbidez, Sólidos Disueltos y Coliformes Fecales) requeridos para aplicar el índice NSF. El resultado de estos parámetros, permitió identificar previo a la aplicación del índice, que el caño está siendo alterado por los vertimientos, en especial por la alta presencia de Coliformes Fecales con valores superiores a los 24.000 UFC en 100ml de agua, considerando que este es un indicador de contaminación fecal. Otro de los parámetros evaluados que muestra contaminación es la Turbidez, con valores de hasta 19 NTU, que dificultan los procesos de fotosíntesis en el agua. Con respecto a los demás parámetros, estos presentaron valores que se comportaban dentro de los estándares establecidos en el decreto 1594 de 1984.

Luego de obtener el índice NSF de los distintos puntos de muestreo en las dos temporadas climáticas (Alta pluviosidad y Baja pluviosidad), se determinó que la calidad del agua del afluente es buena en todos los puntos, excepto en el punto de muestreo 4 en temporada de baja pluviosidad que presentó una calidad media; se realizó un análisis a los resultados mediante un ANOVA y

diseños de bloques completos al azar, identificándose la alta influencia de las temporadas climáticas a la hora de realizar los muestreos con un **Valor -  $p=0.000 < \alpha=0.05$**  y la ubicación de los mismos con un **Valor -  $p=0.018 < \alpha=0.05$** . Por último, se realizó una matriz de doble entrada, para identificar el nivel de impacto en los cuatro puntos de muestreo, teniendo en cuenta criterios como, el ICA-NSF, la cantidad de vertimientos aguas arriba, el servicio de alcantarillado y el número de viviendas establecidas dentro de la ronda hídrica, donde todos los puntos están en situación moderada. Esto con el fin de determinar propuestas enfocadas a mejorar la calidad del agua de Caño Grande según la afectación en los puntos, teniendo en cuenta que el principal causal de degradación, son las descargas de vertimientos de aguas residuales domésticas.

**Palabras clave:** Alteración del recurso hídrico, Vertimientos domésticos, índice de calidad del agua NSF.

### Abstract

In this project the water quality of the Caño Grande micro-watershed, located in the municipality of Villavicencio-Meta, was evaluated, which shows alterations in the resource due to the discharge of domestic wastewater, through the application of the National Foundation index. of Sanitation (ÍNSF).

Initially, field visits were made to collect primary information and identify the discharges of domestic wastewater over a four-kilometer section of the tributary, where a total of 81 discharges were obtained.

Later, four sampling points were established along the studied section of Caño Grande, where punctual and composite samples were taken in different periods of time (October and December) taking into account that the month of October was characterized by a high rainfall while the month of December was low precipitation; in order to evaluate in situ and in laboratory, nine physicochemical and microbiological parameters of water (Dissolved Oxygen, pH, Biochemical Oxygen Demand, Nitrates, Phosphates, Temperature, Turbidity, Dissolved Solids and Fecal Coliforms) required to apply the NSF index. The result of these parameters, allowed to identify before the application of the index, that the pipe is being altered by the vertimientos, especially by the high presence of fecal Coliforms with values higher than 24000 CFU in 100ml of water, considering that this is an indicator of fecal contamination. Another of the parameters evaluated is the contamination with turbidity, with values of up to 19 NTU, which hinder the processes of photosynthesis in water. With respect to the other parameters, these values are presented within the standards established in decree 1594 of 1984.

After obtaining the NSF index of the different sampling points in the two climatic seasons (High rainfall and Low rainfall), where it was determined that the water quality of the tributary is good at all points, except at sampling point 4 in low rainfall season that presented an average quality; an analysis was made to the results by means of an ANOVA and designs of complete blocks at random, identifying the high influence of the climatic seasons at the time of sampling with a *p* -

**Value** = 0.000  $< \alpha = 0.05$  and the location of them with a **p - Value** = 0.018  $< \alpha = 0.05$ . Finally, a double-entry matrix was used to identify the level of impact at the four sampling points, taking into account criteria such as the ICA-NSF, the number of upstream discharges, the sewerage service and the number of dwellings established within the water round, where all the points are in a moderate situation. This in order to determine proposals focused on improving the water quality of Caño Grande according to the affectation in the points, taking into account that the main cause of the degradation of this, are the constant discharges of domestic wastewater.

**Key Words:** Alteration of water resources, Domestic discharges, NSF water quality index.

## Introducción

El agua es un recurso renovable que, en los últimos años se ha visto gravemente impactada por distintas actividades antrópicas. El uso de esta para saciar las necesidades básicas del hombre, genera constantemente aguas residuales que se descargan directamente sobre los cuerpos hídricos, en la mayoría de los casos sin pasar por un tratamiento alguno. Estas descargas ocasionan modificación en el paisaje, incrementan la cantidad de sedimentos y nutrientes en los sistemas fluviales y disminuyen la capacidad reguladora de las cuencas (Gil, 2014).

Debido al impacto negativo que se ha generado sobre este recurso y la necesidad de protegerlo, se han creado índices de calidad de agua que permiten evaluar su estado en un tiempo y espacio determinado, para así formular propuestas que mejoren su calidad. Uno de los índices más utilizados es el índice multiparámetro de Calidad de Agua “Water Quality Index”, desarrollado en 1970 por la National Sanitation Foundation (NSF) de Estados Unidos, por medio del uso de la técnica de investigación Delphi de la “Rand Corporation” dicho por Ball y Church, 1980, (Universidad de Pamplona [UNIPAMPLONA], 2009) .

Este índice se caracteriza por incluir diferentes variables que son usualmente analizadas para conocer el estado de un afluente. La frecuente utilización y aplicación de este en diferentes investigaciones, aumenta la confiabilidad de su empleo y permite contrastar los resultados obtenidos con otros estudios, logrando cuantificar el grado de contaminación de las aguas respecto a su condición general y no a contaminantes específicos. (Carrillo & Urgilés, 2016).

Por esto, la presente investigación con enfoque cualitativo y cuantitativo surge con la iniciativa de determinar propuestas que permitan mejorar la calidad y el estado actual de Caño Grande; conociendo inicialmente el nivel de degradación del afluente, a través del cálculo de este índice con la evaluación de propiedades físicas, químicas y microbiológicas y el análisis estadístico de los resultados, para así mismo definir las actividades que deben realizarse y los actores involucrados.

### **Planteamiento del problema**

Una de las problemáticas más importantes que se presentan en la actualidad a nivel internacional, está relacionada con el estado de las fuentes hídricas que proveen agua dulce a la población. La presión demográfica, el desarrollo económico, la urbanización, la industrialización y la descarga de aguas residuales domésticas sin ningún tipo de tratamiento, está causando problemáticas medio ambientales, culturales, sociales y económicos. (Organización Meteorológica Mundial, 1997)

Se resalta que los vertimientos de aguas residuales domésticas son una de las principales causas de degradación de este recurso, ya que, por ejemplo, en los países en vía de desarrollo cerca del 80% de las aguas residuales generadas, son descargadas sobre los cuerpos de agua sin atravesar algún tratamiento de descontaminación. Se estima que son alrededor de dos millones de toneladas diarias de aguas residuales las que se descargan sobre los afluentes, afectando un área de 245.000km<sup>2</sup> de los ecosistemas acuáticos, además de causar la muerte de 2,2 millones de personas cada año por problemas de salud pública, en su mayoría niños menores de cinco años (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015). Considerando lo anterior, alrededor de 300 millones de habitantes latinoamericanos producen 225.000 toneladas de aguas residuales domésticas, cerca del 10% de la producción mundial, donde menos del 10% recibe un tratamiento que disminuya las cargas contaminantes presentes, causando un grave deterioro de este recurso (Reynolds, 2002).

La falta de aplicación de tratamientos sobre las aguas residuales domésticas descargadas, ocasionan el exceso de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, disminuyen el Oxígeno Disuelto, aumentan las temperaturas normales, acidifican el agua, modifican la Turbidez y el color de los afluentes, y entre otros impactos negativos que traen consigo disminución en la fauna y flora acuática (Cárdenas, 2007) y problemas de salud pública en la población que habita en zonas aledañas a este recurso (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2018).

La carga orgánica biodegradable (DBO5) vertida a los sistemas hídricos después de tratamiento en Colombia durante el año 2012 alcanzó 756.945 t/año, que equivalen a 2.102 t/día. De este total,

la industria aporta el 28%, el sector doméstico el 69% y el sector cafetero el 3%. El 80% de la carga de DBO5 fue aportada por 55 municipios principalmente por las áreas metropolitanas y ciudades grandes del país: Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Bucaramanga, Cúcuta, Villavicencio y Manizales. (Sistema de Informacion Ambiental en Colombia [SIAC], 2012)

Considerando lo anterior, y resaltando que el municipio de Villavicencio no es ajeno a esta problemática, se realiza esta investigación, con el fin de conocer la calidad del agua del afluente Caño Grande, impactado por las descargas directas de ARD.

Dentro de las problemáticas se resalta que se tiene poca información en cuanto a la dinámica de la parte alta del afluente. Por otro lado, se identifican las descargas de ARD, la deforestación y disposición de residuos en las laderas de la zona media y baja del caño, la invasión en las rondas hídricas (Sánchez, Gutierrez, Ospina, & Díaz, 2013), en los barrios Playa Rica, Villa Lorena, Villa del río, Villa Sonia, Divino Niño, El Rubí y la presencia de lavaderos de autos que generan y vierten ilegalmente aguas residuales sin ningún tipo tratamiento, alterando la calidad del agua de Caño Grande (Sánchez, Gutierrez, Ospina, & Díaz, 2013). A esto se suma a la falta de educación ambiental y estrategias que involucren la participación de los habitantes que viven sobre la ronda hídrica de Caño Grande en el cuidado, preservación y conservación de este afluente, considerando la gran influencia que tienen sobre las condiciones de la calidad del agua, ya que por ejemplo el barrio Playa Rica, es considerado el mayor contribuyente del deterioro de este recurso por el desarrollo de actividades que contaminan directa e indirectamente el caño.

Este comportamiento en la comunidad que habita en el barrio Playa Rica, ha generado impactos negativos sobre la comunidad, ya que ignoran el efecto que generan las prácticas inadecuadas relacionadas al cuidado y protección de este caño. Por ende, se debe hacer una conversión en las actividades cotidianas de la población para mitigar estos impactos.

¿Cuál es la calidad del agua de la microcuenca Caño Grande, según el índice de la fundación nacional de saneamiento – INSF, y que propuestas pueden determinarse para mejorar la calidad del agua en la zona de estudio?

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general**

Evaluar la calidad del agua de la microcuenca Caño Grande ubicado en el municipio de Villavicencio-Meta, a través de la utilización del índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (INSF), para la determinación de propuestas enfocadas a mejorar el recurso hídrico.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Establecer la calidad del agua de la microcuenca Caño Grande, en cada uno de los puntos de muestreo distribuidos a lo largo del cauce principal, a través de la utilización del índice NSF.
- Analizar los resultados del índice NSF en relación con las posibles causas de alteración del recurso hídrico en las estaciones de muestreo establecidas en la zona de estudio.
- Determinar propuestas en los puntos de muestreo de Caño Grande que permitan llevar a cabo el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico.

## **1.2 Justificación**

En los últimos años, la concentración de la población en zonas urbanas, ha incrementado la presión sobre los recursos naturales. Lo que ha causado el aumento de problemáticas ambientales, entre las que sobresale la contaminación del recurso hídrico, originada por vertimientos de aguas residuales no tratadas, provenientes de los alcantarillados municipales (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004) y de centros habitacionales establecidos en las rondas hídricas, que no cuentan con este servicio público por lo que realizan las descargas directamente en los afluentes. Este tipo de contaminación puede transmitir enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis, teniendo en cuenta que alrededor de 159 millones de personas se abastecen de fuentes hídricas superficiales que están siendo afectadas por vertimientos directos de aguas residuales domésticas (Organización Mundial de la Salud [OMS],

2018). Esta problemática trae consigo también impactos negativos en sectores económicos, comunidades vulnerables y en aquellos ecosistemas acuáticos receptores de vertimientos en donde las cargas contaminantes superan la capacidad de asimilación de las mismas. Por tal motivo, dado a la importancia de conservar este recurso se hace imprescindible realizar estudios e investigaciones que aporten a determinar propuestas destinadas a mejorar la calidad de las fuentes hídricas.

Actualmente en el departamento del Meta existen empresas de asesoría y consultoría ambiental que prestan sus servicios para la evaluación e identificación de problemas medioambientales a terceros, al igual que la ejecución de proyectos encaminados a la preservación de los recursos naturales, siendo una de estas, la empresa de asesoría ambiental Fundacyt+i Colombia (González M., 2017).

La empresa Fundacyt+i Colombia, actualmente se encuentra realizando un diagnóstico ambiental de la microcuenca Caño Grande, en donde una de las actividades a realizar es la evaluación de la calidad del recurso hídrico, considerando que la microcuenca se caracteriza por recorrer parte de la comuna 8 perteneciente a la ciudad de Villavicencio (Alcaldía de Villavicencio, 2015); zona que presenta un problema ambiental relacionado con el deterioro de esta fuente, a causa de la descarga directa de aguas residuales domésticas no tratadas, que carecen de un permiso de vertimientos. Sumado a esto, es posible que se presente la acumulación de cargas contaminantes que sobrepasen la capacidad de asimilación para diluir y estabilizar los residuos, alcanzando un alto nivel de contaminación (Instituto Colombiano de Bienestar Familia [ICBF], 2017).

La presente investigación, entrega a Fundacyt+i Colombia la línea base para conocer la calidad del recurso hídrico y así mismo continuar con el desarrollo del diagnóstico del estado actual de la microcuenca Caño Grande.

Para esta entrega, se realizaron visitas en la fuente hídrica desde la parte alta de la microcuenca hasta su desembocadura en el río Ocoa, en donde se observó que los vertimientos de aguas residuales domésticas realizados, se incrementan en el barrio Playa Rica y se obtuvo al final del tramo de estudio un total de 81 descargas. Adicional a esto, se identifica la presencia de residuos

sólidos en las laderas del caño, acrecentando esta problemática, por el escurrimiento de lixiviados y la proliferación de vectores.

Partiendo de esta problemática, se aplica el Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF), para evaluar el estado actual del recurso, considerando sus propiedades físicas (Temperatura, Turbidez), químicas (pH, Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), Nitratos, Fosfatos y Sólidos Disueltos Totales) y microbiológicas (Coliformes Fecales) (Universidad de Pamplona [UNIPAMPLONA], 2009).

Para así, al determinar la calidad del agua de la microcuenca Caño Grande, formular una serie de propuestas, entregadas mediante un informe técnico a la autoridad ambiental de la región CORMACARENA, buscando beneficiar los habitantes de los barrios de comuna 8 entre ellos, Playa Rica, Villa del Río, Montecarlo, Catumare, Guatapé, Divino Niño y el Rubí; en pro de mejorar su calidad de vida y el estado actual de la calidad del agua de Caño Grande.

### 1.3 Delimitación del área de estudio

El área de estudio corresponde al tramo de la microcuenca Caño Grande que se localiza en el Municipio de Villavicencio, Departamento del Meta, dentro de la región Orinoquía (Alcaldía de Villavicencio, 2015), (**Ver, Anexo 1 Ubicación de la Microcuenca Caño Grande**); que comprende entre las coordenadas: Latitud: 4° 6' 25,28", Longitud: -73° 39' 56,11" y Latitud: 4° 6' 9,49", Longitud: -73° 38' 7,19" iniciando en la parte alta y terminando en la desembocadura del Río Ocoa, abarcando una distancia de 4,5 kilómetros de largo y un área aproximada de 11 km<sup>2</sup> (Sánchez, Gutierrez, Ospina, & Díaz, 2013). Este recurso hídrico fluye a través de la Comuna Ocho (Zona urbana de Villavicencio), donde viven cerca de 45.810 habitantes (Sánchez, Gutierrez, Ospina, & Díaz, 2013).

Esta microcuenca y sus tributarios, se caracterizan por estar ubicados en una zona de amenaza media y alta debido a la pendiente del terreno y la susceptibilidad Geomórfica de las laderas. Además, su dinámica fluvial origina procesos erosivos en las márgenes que causan inestabilidad y movimientos de remoción de masa. (Alcaldía de Villavicencio, 2015).

Por último, para el cumplimiento de los objetivos planteados y el desarrollo de las actividades que hicieron parte integral del cronograma, se requirió un período inicial de cinco meses (agosto-diciembre) que fue el tiempo de duración de la pasantía en la empresa FUNDACYT+I COLOMBIA y cinco meses más para la culminación de ésta investigación; comprendiendo los meses que por sus características indicaron las temporadas climáticas de la región (Octubre-Alta pluviosidad y Diciembre-Baja pluviosidad) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2010)

## **Fundamentación teórica**

### **2.1 Antecedentes**

A nivel internacional, nacional y local se han desarrollado diferentes estudios enfocados a evaluar las condiciones de la calidad del agua. De carácter internacional se tiene en cuenta una investigación realizada sobre la “Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador” (Coello, Ormaza, Déley, & Ríos, 2013). Inicialmente en esta investigación se establecieron en el río Ozogoché 6 puntos de monitoreo, en el río Pichahuiña 8 y en el río Pomacocho 4. Posterior al análisis de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los distintos puntos de monitoreo seleccionados para los tres afluentes, se calculó el ICA-NSF para determinar la calidad del agua. En los resultados obtenidos se encontró que el río Pomacocho presenta un índice de 71 y los ríos Pichahuiña y Ozogoché un índice de 83. Teniendo en cuenta que entre más alto sea el valor del índice mejor calidad tiene el agua, este comportamiento se relaciona al desarrollo de actividades antrópicas relacionadas con la agricultura y ganadería que causan esta disminución.

Otra investigación, esta vez de orden nacional, fue el informe ejecutivo realizado por la Universidad del Valle en la ciudad de Santiago de Cali en el año 2004 sobre la “Identificación de vertimientos puntuales y tomas de agua en los cauces de los ríos Meléndez, Cañavaralejo y quebradas afluentes en el perímetro urbano del municipio de Santiago de Cali” (Ordoñez & Oviedo, 2004); en este estudio se evaluó la calidad de agua a través de un programa de monitoreo, donde se analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en 12 estaciones para la posterior aplicación del ICA-NSF. Allí se obtuvo como resultado diferentes niveles de calidad de agua, ya que en la parte alta el índice señala una buena calidad, en la parte media una calidad regular y en la parte baja una mala calidad. A partir de estos resultados y la información recopilada, se elaboró un mapa de calidad de agua de los Ríos y se elaboró un plan de mejoramiento de calidad de las dos fuentes hídricas.

Otro estudio llevado a cabo en el año 2010 (Torres, Cruz, Patiño, Escobar, & Pérez, 2010), aplica los índices ICA-NSF, ICAUCA y Dinius en el río Cauca, para garantizar una evaluación integral del recurso. Esto mediante muestreos para el análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos en cinco estaciones del afluente, que permitieron aplicar los tres índices en mención, en donde se observó que el ICA-NSF es el índice más confiable y el que evidencia el creciente deterioro en la calidad del agua del río Cauca. Se determinó que ésta es regular y mala a causa de diversas actividades socioeconómicas desarrolladas en la cuenca, siendo necesario la aplicación de tratamientos de descontaminación si se desea la destinación del recurso hídrico para consumo humano.

En el 2013 se realizó un estudio sobre la aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS Y BMWP en la quebrada La Ayurá-Antioquia, Colombia (González, Caicedo, & Aguirre, 2013), donde se tomaron muestreos para el análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua, en tres puntos seleccionados. De igual forma se evaluó cualitativa y cuantitativa la presencia de macroinvertebrados acuáticos. Permitiéndoles conocer el estado de las propiedades fisicoquímicas del agua y de su comunidad biológica. Los resultados fisicoquímicos, microbiológicos y de macroinvertebrados acuáticos que permitieron obtener los índices de calidad de agua, mostraron que en la estación 1 se presenta una buena calidad de agua y en las estaciones 2 y 3 un deterioro medio, destacando que el deterioro se presenta por las actividades antrópicas existentes en los sitios de muestreo de la quebrada La Ayurá.

Otro estudio enfocado en la evaluación de la calidad del agua a partir del ICA NSF se llevó a cabo en la cuenca del río Felidia - Valle del Cauca (Gómez, 2013); ubicando tres puntos de muestro, el Pato, el Porvenir y el límite entre Felidia y Leonera, respectivamente. Obteniendo a través de la toma de muestras para el análisis físico-químico y microbiológico y la aplicación del ICA-NSF una calidad regular y buena para las dos primeras estaciones. Calidad que disminuye por la intervención humana sobre el recurso, para usos recreativos y turísticos.

Dentro de los estudios de carácter local realizado en Caño Grande y que sirvió de referente para esta investigación, fue el realizado por la Universidad Central, sobre el estado de mejoramiento del acueducto comunitario Caño Grande de Playa Rica en Villavicencio (Sánchez, Gutierrez,

Ospina, & Díaz, 2013), quienes realizaron un diagnóstico de la microcuenca Caño Grande analizando información general de diferentes componentes, como la cobertura vegetal clasificada según cartografía del IGAC de la siguiente forma: Spe (Pastos, cultivos y bosques), Ca (Herbácea densa baja) y Baa (Arboles altos). En éste mismo orden, realizaron una evaluación de calidad de agua en la parte alta de la microcuenca donde se escogieron 4 puntos de muestreo, y utilizaron un ICA construido con siete variables tomadas en campo y otras analizadas en el laboratorio de la Universidad Central; dentro de las variables tomadas fueron las siguientes: valores de pH, que varían en los puntos de muestreo entre 6,19 a 6,84; una Temperatura entre 24,06 a 24,18 °C, DBO entre 0,21 a 4,56 mgO/l; un Oxígeno Disuelto entre 7,92 a 8,18 mgO<sub>2</sub>/l y valores de Coliformes Fecales de 0 a  $1 \times 10^8$  UFC/ml. Se evidenciaron que los Valores de DBO son muy bajos dentro de los parámetros de ámbito Nacional y el OD es adecuado en la que se permite buena aireación y los Coliformes en el último punto sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en la norma. Finalmente, al concluir este diagnóstico, se construyeron procesos participativos para los usuarios del acueducto, como el uso de árbol de problemas, cartografía social, análisis DOFA y entre otros, programas de ahorro y uso eficiente del agua.

Otro estudio a nivel local, es un informe técnico realizado en Caño Grande por Tecnoambiental S.a. para el estudio de impacto ambiental de Calidad del agua y del aire para la línea base ambiental del proyecto “Segunda calzada Villavicencio – Acacías, sector Parque Fundadores (K0+000) – Ciudad Porfía (K5+000)”, se tomó como punto de muestreo para el análisis de calidad de agua, el puente de la vía principal que se dirige al municipio de Acacias ubicado sobre Caño Grande; dentro de los parámetros analizados fueron los siguientes: DBO con un valor de 5 mgO/l; Oxígeno Disuelto 7,1 mg/l; pH 7,36; Sólidos Disueltos 158 mg/l; Temperatura 27,8 Unidades, Turbidez 5,6 NTU y Coliformes Fecales 24.196 #/100ml. Posteriormente se realizó con estos parámetros el ICOMO donde Caño Grande presentó una contaminación media por materia orgánica (0,57) y en términos generales se presentó una elevada concentración de los parámetros analizados en la fuente (Grupo ODINSA S.A. & TECNO Ambiental Ltda., 2007).

Ahora bien, la Guía para el muestreo de vertimientos de aguas superficiales y subterráneas propuesta por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales [IDEAM], 2010), presenta recomendaciones sobre los puntos convenientes para realizar muestreos en un

tramo específico y plantean varios métodos de medición de caudal; se indican también los tipos de muestreos y muestras y finalmente un protocolo a seguir para el aislamiento de equipos, materiales y transporte de muestras que son requeridos en las diferentes actividades del proceso de muestreo.

En último lugar, en el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Villavicencio se establece que la Microcuenca Caño Grande tiene un largo aproximadamente de 4,7 km dentro de la zona urbana de la Comuna Ocho; un área de 9,26 km<sup>2</sup> y un perímetro de 17,72 km (Alcaldía de Villavicencio, 2015). La microcuenca presenta un abanico de piedemonte que alcanza sólo 4,5 metros de espesor visible y en la parte alta se caracteriza por ser una zona de amenaza media y alta, por la pendiente del terreno además de ser susceptible a la ocurrencia de avenidas torrenciales; se evidencia en un inventario de asentamientos que el barrio Brisas de Caño Grande presenta un área de 1.123,93 m<sup>2</sup> en condición de riesgo por avenidas torrenciales y 2.952,17 m<sup>2</sup> en condición de amenaza. Finalmente, la comuna que rodea el afluente de Caño Grande, posee un tamaño de la población que llega aproximadamente a 45.810 personas, dentro del cual el número de viviendas de asentamientos subnormales es de 826 viviendas con un total de 3.705 personas y un promedio de habitantes en cada vivienda de 4 personas (Secretaría Local de Salud, 2008).

## **2.2 Marco de referencia**

### **2.2.1 Marco teórico**

En Europa a principios del Siglo XX se obtienen los primeros estudios que determinan el daño ecológico generado por residuos domésticos e industriales, y que fueron realizados por Kolkwitz y Marsson (1908 y 1909), mediante la creación de bases del sistema saprobio que muy rápidamente fue adoptado por todo el continente, especialmente en Alemania (Díaz, 2004).

En el año de 1965, Horton propone la aplicación de un índice de calidad de agua (ICA) para estimar patrones o condiciones de contaminación acuática, y se convierte en pionero en la generación de una metodología unificada para su cálculo. Por otro lado, años más tarde, en 1970, Brown, MacClelland, Deininger y Tozer, apoyados por la National Sanitation Foundation de los Estados Unidos de Norteamérica, proponen un índice basado en la estructura del índice de Horton

(Castro, Almeila, & Ferrer, 2014). Este índice de calidad de agua “Water Quality Index” (WQI) fue desarrollado por medio del uso de la técnica de investigación Delphi de la “Rand Corporation’s”. Esta técnica es utilizada comúnmente en paneles de expertos, que para la época fueron 142. El INSF, tiene la característica de ser un índice multiparámetro, y se basó en tres estudios. (Universidad de Pamplona [UNIPAMPLONA], 2009)

En el primero, se probaron 35 variables de contaminación incluidos en el índice; expertos opinaron sobre ellos y clasificaron los mismos en tres categorías de acuerdo a si el parámetro debía ser “no incluido”, “indeciso”, “incluido”. Dentro de los incluidos debían dar una calificación de 1 a 5, de acuerdo a su mayor o menor importancia, siendo uno la calificación más significativa. Igualmente tuvieron la oportunidad de incluir más variables (Universidad de Pamplona [UNIPAMPLONA], 2009).

En un segundo estudio, se dio la evaluación comparativa de las respuestas dadas por todos los expertos, de tal manera que se modificarían si se determinaba conveniente. Como resultados de este segundo estudio, nueve fueron las variables identificadas de mayor importancia: Oxígeno Disuelto, Coliformes Fecales, pH, DBO5, Nitratos, Fosfatos, desviación de la Temperatura, Turbidez y Sólidos Disueltos Totales (Universidad de Pamplona [UNIPAMPLONA], 2009).

Finalmente, en el tercer estudio, los participantes fueron cuestionados sobre el desarrollo de una curva de valoración para cada variable. Los niveles de calidad de agua tuvieron un rango de 0 a 100 que fueron localizadas en las ordenadas y los diferentes niveles de las variables en las abscisas. Cada participante realizó la curva que pensó que representaba la variación de la calidad del agua, causada por el nivel de contaminación de las variables. Estas curvas fueron conocidas como “relaciones funcionales” o “curvas de función” (Universidad de Pamplona [UNIPAMPLONA], 2009).

En 1998, los primeros estudios del índice de contaminación del agua se desarrollaron por la industria petrolera, a partir de análisis fisicoquímicos y microbiológicos, realizados para evaluar las condiciones de los ríos en Colombia. Allí se utilizaron variables como la DBO5, Coliformes Fecales, y porcentaje de saturación de oxígeno (Castro, Almeila, & Ferrer, 2014).

Desde entonces se ha utilizado y adaptado este índice para la realización de investigaciones a nivel nacional, teniendo en cuenta las características propias de los ecosistemas a evaluar y acoplando el modelo, con el fin de obtener una evaluación de la calidad del agua confiable, que permita formular propuestas de mejoramiento eficaces para la conservación del recurso hídrico.

### **2.2.2 Marco conceptual**

En la superficie terrestre, el agua dulce puede viajar a diversas velocidades, normalmente por caminos ya establecidos que pueden cambiar lentamente a través del tiempo. Estos caminos se combinan para formar redes de arroyos y ríos en las cuencas hidrológicas, de manera que el agua fluye por gravedad desde sus fuentes hasta el mar (Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales [IDEAM], 2015). Considerando lo anterior, existen microcuencas que se consideran como pequeñas cuencas hidrográficas que presentan una red de drenaje de primer o segundo orden con un área drenada que puede ir de 1 a 100 ha. Esta es determinada por la línea divisoria de las aguas, en la que delimita los puntos desde los cuales toda el agua escurre hacia el fondo de un mismo valle, río o arroyo. Al unirse el caudal y superficie drenada de varias microcuencas, se conforman las cuencas hidrográficas de mayor tamaño (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación [FAO], 2008).

Estas escorrentías superficiales dependen de diversos factores relacionados básicamente con el clima (precipitaciones, Temperatura, etc.), el relieve, la vegetación y la geología (factor generador a su vez de los suelos en función también del clima). (Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales [IDEAM], 2015).

Sin embargo, cuando se hace mención del término calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea, por lo general se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra con unas directrices de calidad del agua o estándares (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2014).

Sin la acción humana, la calidad del agua vendría determinada por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la

lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos, y los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química del agua (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2014).

Ya que la calidad es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas o a cualquier necesidad humana o propósito, esta requiere de una valoración que puede ser entendida como la evaluación de su naturaleza física, química y biológica en relación con la calidad natural, los efectos humanos y usos posibles. (Torres, Cruz, Patiño, Escobar, & Pérez, 2010)

Una de las maneras de evaluar el deterioro de las aguas superficiales es mediante el empleo de índices de calidad del agua ICA's. Para Fernández et al. (2008) un índice de calidad del agua es una expresión simple de una combinación de un número de variables fisicoquímicas y microbiológicas. El índice puede ser representado por un número, un rango, un símbolo o un color. (González, Caicedo, & Aguirre, 2013)

Los índices que miden la contaminación y que poseen como herramienta de empleo variables fisicoquímicas, tienen a su favor que la información resultante puede ser más fácilmente interpretada que una lista de valores numéricos, pues estos, agrupan los elementos contaminantes más representativos como instrumento para determinar el deterioro de las aguas superficiales (González, Caicedo, & Aguirre, 2013).

Dentro de los parámetros evaluados se encuentran los físico-químicos que dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; lo usan para la evaluación del recurso hídrico; estos tienen una ventaja en el que poseen un método de análisis muy rápido y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia (Samboni, Carvajal, & Escobar, 2007) y los parámetros microbiológicos que se definen como los indicadores de contaminación biológica de las aguas.

Teniendo en cuenta lo anterior, hay diferentes índices que utilizan diversos parámetros para la evaluación de la calidad del agua, sin embargo, como se ha mencionado, uno de los índices de

calidad más investigados y con mayor confiabilidad es el Índice de calidad de agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) (Fundación Nacional de Saneamiento [NSF], S.f), que se define como un índice que se caracteriza por ser multiparámetro, donde hace necesario la obtención de los valores de las mediciones de los 9 parámetros (DBO, Coliformes Fecales, Nitratos, Fosfatos, pH, Temperatura, Turbiedad, Oxígeno Disuelto, Sólidos Disueltos totales).

Para el cálculo del índice NSF, establecer los pesos para los subíndices, fue una tarea crítica. Era importante que los pesos sumasen uno (1), con la atenuante de tener en cuenta las valoraciones dadas por los expertos. Para lograr eso, se calcularon promedios aritméticos de las valoraciones para todas las variables; los pesos temporales eran calculados dividiendo la importancia de cada parámetro sobre la valoración del peso de la variable de mayor importancia, es decir, el Oxígeno Disuelto. Así, los pesos temporales eran divididos individualmente entre la suma de los pesos temporales, lo que produjo los pesos finales. Estos pesos fueron: Oxígeno Disuelto, 0.17; Coliformes Fecales, 0.15; pH, 0.12; DBO5, 0.10; Nitratos, 0.10; Fosfatos, 0.1; desviación de Temperatura, 0.10; Turbiedad, 0.08; y Sólidos Disueltos Totales, 0.08.

Para calcular el índice de la calidad del agua agregado, se usa una suma lineal ponderada de los subíndices o una función de agregación del producto ponderado. El NSF usó una suma lineal ponderada. El resultado de su aplicación, debe ser un numero entre 0 y 100, donde 0 representa la calidad de agua muy mala y 100 representa la calidad de agua excelente. Esto encaja con el concepto del público general de valoraciones. La ecuación del índice fue un promedio geométrico ponderad (Universidad de Pamplona [UNIPAMPLONA], 2009): Ver ecuaciones 1 y 2.

$$WQI = \left( \prod_{i=1}^n SI_i \right)^{W_i}$$

*Ecuación 1. Promedio geométrico ponderado* Por Universidad de Pamplona, 2010.

En la actualidad el índice usa un promedio aritmético ponderado:

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i W_i$$

*Ecuación 2. Índice, promedio aritmético ponderado-actual.* Por Universidad de Pamplona, 2010.

Donde WQI: Índice de la calidad del agua

SI<sub>i</sub>: Subíndice del parámetro i

W<sub>i</sub>: Factor de ponderación para el subíndice i

El resultado final es interpretado de acuerdo con la siguiente escala de clasificación, en la que el fondo representa el color correspondiente a rango: (Ver figura 1).

|                          |
|--------------------------|
| <b>EXCELENTE: 91-100</b> |
| <b>BUENA: 71-90</b>      |
| <b>MEDIA: 51-70</b>      |
| <b>MALA: 26-50</b>       |
| <b>MUY MALA 0-25</b>     |

Figura 1. Escala de clasificación según resultado del ICA-NSF. Por Universidad de Pamplona, 2010.

### 2.2.3 Marco legal

Para el estudio “Evaluación de la calidad del agua de la Microcuenca caño grande”, se tuvo en cuenta el marco normativo sobre el recurso hídrico en Colombia.

Correspondiente al Decreto 2811 de 1974, se acogen los siguientes artículos en la tabla 1.

**Tabla 1.**

*Descripción marco legal normativo para el Decreto 2811 de 1974*

| <b>Norma</b>         | <b>Artículo</b> | <b>Descripción</b>                                               |
|----------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------|
| Decreto 2811 de 1974 | Art. 80         | Las aguas son de dominio público, inalienable e imprescriptible. |

**Tabla 1.** (Continuación)

| <b>Norma</b>         | <b>Artículo</b> | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Decreto 2811 de 1974 | Art 83          | Inciso d) Una faja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos, hasta de treinta metros de ancho;                                                                                                                           |
|                      | Art. 86         | Derecho a utilizar las aguas de dominio público para satisfacer sus necesidades elementales, siempre que con ello no cause perjuicios a terceros.                                                                                                                 |
|                      | Art. 87         | Uso de aguas de dominio privado, para consumo doméstico exclusivamente.                                                                                                                                                                                           |
|                      | Art. 134        | Corresponde al Estado garantizar la calidad del agua para consumo humano y, en general, para las demás actividades en que su uso es necesario.                                                                                                                    |
|                      | Art. 138        | Se fijarán zonas en que quede prohibido descargar, sin tratamiento previo y en cantidades y concentraciones que sobrepasen los niveles admisibles, aguas negras o residuales de fuentes industriales o domésticas, urbanas o rurales, en las aguas superficiales. |

*Nota:* Artículos del Decreto 2811 de 1974, que vinculan las normativas asociadas con la calidad del agua, descargas y demás. Adaptado de Código Nacional de los recursos naturales renovables, 1974.

Correspondiente al Decreto 1541 de 1978, se acogen los siguientes artículos en la tabla 2.

**Tabla 2.***Descripción marco legal normativo para el Decreto 1541 de 1978*

| <b>Norma</b>         | <b>Artículo</b> | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Decreto 1541 de 1978 | Art. 211        | Se prohíbe verter, sin tratamiento, residuos sólidos, líquidos o gaseosos, que puedan contaminar o eutrofizar 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. |

*Nota:* Artículos del Decreto 1541 de 1978, que vinculan las normativas asociadas con la calidad del agua, descargas y demás. Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973 Adaptado de Presidencia de la república de Colombia, 1978.

Correspondiente al Decreto 1594 de 1984, se acogen los siguientes artículos en la tabla 3.

**Tabla 3.***Descripción marco legal normativo para el Decreto 1594 de 1984*

| <b>Norma</b>         | <b>Artículo</b> | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Decreto 1594 de 1984 | Art. 39         | Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y doméstico son los que se relacionan a continuación, e indican que para su potabilización se requiere sólo desinfección:<br>Nitratos 10.0, pH 6.5 – 8.5 Unidades y Turbiedad 10 UJT. |
|                      | Art. 42         | Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto primario:<br>Coliformes Fecales 200 microorganismos/100ml, Oxígeno Disuelto 70% saturación, pH 5.0 – 9.0 Unidades                                                |

**Tabla 3.** Continuación

| <b>Norma</b>         | <b>Artículo</b> | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Decreto 1594 de 1984 | Art. 43         | Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para fines recreativos mediante contacto secundario:<br>Oxígeno Disuelto 70% saturación y pH 5.0 – 9.0 Unidades.                                                                                                                    |
|                      | Art. 45         | Los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para preservación de flora y fauna, en aguas dulces, frías o cálidas y en aguas marinas o estuarinas:<br>Oxígeno Disuelto 5.0 Agua fría dulce, 4.0 Agua calidad dulce y pH 5.5 – 9.0 Agua fría dulce, 4.5 – 9.0 Agua calidad dulce. |

*Nota:* Artículos del Decreto 1594 de 1984, por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Adaptado de Presidencia de la república de Colombia, 1984.

Correspondiente al Decreto 3930 de 2010, se acogen los siguientes artículos en la tabla 4.

**Tabla 4.**

*Descripción marco legal normativo para el Decreto 3930 de 2010*

| <b>Norma</b>         | <b>Artículo</b> | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Decreto 3930 de 2010 | Art. 24         | No se admiten vertimientos en las cabeceras de las fuentes de agua; en acuíferos; en un sector aguas arriba de las bocatomas para agua potable, en cuerpos de agua que la autoridad ambiental competente declare total o parcialmente protegidos, de acuerdo con los |

**Tabla 4.** Continuación

| <b>Norma</b>         | <b>Artículo</b> | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Decreto 3930 de 2010 | Art. 24         | artículos 70 y 137 del Decreto-ley 2811 de 1974.                                                                                                                                                                                         |
|                      | 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. |

*Nota:* Artículos del Decreto 3930 de 2010, usos del agua, residuos líquidos, vertimientos y reúso del agua. Adaptado de Presidencia de la república de Colombia, 2010.

Correspondiente al Decreto 1640 de 2012 se acogen los siguientes artículos en la tabla 5.

**Tabla 5.**

*Descripción marco legal normativo para el Decreto 1640 de 2012*

| <b>Norma</b>         | <b>Artículo</b> | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                                |
|----------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Decreto 1640 de 2012 | Art. 55         | En aquellas microcuencas que no hagan parte de un Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica, se formulará en las cuencas de nivel inferior al del nivel subsiguiente. |

*Nota:* Artículos del Decreto 1640 de 2012, Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones. Adaptado de Presidencia de la república de Colombia, 2012.

Correspondiente a la Resolución 0631 de 2015, se acogen los siguientes artículos en la tabla 6.

**Tabla 6.***Descripción marco legal normativo para la Resolución 0631 de 2015*

| <b>Norma</b>            | <b>Artículo</b> | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                 |
|-------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Resolución 0631 de 2015 | Art. 2          | La presente resolución se adopta para las aguas residuales domésticas – ARD como las procedentes de hogares, actividades industriales, comerciales o de servicios. |
|                         | Art. 8          | Parámetro con valor máximo permisible en los vertimientos puntuales de pH es 6,00 a 9,00 Unidades y Temperatura < 40°C.                                            |

*Nota:* Artículos de la Resolución 0631 de 2015, parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Adaptado del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015.

### Procesamiento Metodológico

Este proyecto investigativo con enfoque cuantitativo y cualitativo, realizado bajo la modalidad de pasantía, con el fin de realizar la evaluación de la calidad del agua en la microcuenca del afluente Caño Grande, ubicado en el Municipio de Villavicencio, para la formulación de propuestas que permitan mejorar las condiciones actuales del área de estudio, se ejecutó una metodología compuesta por tres fases que comprenden lo planteado en los objetivos.

#### 3.1 Fase I. Nivel de calidad del agua en la Microcuenca, a través del uso del índice NSF.

Para el cumplimiento de esta fase, se realizó un trabajo de campo que permitió recolectar información primaria y tomar las muestras necesarias para el análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos requeridos para calcular el índice de calidad NSF. A continuación, se presenta de forma más detalla las actividades ejecutadas:

**Actividad 1.** Se realizaron dos visitas de campo para identificar los vertimientos directos de aguas residuales domésticas, realizados sobre la fuente hídrica y se registró la información en un formato denominado: “Identificación de vertimientos al recurso hídrico caño Grande” (**Tabla 7**). También se hizo acercamiento a la comunidad y los respectivos presidentes de las juntas de acción comunal de los barrios afectados, indagando sobre esta problemática, sus causas, consecuencias y las medidas correctivas que ellos o las instituciones gubernamentales han realizado.

**Tabla 7.**

*Formato de vertimientos denominado “identificación de vertimientos al recurso hídrico de caño Grande”*

| Numero de tramo | Vertimientos | Coordenadas |       | Fecha |
|-----------------|--------------|-------------|-------|-------|
|                 |              | Norte       | Oeste |       |
|                 |              |             |       |       |

*Nota:* formato de vertimientos para la identificación de los tramos afectados en la zona de estudio. Por Guerrero, 2017.

Cabe mencionar que el tramo es definido en los formatos ya diligenciados, teniendo en cuenta donde fue identificado el vertimiento.

**Actividad 2.** Se seleccionaron los puntos de muestreo a través de un recorrido sobre el área de estudio que permitió definir los tramos más representativos. En el Anexo 2. Ubicación de los puntos de muestreo, se puede evidenciar un mapa con los puntos de muestreo.

Con base en la guía de muestreo de vertimiento y aguas superficiales del IDEAM, y las condiciones del área de estudio relacionadas con la accesibilidad y la ubicación de los vertimientos más representativos identificados a través de observación directa, se eligieron un total de cuatro (4) puntos de muestreo representativos en la microcuenca Caño Grande. A continuación, se presenta el barrio, la descripción y las coordenadas geográficas de cada punto de muestreo.

**Tabla 8.**

*Coordenadas de los Punto de muestreo*

| Puntos de muestreo | Barrio        | Descripción                                                                                      | Coordenadas |              |
|--------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|
|                    |               |                                                                                                  | Norte       | Oeste        |
| 1                  | Playa Rica    | Aguas arriba antes de iniciar la zona urbana                                                     | 4°06'29.07" | 73°40'06.1"  |
| 2                  | Villa del Río | Aguas abajo al sector del barrio playa Rica (Puente de la vía principal que se dirige a Acacías) | 4°06'22.3"  | 73°39'19.3"  |
| 3                  | Guatapé       | Aguas abajo de alcantarillado pluvial en el barrio Guatapé                                       | 4°6'3.43"   | 73°38'42.87" |
| 4                  | El Rubí       | Aguas arriba de la desembocadura de Caño Grande al Río Ocoa                                      | 4°6'11.65"  | 73°38'15.76" |

*Nota: descripción y ubicación de puntos de muestreo. Por Guerrero, 2017.*

**Actividad 3:** Se aforó el caudal del caño en los puntos de muestreo a través del método área-velocidad, en donde se determinó inicialmente la sección mojada, midiendo las profundidades y progresivas y se calculó la velocidad en cada vertical elegida a una profundidad de  $H\ 0.6m$ , con el medidor Molinete Global wáter FP 311 facilitado por la empresa Fundacyt+i Colombia. Se tomaron tres mediciones en cada punto, indicando mínimo, máximo y promedio del caudal. El tiempo de medición en cada punto fue de  $\Delta t = 60$  segundos. Finalmente, se diligenciaron los formatos de aforos con los resultados obtenidos y se graficó el corte transversal en los puntos de muestreo para cada una de las temporadas climáticas, esto con el fin de relacionar el flujo con la calidad del agua.

**Actividad 4.** Se seleccionaron para los análisis dos tipos de muestreo: simple y compuesto. Las muestras simples permitieron obtener los valores in-situ de tres parámetros (pH, Temperatura y Sólidos Disueltos), a través de la utilización del equipo multiparámetro HI98130 facilitado por el laboratorio de la Universidad Santo Tomás. Por otro lado, para las muestras compuestas se tomaron muestras puntuales cada 60 minutos, a partir de las 10:30am hasta las 2:30pm (periodo de tiempo escogido, por el bajo riesgo en la zona y sus condiciones sociales), para un total de diez y seis (16) alícuotas, tomadas en los cuatro (4) puntos de muestreo de forma simultánea. Cada alícuota fue recolectada en frascos de boca ancha y se rotularon con los datos característicos del momento en que fue tomada.

Posteriormente, se realizó la mezcla de las muestras puntuales tomadas en cada uno de los cuatro (4) puntos de muestreo y se combinaron en volúmenes proporcionales al caudal registrado. Finalmente, una vez obtenida la muestra compuesta, se sellaron los recipientes y se rotularon con la siguiente información: Número de muestra y hora de muestreo. Esto para un total de una muestra por cada uno de los cuatro puntos, en los dos meses establecidos.

En las hojas de campo entregadas por el laboratorio Tecnoambiental, se registraron las observaciones pertinentes al muestreo, incluyéndose lo siguiente: Localización del punto de muestreo, tipo de muestra, fecha y hora de recolección.

Una vez concluido el proceso de toma y rotulación de muestras (ver figura 2); estas se refrigeraron en una caja enfriadora termoplástica para transportarlas y entregarlas al laboratorio y dar inicio a su respectivo análisis. Los parámetros evaluados en el laboratorio corresponden a: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Turbidez, Oxígeno Disuelto (OD), Nitratos, Fosfatos y Coliformes Fecales.



*Figura 2.* Muestras llevadas a Tecnoambiental S.A. Por Guerrero, 2017.

Las muestras se tomaron teniendo en cuenta el régimen monomodal de la región con apoyo del atlas climatológico de Colombia, donde se verifica la distribución de precipitación promedio decadal para Villavicencio desde el año 1981 y se establece que los meses pertenecientes a temporada de baja pluviosidad son enero, febrero, marzo y diciembre con precipitaciones acumuladas que se encuentran por debajo de los 70 mm de  $H_2O$ ; y los meses para la temporada de alta pluviosidad registrados son abril, mayo, junio, agosto, octubre y noviembre, durante los cuales los niveles de precipitación acumulada superan los 150 mm de  $H_2O$  (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2010). Considerando lo anterior, se elige el día 24 del mes de octubre de 2017 para representar la temporada de alta pluviosidad y el día 12 del mes de diciembre de 2017 para la temporada de baja pluviosidad. En la siguiente tabla se describen los parámetros evaluados y su forma de análisis.

**Tabla 9.**

*Método de lectura de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos evaluados.*

| Parámetro                    | Unidades     | Método                           | Tipo de análisis |
|------------------------------|--------------|----------------------------------|------------------|
| Oxígeno disuelto             | % Saturación | SM 4500 O C                      | Laboratorio      |
| Coliformes                   | # / 100 ml   | SM 9223B                         | Laboratorio      |
| Ph                           | Unidades     | Equipo Multiparámetro<br>HI98130 | In-Situ          |
| DBO                          | Mg/L         | SM 5210 B SM4500 O G             | Laboratorio      |
| Cambio de T°                 | °C           | Equipo Multiparámetro            | In-Situ          |
| Fosfatos                     | Mg/L         | SM 4500 P D                      | Laboratorio      |
| Nitratos                     | Mg/L         | SM 4500 NO3B                     | Laboratorio      |
| Turbidez                     | NTU          | SM 2130 B                        | Laboratorio      |
| Sólidos Disueltos<br>Totales | Mg/L         | Equipo Multiparámetro<br>HI98130 | In-Situ          |

*Nota: descripción, método de lectura de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos analizados. Por Guerrero, 2017.*

**Actividad 5.** Previo al cálculo del índice, se determina la carga de cada uno de los contaminantes, teniendo en cuenta los caudales y las concentraciones arrojadas para cada uno de estos.

**Actividad 6.** Para calcular el índice NSF de cada punto de muestreo, se utilizaron los valores obtenidos de los parámetros físicos, químicos y biológicos y se realizó un corrido por el modelo que describe el índice de calidad del agua NSF, donde se obtuvieron los índices para los cuatro puntos de muestreo en las dos temporadas climáticas permitiendo así, clasificar la información con los rangos cualitativos establecidos. Ver ecuaciones 1 y 2.

Posteriormente se realizaron dos mapas temáticos uno para temporada de alta pluviosidad y otro para temporada de baja pluviosidad, indicando el resultado del valor obtenido en el índice NSF para los cuatro puntos de muestreo.

### **3.2 Fase II. Análisis de los resultados del NSF en relación con las posibles causas de alteración del recurso hídrico en las estaciones de muestreo**

Teniendo en cuenta la información recolectada a través de las visitas de campo, la identificación de los vertimientos aguas arriba de los puntos de muestreo y los resultados del índice NSF obtenidos para cada punto en las dos temporadas climáticas, se procedió a lo siguiente:

**Actividad 1.** Se analizaron los índices obtenidos para cada punto muestreado, en donde inicialmente se le asigna el nombre de variable principal al ICA-NSF, para la aplicación de medidas estadísticas descriptivas, como la media, dispersión, simetría y pruebas de normalidad, que permitan realizar procedimientos posteriores con certeza de cumplimientos de supuestos.

**Actividad 2.** Se realizó un análisis de varianza, ANOVA, que es un método muy flexible que permite construir modelos estadísticos para el análisis de los datos experimentales cuyo valor ha sido constatado en muy diversas circunstancias. Básicamente es un procedimiento que permitió dividir la varianza de la variable dependiente en dos o más componentes, cada uno de los cuales puede ser atribuido a una fuente (variable o factor) identificable (Tamayo, 2009).

**Actividad 3.** Se estudió la variabilidad del índice mediante un diseño de bloques completos al azar (BDCA), teniendo en cuenta dos factores que podrían influir en la variabilidad del índice de calidad del agua: 1.) La influencia de la temporada en que se tomó la muestra (Alta pluviosidad y baja pluviosidad) y 2.) La ubicación de los puntos de muestreo. Todos los análisis estadísticos fueron realizados en el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), que es un software amplio y flexible de análisis estadístico y gestión de información que capaz de trabajar con datos procedentes de distintos formatos generando, desde sencillos gráficos de distribuciones y estadísticos descriptivos hasta análisis estadísticos complejos que permite descubrir relaciones de dependencia e interdependencia, establecer clasificaciones de sujetos y variables, predecir comportamientos, etc.; (Universidad Autónoma De Madrid [UAM], 2009)., con un nivel de significancia de  $P \geq 0.05$ .

### 3.3 Fase III. Propuestas de mejoramiento en los puntos de muestreo de Caño Grande.

**Actividad 1.** Se recolecta información primaria a través de visitas realizadas directamente en los puntos de muestro seleccionados, en donde se indaga a algunos habitantes y a los presidentes de las juntas de acción comunal sobre la situación actual del afluente para identificar así la factibilidad y dirección de las propuestas.

**Actividad 2.** Se analiza la información presente en el mapa temático “Sistema de Soporte Ambiental Urbano” de la Comuna 8, zona de estudio” (Ver, *Anexo 3*), facilitado por la alcaldía de Villavicencio, que permitió identificar las casas ubicadas dentro de la ronda hídrica y se relaciona con la información obtenida del inventario de vertimientos de aguas residuales domésticas realizadas en Caño Grande y con el resultado de los ICA NSF de cada punto de muestreo.

**Actividad 3.** Con la información recolectada se elaboró una matriz de doble entrada, que permite determinar las propuestas según el nivel de importancia, para el punto de muestreo que lo requiera. Esta matriz está compuesta por filas que corresponden a los resultados cualitativos y cuantitativos de los puntos de muestro, y por columnas que contienen los criterios establecidos para la respectiva evaluación. Considerando esto último, los criterios seleccionados fueron los siguientes: localización, valor del INSF, cantidad de vertimientos aguas arriba del punto de muestreo, servicio de alcantarillado y viviendas construidas dentro de la ronda hídrica del caño.

Se asignaron a los criterios establecidos en la matriz, un porcentaje de importancia a consideración propia de la investigadora, sobre un 100%, dando como resultado para su calificación lo siguiente: Ubicación (10%), ICA-NSF (20%), cantidad de vertimientos aguas arriba del punto de muestreo (40%), servicio de alcantarillado (10%) y por último para las viviendas construidas dentro de la ronda hídrica (20%) para un total de 100%. La tabla 10 presenta de manera detallada el formato de la matriz de doble entrada utilizada que permitió orientar las propuestas al mejoramiento de la calidad del agua:

**Tabla 10.***Estructura de la matriz de doble entrada utilizada y los respectivos criterios*

| PM* | Localización<br>(10%) | ICA<br>NSF<br>(20%) | Cantidad de<br>vertimientos<br>aguas<br>arriba del<br>PM (40%) | Servicio de<br>Alcantarillado<br>(10%) | Viviendas<br>dentro de<br>la ronda<br>hídrica<br>(20%) | Valor<br>Total | Clase<br>de<br>impacto |
|-----|-----------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------|------------------------|
| 1   |                       |                     |                                                                |                                        |                                                        |                |                        |
| 2   |                       |                     |                                                                |                                        |                                                        |                |                        |
| 3   |                       |                     |                                                                |                                        |                                                        |                |                        |
| 4   |                       |                     |                                                                |                                        |                                                        |                |                        |

*Nota:* \*PM: Punto de muestreo. Por Guerrero, 2018.

La calificación de cada criterio se ajusta bajo las siguientes condiciones:

**Ubicación:** Área afectada por un impacto específico

- Baja (1): Cuando el impacto es puntual, generalmente muy localizado, que no se extienden más allá de donde se produce o que no va más allá de los límites del área afectada.
- Media (2): Cuando el impacto es local, este se extiende más allá del punto donde se presenta la acción y afecta la localidad, vereda, casco urbano o municipio.
- Alto (3): Cuando es regional y afecta otras poblaciones.

**ICA- NSF:** Se refiere al índice de calidad del agua obtenido en cada punto de muestreo tanto en la época de Alta pluviosidad y baja pluviosidad:

- Bajo (1): Si el resultado del índice es de 70 a 100.
- Media (2): Si el resultado del índice es <70 a 35.
- Alto (3): Si el resultado del índice es de <35 a 0.

**Cantidad de vertimientos aguas arriba del PM:** Se refiere a la cantidad de vertimientos realizados aguas arriba de cada punto de muestreo:

- Baja (1): Si la cantidad de vertimientos corresponde de 0-15.
- Media (2): Si la cantidad de vertimientos corresponde >15-30.
- Alta (3): Si la cantidad de vertimientos corresponde >30-50.

**Servicio de alcantarillado:** Hace referencia al acceso a este servicio público por parte de la comunidad aledaña al punto de muestreo:

- Baja (1): La comunidad aledaña al punto de muestreo si cuenta con servicio de alcantarillado.
- Media (2): Se denomina parcialmente, cuando la mitad de la comunidad afectada cuenta con el servicio de alcantarillado.
- Alta (3): La comunidad aledaña al punto no cuenta con servicio de alcantarillado.

**Viviendas dentro de la ronda hídrica:** Se refiere a la cantidad de viviendas que se encuentran dentro de la ronda hídrica, teniendo como referencia el artículo 83 del decreto ley 2811 de 1974 “Una faja paralela a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de río y lago, hasta de treinta metros de ancho; y se califica de la siguiente forma:

- Baja (1): Si la cantidad de viviendas dentro de la ronda está en un rango de 0-40 casas.
- Media (2): Si la cantidad de viviendas dentro de la ronda está en un rango >40-90 casas.
- Alta (3): Si la cantidad de viviendas dentro de la ronda está en un rango >90-150 casas.

**Valoración total:** Es la suma algebraica del valor de las celdas de cada criterio y se define dependiendo lo siguiente:

- Si es <1: El manejo recomendado es control y prevención.
- Si el valor se acerca es >1 hasta 2: Las propuestas deben ir dirigidas al manejo de medidas de control, prevención y mitigación.

- Si el valor se acerca es  $>2$  hasta 3: Las propuestas deben ir dirigidas al manejo de medidas de control, prevención, mitigación y la compensación.

En la determinación de los impactos acorde al valor total obtenido en la matriz anterior para cada punto de muestreo, se tienen en cuenta tres clases, establecidas en la jerarquización de importancia de los impactos ambientales que se encuentran en la metodología de Vicente Conesa Fernández (2010), en donde se encuentran estas clases y tramas:

- **Compatible:** El impacto será **compatible** si su valoración es  $<1$ , donde el impacto generalmente es puntual, de baja intensidad, reversible en el corto plazo. El manejo recomendado es control y prevención. Esta clase de impacto tiene una trama **verde**.
- **Moderado:** El impacto será **moderado** si su valoración es  $>1$  hasta 2, donde el impacto es de intensidad media, reversible en el mediano plazo y recuperable en el mismo plazo. El manejo de medidas es control, prevención y mitigación. Esta clase de impacto tiene una trama **amarilla**.
- **Crítico:** El impacto será **crítico** si su valoración es  $>2$  hasta 3, donde el impacto es de intensidad alta, reversible en el mediano plazo. El manejo de medidas es control, prevención, mitigación y la compensación. Esta clase de impacto tiene una trama **roja**.

**Actividad 4.** Se determinaron las propuestas teniendo en cuenta el resultado de la matriz de doble entrada, enfocándolas según la clase de impacto generado en los puntos de muestreo localizados en Caño Grande.

La figura 3, a continuación, describe la metodología asignada para el estudio mediante un diagrama de flujo:

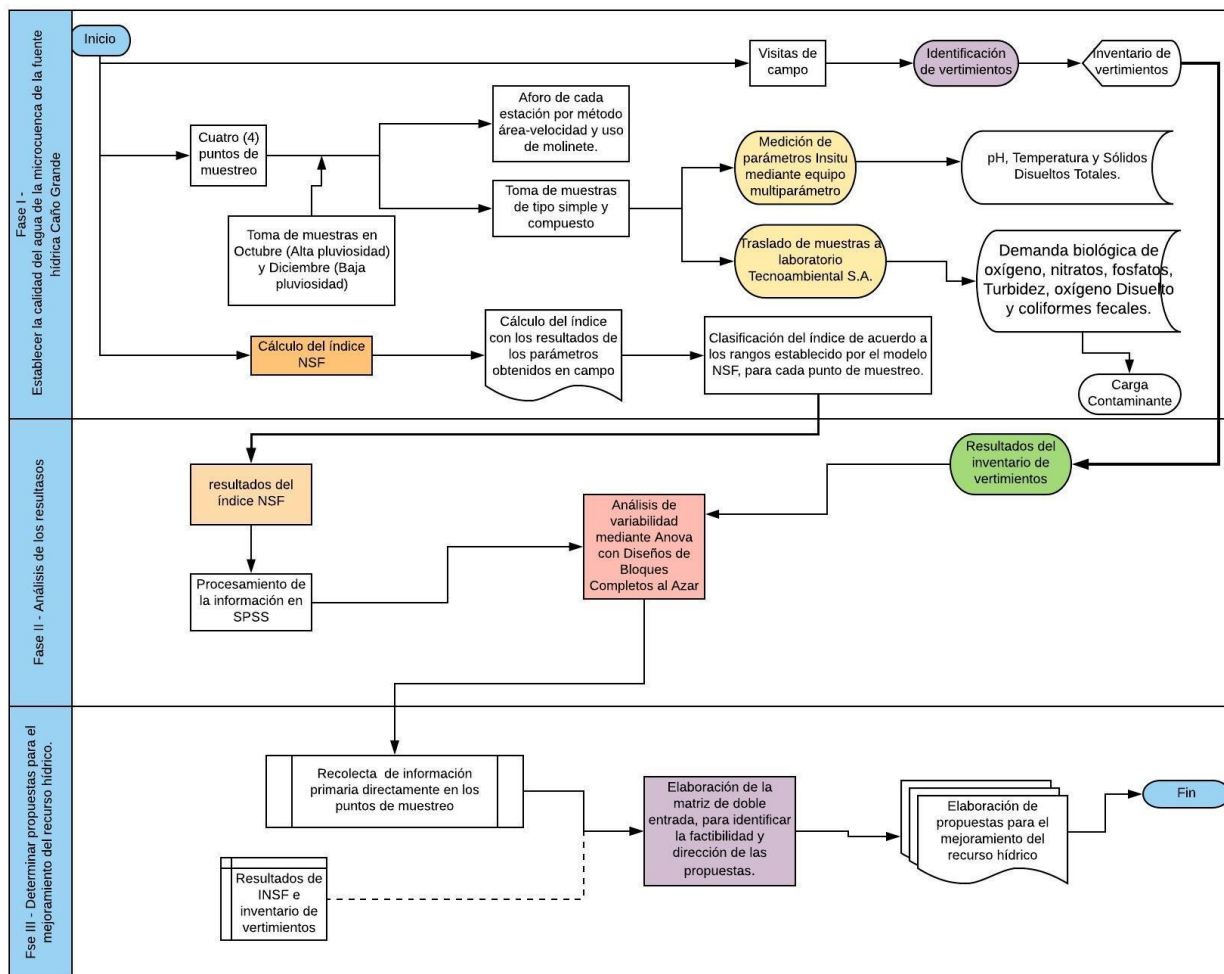


Figura 3. Flujograma de proceso de la metodología asignada para el estudio. Por Guerrero, 2018.

## Resultados y análisis

Atendiendo al objetivo general de esta investigación y considerando los objetivos específicos planteados, en este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de cada una de las fases expuestas en la metodología.

### 4.1 Calidad de la microcuenca caño Grande- ÍNSF

#### 4.1.1 Identificación de los vertimientos de aguas residuales domésticas sobre la fuente hídrica.

En el recorrido realizado en el área comprendida entre los cuatro puntos de muestreo seleccionados para esta investigación, se identificaron 81 vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas (Ver, **Anexo 4**); en la siguiente tabla se presenta la cantidad de vertimientos registrados en cada uno de los tramos y su ubicación.

**Tabla 11.**

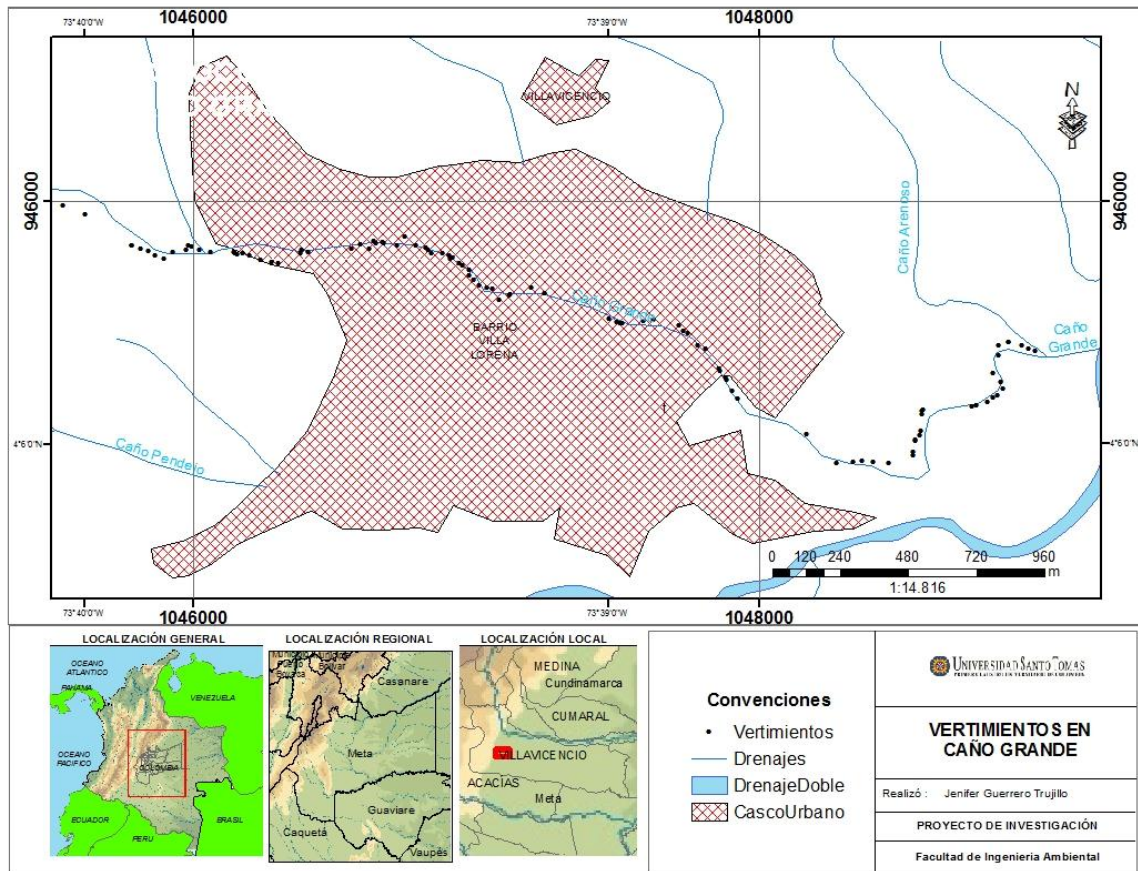
*Cantidad de vertimientos de aguas residuales domésticas realizadas en Caño Grande*

| PM    | UBICACIÓN     | CANTIDAD |
|-------|---------------|----------|
| 1     | Playa rica    | 2        |
| 2     | Villa del Río | 41       |
| 3     | Guatapé       | 25       |
| 4     | El Rubí       | 13       |
| TOTAL |               | 81       |

*Nota:* Número de vertimientos de aguas residuales domésticas en Caño Grande, de acuerdo al barrio de procedencia. Por Guerrero, 2017.

En la siguiente figura se observa un mapa espacio-temporal obtenido a través de ArcGIS versión 10.3, en donde se ubican las descargas de aguas residuales domésticas realizadas en el afluente

(punto negro), algunos drenajes, el río Ocoa y el sector urbano aledaño a Caño Grande como los barrios Playa Rica, Villa del Río, Montecarlo. Por otro lado, en el **Anexo 5** se evidencia el mapa de vertimientos en el tramo de estudio.



**Figura 4 .** Mapa de vertimientos en Caño Grande Por Guerrero, 2018

En el inventario de vertimientos se obtuvo que el tramo que comprende desde el barrio Playa Rica hasta el barrio Villa del río, es el tramo más impactado por la cantidad de descargas realizadas a Caño Grande con un total de 41 vertimientos.

#### 4.1.2 Medición de caudales

Los caudales se obtuvieron a través del diligenciamiento de los formatos de aforos para cada punto de muestreo, donde cada valor obtenido en campo se encuentra evidenciado del **Anexo 6** al **Anexo**

13, a continuación, se puede evidenciar gráficamente los resultados obtenidos para cada temporalidad en los diferentes puntos de muestreo:

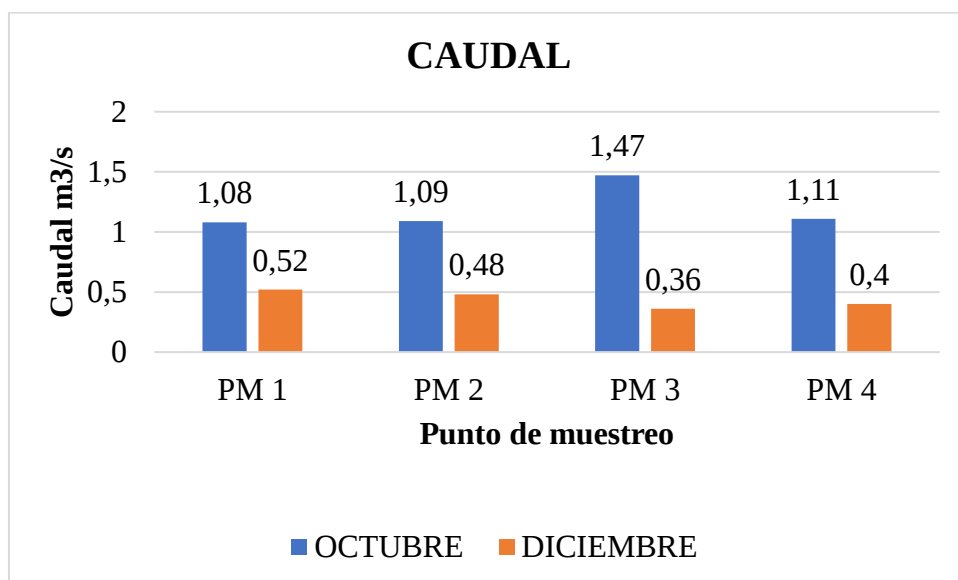


Figura 5. Caudales registrados en el mes con alta pluviosidad (octubre) y en el mes con baja pluviosidad (diciembre) en Caño Grande. Por Guerrero, 2018

Teniendo en cuenta la Figura 5, el caudal máximo registrado se presentó en el mes de octubre, caracterizado por la alta pluviosidad con un valor de 1,47 m³/s en el punto de muestreo 3, así mismo el valor mínimo de caudal se registró en el mes de diciembre caracterizado por una baja pluviosidad con un valor de 0,36 m³/s en el mismo punto.

Contrastando los datos obtenidos de los caudales de acuerdo a las dos temporalidades, se identifica que el caudal en el mes de diciembre es aproximadamente la mitad del valor obtenido para el mes de octubre, descenso presentado por la escasez generalizada del recurso hídrico a causa de la baja presencia de precipitaciones, mientras que en épocas de lluvia se presenta el efecto contrario y el afluente incrementa su caudal.

### 4.1.3 Resultados en las mediciones in situ de pH, Temperatura y TDS

En la toma de muestras se logró obtener los valores de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en los cuatro puntos de muestreo, a continuación, se observa inicialmente el registro de los datos de las variables medidas in-situ a través del equipo multiparámetro.



Figura 6. Toma de parámetros Insitu (Temperatura, pH, TDS), con equipo multiparámetro HI98130. Por Guerrero, 2017

Seguidamente, se exponen en la tabla 12 los promedios obtenidos de las variables estudiadas in-situ, en cada punto de muestreo para la temporada de alta pluviosidad (octubre) y los resultados completos obtenidos en campo de cada parámetro In Situ se podrán evidenciar en el **Anexo 14** y **Anexo 15**.

**Tabla 12.**

Promedio de los resultados de las variables analizadas in situ en la temporada de alta pluviosidad (octubre)

| <b>Parámetros<br/>Octubre</b> | <b>Promedio PM*1</b> | <b>Promedio PM2</b> | <b>Promedio PM3</b> | <b>Promedio PM4</b> |
|-------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| pH (Unidades)                 | 6,83                 | 6,97                | 6,85                | 6,785               |
| TDS (mg/l)                    | 91,5                 | 89,75               | 92                  | 95,75               |
| Temperatura (°C)              | 23,85                | 25,075              | 25,225              | 25,9                |

Nota: PM\*: punto de muestreo. Promedio de los valores registrados *in-situ*-alta pluviosidad. Por Guerrero, 2017.

Posteriormente, se exponen los promedios obtenidos de las variables estudiadas in-situ, en cada punto de muestreo para la temporada de baja pluviosidad (diciembre).

**Tabla 13.**

*Promedio de los resultados de las variables analizadas in situ en la temporada de baja pluviosidad*

| <b>Parámetros</b> | <b>Promedio</b> | <b>Promedio</b> | <b>Promedio</b> | <b>Promedio</b> |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Diciembre</b>  | <b>PM* 1</b>    | <b>PM 2</b>     | <b>PM 3</b>     | <b>PM 4</b>     |
| pH (Unidades)     | 6,14            | 6,3175          | 5,99            | 5,86            |
| TDS (mg/l)        | 121             | 118,75          | 123             | 126,75          |
| Temperatura (°C)  | 22,65           | 23,8            | 24,475          | 25,525          |

*Nota:* PM\*: punto de muestreo. Promedio de los valores registrados *in-situ*-baja pluviosidad. Por Guerrero, 2017.

Considerando los resultados anteriores de las variables registradas in situ, se observan variaciones en el comportamiento del pH, Temperatura y Sólidos Disueltos Totales respecto a la temporada climática, a continuación, se evidencian estos resultados gráficamente para cada parámetro:

Inicialmente la concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de calidad de las aguas naturales, el intervalo de concentración adecuado para la proliferación y desarrollo de la vida acuática es bastante estrecho y crítico, la mayoría de animales acuáticos prefieren un rango de 6.5 - 8.0 (Corporación Autónoma Regional del Tolima [CORTOLIMA], 2016), fuera de este rango se reduce la diversidad por estrés fisiológico, así como la reproducción, sin embargo en decreto 1594 de 1984 en el artículo 39 se establece un rango entre 6,5 a 8,5.

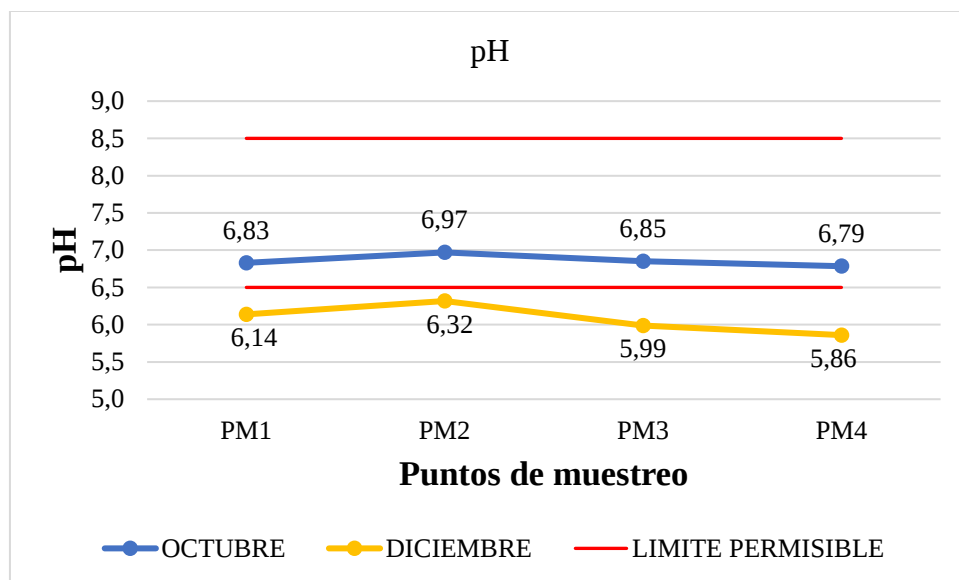


Figura 7. pH para la época de octubre y diciembre Por Guerrero, 2018

Teniendo en cuenta lo anterior y los valores obtenidos en los cuatro puntos de muestreo; en la temporada de alta pluviosidad, los datos están dentro del rango establecido en la resolución y permiten un óptimo desarrollo de la biota acuática; el valor mínimo registrado fue de 6,785 en el punto 4 (parte baja del caño) y el máximo fue 6,97 en el punto 2 (parte media del caño), valores que a su vez están muy cerca a la neutralidad según la escala del pH.

Sin embargo, se identificó que, en la temporada de baja pluviosidad el comportamiento de esta variable es diferente, a causa de que ninguno de los puntos cumple con lo estandarizado en la norma y tampoco está dentro del rango recomendado para el desarrollo de la vida en el agua. Este comportamiento puede ser producto de la localización de los puntos de muestreo, que al ubicarse en la parte media y baja del área de estudio, el afluente ya lleva en su recorrido un número determinado de descargas de aguas residuales, que sumadas a las realizadas en estos puntos alteran con un caudal más bajo por la baja pluviosidad, alteran este parámetro.

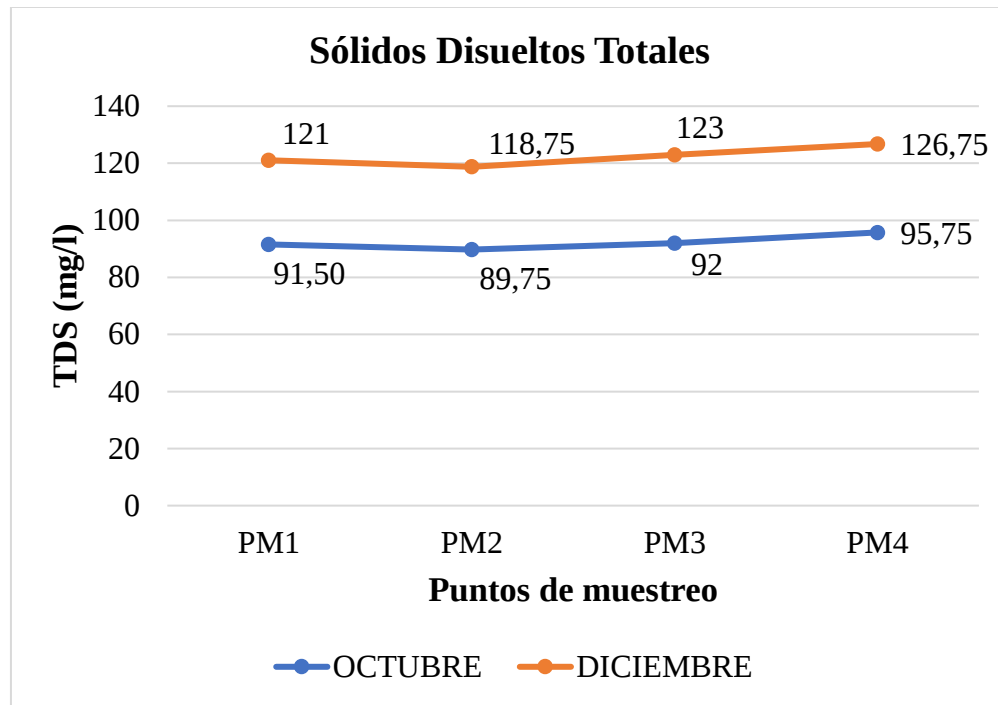


Figura 8. Sólidos Disueltos Totales para la época de octubre y diciembre. Por Guerrero, 2018

Se identifica en la Figura 8, que los valores más bajos se dan en la temporada de alta pluviosidad un rango entre 89,75 mg/l hasta 95,75 mg/l mientras que en la temporada de baja pluviosidad se incrementan estos valores presentándose en un rango 118,75 mg/l hasta 126,75 mg/l, comportamiento que puede deberse al incremento en el caudal en temporada de alta pluviosidad por las constantes precipitaciones disminuyendo la cantidad de Sólidos Disueltos Totales, sin embargo, teniendo en cuenta que el promedio de Sólidos Disueltos Totales para los ríos de todo el mundo ha sido estimado en alrededor de 120 ppm (Livingstone, 1963) solo el punto 4 estaría sobrepasando este límite.

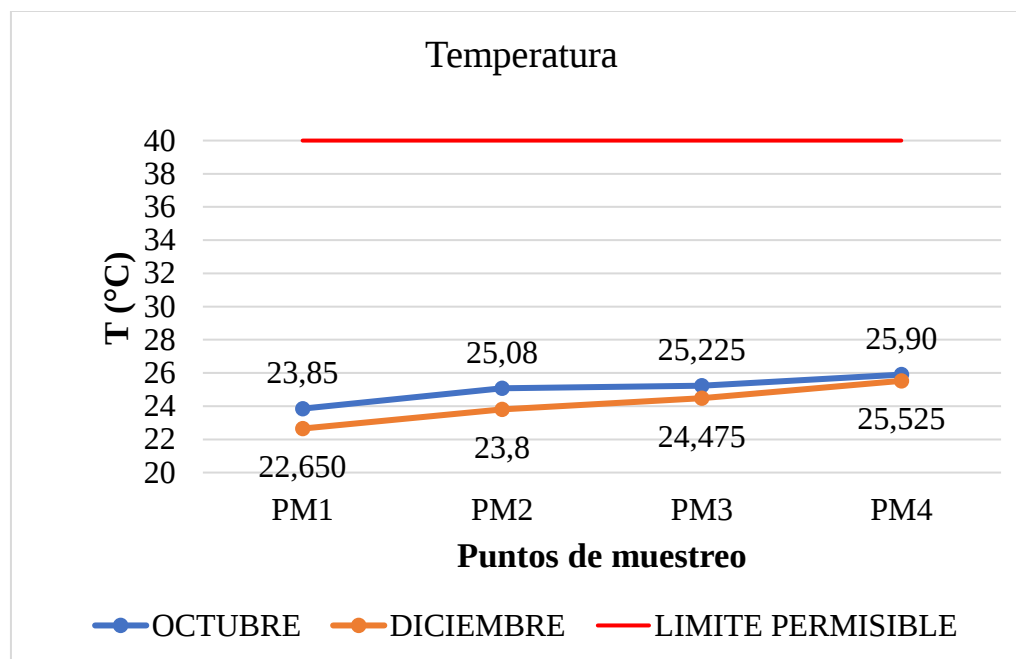


Figura 9. Temperatura para la época de octubre y diciembre. Por Guerrero, 2018

Por último, como se observa en la Figura 9, la Temperatura registra datos entre 22,65 °C a 25,9 °C cumple con el valor límite máximo permisible <40°C según el decreto 1594 de 1984 y no presenta variaciones de consideración en los puntos de muestreo y en temporadas climáticas. Comportamiento favorable para la calidad del agua ya que la Temperatura afecta a la cantidad de oxígeno que puede transportar el agua. El agua a menor Temperatura transporta más oxígeno y todos los animales acuáticos necesitan este para sobrevivir. También influye en la fotosíntesis de plantas y algas, y la sensibilidad de los organismos frente a los residuos tóxicos (Universidad Complutense, 2015).

#### 4.1.4 Toma de muestra y etapa de laboratorio

Bajo la Norma técnica colombiana NTC-ISO 5667-3 se tomaron las muestras compuestas (Figura 10), con alícuotas cada 60 minutos, a partir de las 10:30 a.m. hasta las 2:30 P.m.; para un total de Diez y seis (16) alícuotas el tramo de estudio de Caño Grande, que fueron trasladadas con los requisitos necesarios para su conservación hasta el laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S.



Figura 10. Toma de muestra compuesta en campo. Por Guerrero, 2018

4.1.5 Resultados de las muestras compuestas

Los resultados de los análisis reportados por el laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S, se evidencian del **Anexo 16** al **Anexo 31**, lo anterior para las dos temporadas climáticas se presentan a continuación:

Tabla 14.

Resultado de parámetros analizados en el laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S, en cada punto de muestreo.

| Parámetros     | Unidades | 1 PM* |      | 2 PM |      | 3 PM |      | 4 PM |      |
|----------------|----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| fisicoquímicos |          | Oct   | Dic. | Oct  | Dic. | Oct  | Dic. | Oct  | Dic. |
| DBO            | mg/L     | 2     | 1    | 3    | 2,5  | 3    | 2,3  | 3    | 2,9  |
| FOSFATOS       | mg/L     | 0,0   | 0,01 | 0,0  | 0,17 | 0,0  | 0,11 | 0,0  | 0,08 |
|                |          | 02    |      | 02   |      | 02   |      | 02   |      |

**Tabla 14.** (Continuación)

| Parámetros<br>fisicoquímicos | Unidades | 1 PM*     |      | 2 PM      |      | 3 PM      |      | 4 PM |      |
|------------------------------|----------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|------|------|
|                              |          | Oct       | Dic. | Oct       | Dic. | Oct       | Dic. | Oct  | Dic. |
| NITRATOS                     | mg/L     | 0,0<br>05 | 0,05 | 0,0<br>43 | 0,01 | 0,0<br>64 | 0,08 | 0,9  | 0,09 |
| TURBIEDAD                    | NTU      | 2,3       | 19   | 2         | 11   | 2,2       | 5,6  | 1,7  | 4,7  |
| COLIFORMES                   | #/100ml  | 2.4       | 24.1 | 2.4       | 24.1 | 2.4       | 24.1 | 4.8  | 24.1 |
| FECALES                      |          | 20        | 96   | 20        | 96   | 20        | 96   | 39   | 96   |
| OXÍGENO                      | % SAT.   | 89,       | 85,1 | 88,       | 92   | 81,       | 91   | 80,  | 78,1 |
| DISUELTO                     |          | 8         |      | 4         |      | 6         |      | 2    |      |
|                              | mg/L     | 7,6       | 7,38 | 7,4       | 8    | 6,8       | 7,7  | 6,6  | 6,5  |
| 4                            |          |           |      |           |      |           |      |      |      |

*Nota:* PM\*: punto de muestreo. Promedio de los valores registrados *in-situ*-alta pluviosidad. Adaptado de TECNOAMBIENTAL S.A.S., 2017.

En los resultados presentados en la **Tabla 14**, la DBO como parámetro que determina la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente y los Fosfatos y Nitratos que son nutrientes de las plantas; debido a sus bajos valores, permiten que se presente un alto contenido de Oxígeno Disuelto en ambas temporadas en los cuatro puntos de muestreo, que es de vital importancia para el desarrollo de la vida acuática y así mismo evidencia que el cuerpo de agua presenta una buena asimilación de la carga contaminante. Por último, los Coliformes Fecales, como indicador de contaminación, presentan valores bastante altos, presentando mayor cantidad en temporada de baja pluviosidad que en temporada de alta pluviosidad, teniendo en cuenta que las precipitaciones influyen significativamente en la reducción de estos (Gamboa, Gómez, Cárdenas, & Campos, 2006).

A continuación, se evidencian estos resultados gráficamente para cada parámetro en las dos épocas de toma de muestras:

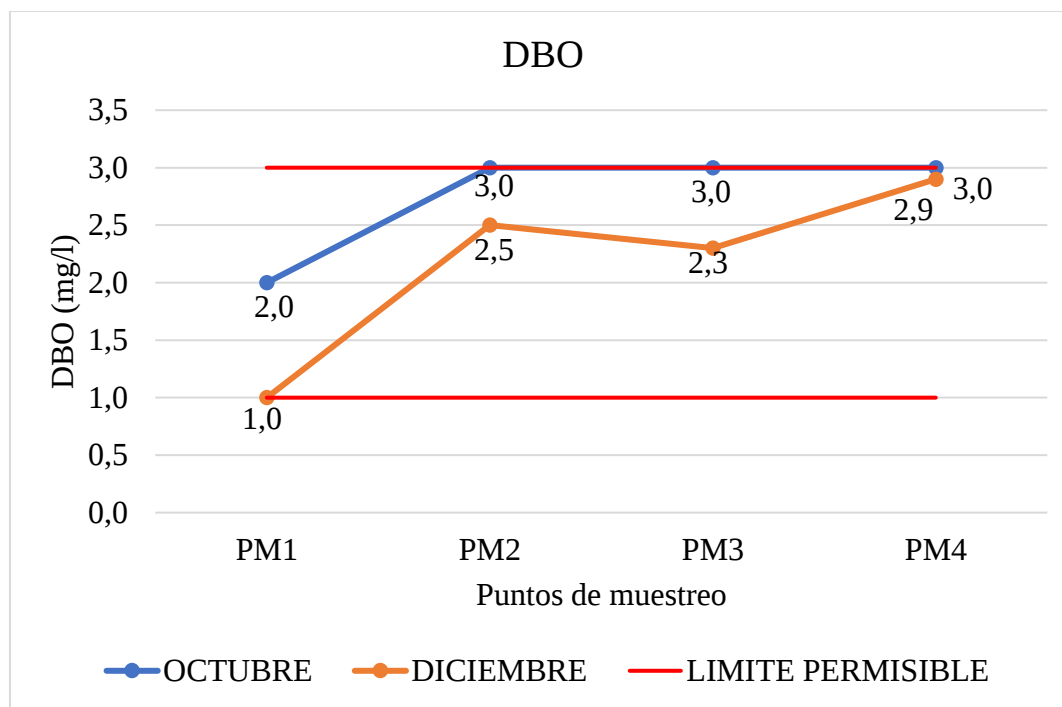


Figura 11. Demanda Bioquímica de Oxígeno para la época de octubre y diciembre. Por Guerrero, 2018

En los cuatro puntos de muestreo se evidencia que los valores de DBO son más altos en el mes de octubre con respecto a los de diciembre, diferencia causada por el aumento de precipitaciones entre un mes y el otro, a su vez, como valor de referencia se utiliza el valor establecido en el RAS 2000, que indica que es aceptable cuando tiene una DBO entre 1 y 3 mg/l; sin embargo, cabe mencionar que esta resolución se actualizó en el 2017, pero aún no se asigna un valor determinado para este parámetro. De igual forma los valores de DBO registrados son bastantes bajos indicando una baja contaminación en el afluente o buena capacidad de asimilación del mismo.

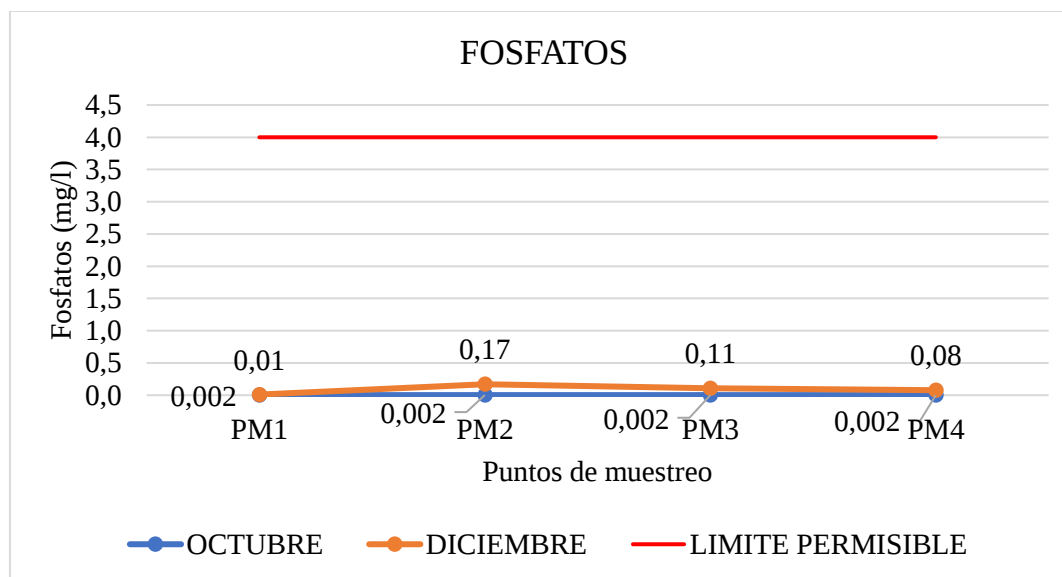


Figura 12 Fosfatos para la época de octubre y diciembre. Por Guerrero, 2018

En la Figura 12, se observa que el mes de octubre presentó valores para Fosfatos más bajos en relación al mes de diciembre, en todos los puntos de muestreo, sin embargo, cabe mencionar que los valores de Fosfatos son buenos teniendo en cuenta que el agua segura según el decreto 475 de 1998, establece para Fosfatos como valor mínimo 0,4 mg/l.

En la Figura 13, se observa variabilidad en los datos, en donde no se presenta un comportamiento estable y acorde a una sola temporada. En el PM1 y PM3, los valores son más bajos en el mes de octubre y en el PM2 y PM4, los valores son más bajos en el mes de diciembre, sin embargo, cabe mencionar que los valores Nitratos son buenos teniendo en cuenta que en el artículo 35 del Decreto 1594 de 1984 establece para Nitratos un valor máximo permisible de 10 mg para la destinación del recurso para uso doméstico.

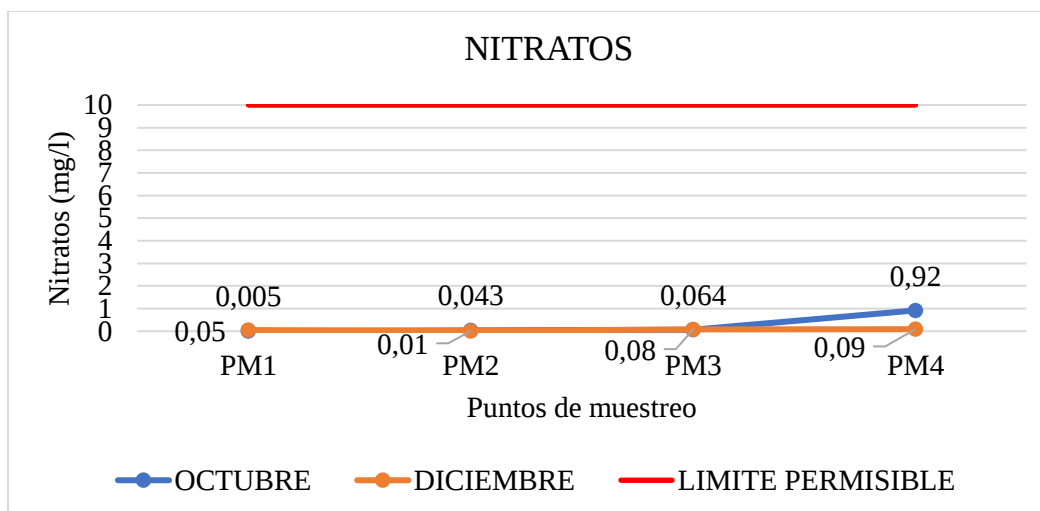


Figura 13. Nitratos para la época de octubre y diciembre Por Guerrero, 2018

En la Figura 14, se observa que para Coliformes Fecales, los valores más altos se presentan en temporada de baja pluviosidad (diciembre), que al presentar disminución en las precipitaciones y en el caudal permite que este comportamiento se presente, estos valores se consideran altos teniendo en cuenta que en el Art 42 del Decreto 1594 de 1984 se establece como valor máximo 200 microorganismos/100 ml, valor estimado para la destinación del recurso para fines recreativos

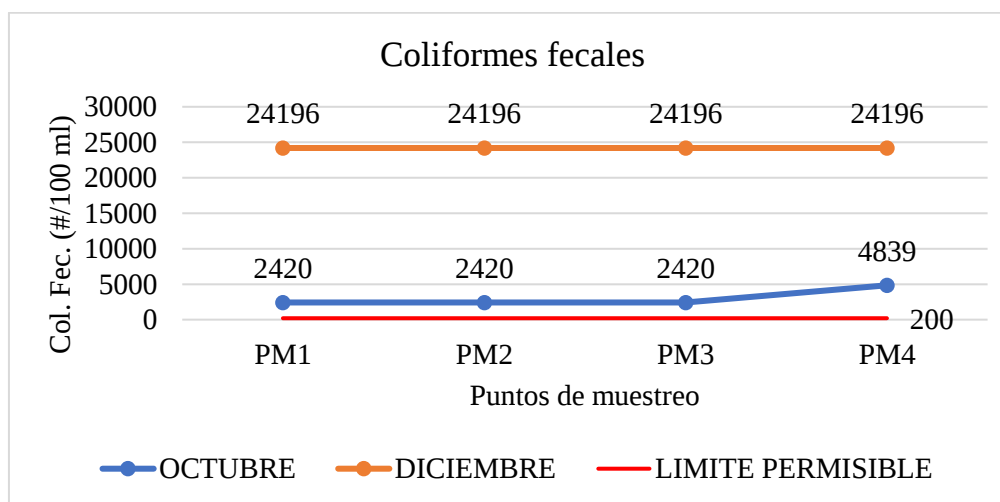


Figura 14. Coliformes Fecales para la época de octubre y diciembre. Por Guerrero, 2018

En la Figura 15, se observa que la Turbiedad es menor en el mes de octubre con respecto al mes de diciembre, causado por el aumento de las precipitaciones que permiten la disminución en este parámetro, sin embargo, en el parágrafo del artículo 45 del decreto 1594 de 1984, se establece que estos valores pueden interferir en la actividad fotosintética de la flora acuática.

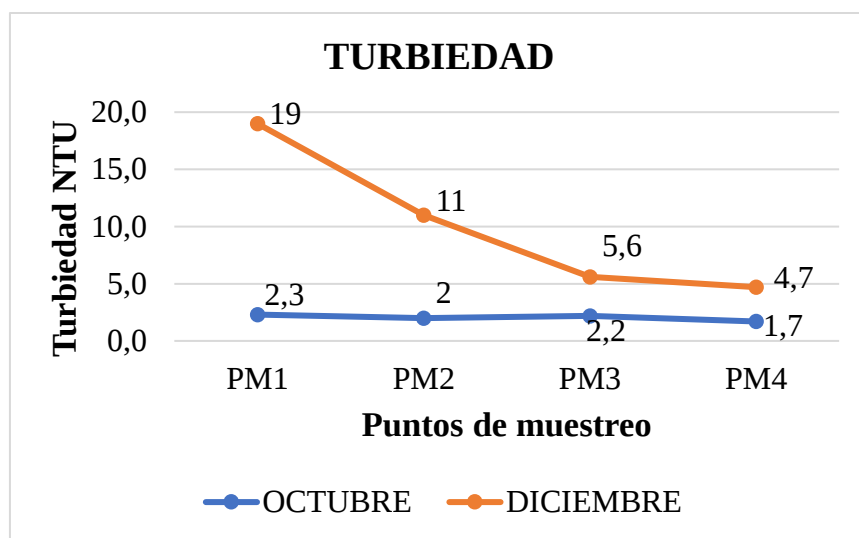


Figura 15. Turbiedad para la época de octubre y diciembre. Por Guerrero, 2018

Por último, se presentan los resultados obtenidos para el Oxígeno Disuelto, teniendo en cuenta el porcentaje de saturación. (Ver figura 16)

Para OD, se evidencia variabilidad en los valores, sin presentar un comportamiento acorde a una sola temporada, sin embargo, el valor más alto se presentó en temporada con alta pluviosidad, aunque estos porcentajes son óptimos, teniendo en cuenta que en el artículo 45 del decreto 1594 de 1984, establece un valor mínimo de 70% de concentración de saturación de OD.

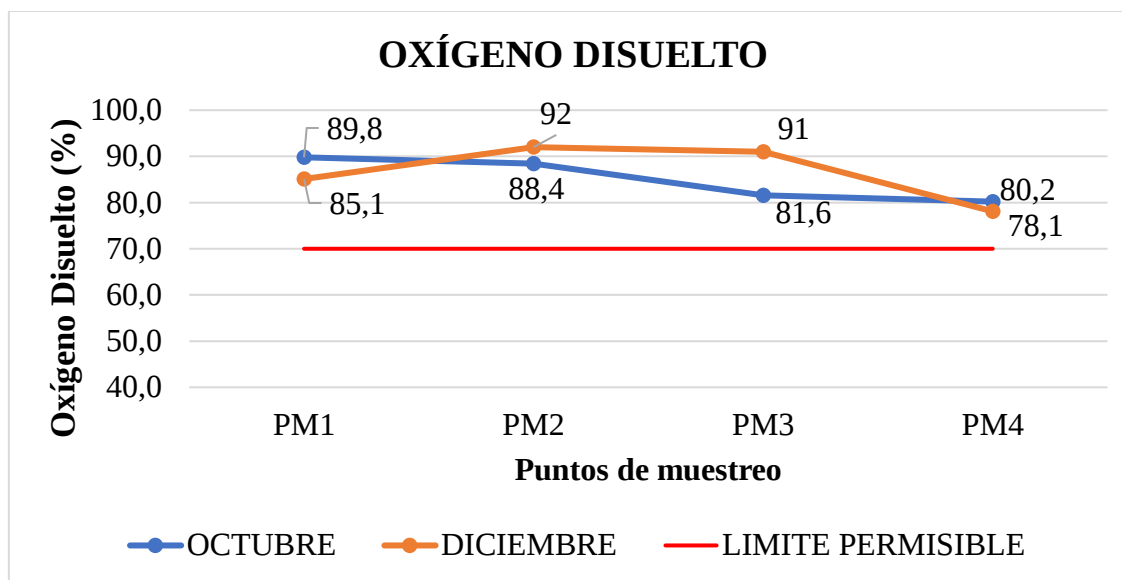


Figura 16. Oxígeno Disuelto para la época de octubre y diciembre. Por Guerrero, 2018

Las variaciones en los resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos tomados in-situ y estudiados en laboratorio, representan una disminución en la calidad del agua, en especial la presencia de Coliformes Fecales que indican contaminación por vertimientos de aguas residuales domésticas, que como se mencionó anteriormente, se registraron 81 descargas en el área comprendida entre los cuatro puntos de muestreo.

#### 4.1.6 Cargas contaminantes

En la tabla 15, se presentan las cargas contaminantes de los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sólidos Disueltos Totales, Fosfatos, Nitratos y Oxígeno Disuelto, llevando a cabo la fórmula de Carga Contaminante = Caudal \* Concentración del Contaminante, teniendo en cuenta la concentración del contaminante en kg/l y los caudales de cada punto de muestreo en L/día, para obtener las cargas de cada contaminante en Kg/día.

**Tabla 15.**

Cargas contaminantes en cada punto de muestreo para la temporada de alta pluviosidad y baja pluviosidad.

| <b>OCTUBRE (ALTA PLUVIOSIDAD)</b>   |                         |                              |                              |
|-------------------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <b>PUNTO DE MUESTREO</b>            | <b>SDT<br/>(Kg/Día)</b> | <b>Fosfatos<br/>(Kg/Día)</b> | <b>Nitratos<br/>(Kg/Día)</b> |
| <b>PM1</b>                          | 8538,04                 | 0,186                        | 0,466                        |
| <b>PM2</b>                          | 8452,29                 | 0,188                        | 4,04                         |
| <b>PM3</b>                          | 11684,73                | 0,254                        | 8,12                         |
| <b>PM4</b>                          | 9182,80                 | 0,191                        | 88,23                        |
| <b>DICIEMBRE (BAJA PLUVIOSIDAD)</b> |                         |                              |                              |
| <b>PUNTO DE MUESTREO</b>            | <b>SDT<br/>(Kg/Día)</b> | <b>Fosfatos<br/>(Kg/Día)</b> | <b>Nitratos<br/>(Kg/Día)</b> |
| <b>PM1</b>                          | 5436,28                 | 0,449                        | 2,24                         |
| <b>PM2</b>                          | 4924,8                  | 7,050                        | 0,414                        |
| <b>PM3</b>                          | 3825,79                 | 3,421                        | 2,48                         |
| <b>PM4</b>                          | 4380,48                 | 2,764                        | 3,11                         |

*Nota:* PM\*: punto de muestreo. Cargas contaminantes en los PM establecidos. Por Guerrero, 2018

Allí se observó, que en SDT, las cargas disminuyen considerablemente entre la temporada de alta pluviosidad con respecto a la de baja pluviosidad, registrando valores más altos en octubre, comportamiento generado principalmente por el aumento en el caudal.

Para el caso de los Nitratos solo en el punto de muestreo 1, se evidencia un comportamiento contrario, ya que el valor es más bajo en octubre que en diciembre; a su vez, en este mismo parámetro se evidencia que los valores en la temporada de alta pluviosidad son considerablemente mayores que en los obtenidos de la temporada de diciembre.

Sin embargo, la carga contaminante de los Fosfatos, es el único parámetro que en todos los puntos de muestreo y para el mes de octubre registra cargas más bajas con respecto al mes de diciembre. Se resalta que, aunque la carga contaminante se calcula para vertimientos

específicamente, en este caso se aplica, para conocer las cargas presentes en el afluente que pueden llegar a ser aportadas al río Ocoa, donde desemboca.

Por otro lado, con el fin de confirmar el impacto generado sobre este recurso por las descargas de aguas residuales domésticas, se hizo la aplicación del ICA-NSF para conocer la calidad del agua teniendo en cuenta los parámetros presentados en la **Tabla 14**.

#### **4.1.7 Cálculo del Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (INSF)**

Una vez obtenidos los resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de cada uno de los puntos de muestreo teniendo en cuenta la temporada climática en que se registraron los datos, se utilizó el método aditivo, que consiste en la suma de los productos resultantes entre los subíndices de cada parámetro de calidad y los pesos o porcentajes asignados a cada parámetro (Universidad de Pamplona [UNIPAMPLONA], 2009), teniendo en cuenta que cada parámetro tiene una curva estandarizada que relaciona la concentración del mismo. Posteriormente, a partir del valor del parámetro (i) se pudo obtener el valor del subíndice correspondiente (Ii) para cada uno, obteniendo una curva donde en el eje de las abscisas se ubican varios niveles de la variable estudiada y en el eje de las ordenadas se ubican los niveles de calidad del agua o valor del subíndice, que se encuentra entre 0 y 100, finalmente se aplicó la Ecuación 1 y 2, del índice NSF y del **Anexo 32** al **Anexo 35** se puede evidenciar un claro ejemplo del procedimiento detallado para resolver completamente la ecuación del índice en el punto de muestreo uno en temporada de alta pluviosidad como se mencionó anteriormente.

A continuación, se obtuvo en la siguiente tabla el resultado del índice NSF en los muestreos realizados para la época de alta pluviosidad en octubre y la época de baja pluviosidad en diciembre, allí se indican los valores de los 9 parámetros analizados.

**Tabla 16.**

*Resultados del ÍCA NSF para punto de muestreo, la temporada climática y la clasificación según el valor obtenido*

| Punto<br>De muestreo | Sitio            | Temporada de alta<br>pluviosidad |                     | Temporada<br>De baja pluviosidad |                     |
|----------------------|------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|
|                      |                  | Octubre                          | Rango de<br>calidad | Diciembre                        | Rango de<br>calidad |
|                      |                  |                                  |                     |                                  |                     |
| <b>PM 1</b>          | Playa<br>Rica    | 79.13                            | Buena               | 73.26                            | Buena               |
| <b>PM 2</b>          | Villa<br>del Río | 77.48                            | Buena               | 71.95                            | Buena               |
| <b>PM 3</b>          | Guatapé          | 76.58                            | Buena               | 71.92                            | Buena               |
| <b>PM 4</b>          | El Rubí          | 75.74                            | Buena               | 69.56                            | Mediana             |

*Nota:* PM\*: punto de muestreo. Resultados del ICA NSF, según temporada y PM. Por Guerrero, 2018.

En todos los puntos de muestreo (con excepción del punto de muestreo cuatro en el mes de temporada de baja pluviosidad), se obtuvieron índices que indican una buena calidad del agua según la clasificación, encontrando valores en un rango entre 79,13% y 71,92%, considerablemente resultados positivos dentro de la calidad. Estos porcentajes pueden ser resultado de la capacidad de asimilación de los contaminantes evaluados en el afluente. Sin embargo, aunque el agua es de buena calidad, esta no se exonera de la aplicación de procesos de tratabilidad si se desea utilizar para consumo humano, pero gracias a la calidad que tiene no requeriría procesos exigentes para su descontaminación (Carrillo & Urgilés, 2016). Sin embargo, cabe resaltar que los índices más altos se presentan en temporada de alta pluviosidad, debido al aumento del caudal, que permite la dilución de los contaminantes generados por los vertimientos de aguas residuales domésticas. Cabe mencionar, que el PM4 en el mes de baja pluviosidad, fue el único que presentó una calidad mediana con un porcentaje de 69,56; que puede ser causado por la acumulación de vertimientos a lo largo del tramo en estudio y la disminución en el caudal por la baja presencia de precipitaciones durante este periodo de tiempo.

Considerando los vertimientos de aguas residuales domésticas, el análisis de los resultados físicos, químicos, microbiológicos y el ICA-NSF para cada uno de los puntos, se deduce que las concentraciones de los contaminantes aumentan en la zona media y baja de la microcuenca, en donde el agua puede considerarse contaminada, afectando la biota acuática, y la salud pública de la población aledaña. En el **Anexo 36** y **Anexo 37** se presentan dos mapas espacio-temporal obtenido a través de ArcGIS versión 10.3 que reflejan la información mencionada anteriormente.

## 4.2 Estadística descriptiva

A partir de los ICA-NSF de cada punto de muestreo, se aplicaron medidas de estadística descriptiva para observar el comportamiento de los datos. Para el cálculo del análisis de varianza, es necesario conocer el comportamiento de la información obtenida de manera global, es decir, los resultados obtenidos en el INSF de las dos temporalidades, ya que se pretende determinar si las observaciones tienen una distribución aproximadamente normal, condición suficiente y necesaria, para utilizar una prueba paramétrica como el análisis de varianza que se presenta a continuación:

**Tabla 17.**

*Estadística descriptiva aplicada a los ICA-NSF*

| <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> | <b>Media</b> | <b>Mediana</b> | <b>Desviación<br/>estándar</b> | <b>Varianza</b> |
|---------------|---------------|--------------|----------------|--------------------------------|-----------------|
| 69,56         | 79,13         | 74,45        | 74,50          | 3,28                           | 10,75           |

*Nota:* Estadística descriptiva entre puntos y temporalidad. Por Guerrero, 2018.

Según este resumen numérico se puede apreciar que los datos tienen un sesgo leve negativo, lo cual representa una acumulación de la información por debajo de la mediana, en otros términos, es mayor la cantidad de datos se encuentran agrupados por debajo de 75, y dado a que valores bajitos en las variables representan una pequeña reducción en la calidad del agua, se muestra una tendencia a encontrar contaminación en la corriente hídrica estudiada.

En ninguno de los puntos estudiados se pudo hallar excelencia en la calidad del agua, ya que el rango que existe entre el máximo y mínimo obtenido en la **Tabla 17** es de 9,57, con valores entre 69.56 y 79.13 que, según la clasificación, se tiene que este rango pertenece a calidad media y buena, respectivamente, siendo media entre 51-70 y buena de 71 a 90, y es importante resaltar que solo una de las observaciones se encuentra por debajo de una calidad buena, como se obtuvo en el PM 4.

Otro aspecto que es importante está relacionado con la variabilidad observada de los datos, la cual es muy pequeña dada a la similitud de la información, y teniendo en cuenta que el coeficiente de variabilidad es igual a la desviación estándar dividido entre la media, se obtiene un coeficiente de variabilidad del 4.4% donde se puede observar que los datos son una muestra bastante homogénea.

La aplicación de estas medidas estadísticas permitieron evaluar de manera más detallada el comportamiento de los datos, corroborando lo que se mencionó con anterioridad, en donde se identifica que la calidad del agua del afluente poco disminuye a medida que avanza su cauce, debido a los vertimientos de aguas residuales descargados a lo largo de su trayectoria, por tal motivo los índices se reducen entre punto y punto, teniendo en cuenta que el punto 1 está en la parte alta, el punto 2 y 3 en la parte media y el punto 4 en la parte baja del afluente; cabe mencionar que en cada uno de los puntos se identificaron un número determinado de vertimientos que influyeron en su calidad. Es necesario resaltar, la importancia de reconocer la temporada climática en que es tomada la muestra, ya que, las precipitaciones presentadas en temporada de alta pluviosidad permiten la disminución de la concentración de algunos contaminantes (Gamboa, Gómez, Cárdenas, & Campos, 2006), disminuyendo el impacto generado por los vertimientos, en contraste con la temporada de baja pluviosidad, donde el bajo nivel del agua permite la concentración de los contaminantes debido a que hay menor capacidad de dilución y así evidenciando la decadencia en la calidad a medida que esta fluye y atraviesa los distintos asentamientos urbanos.

Para efectos de análisis posteriores se hizo necesario conocer en esta descripción de los datos, información acerca de la distribución de la proveniencia de los datos para lo cual se realizó la prueba numérica de Shapiro Wilk y se complementa con una prueba gráfica.

La prueba de normalidad numérica de Shapiro juzga la siguiente hipótesis:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \text{Los datos proceden de una distribución normal} \\ \text{vs} \\ H_a : \text{los datos no proceden de una distribución normal} \end{array} \right.$$

shapiro-wilk normality test

```
data: x
W = 0.95994, p-value = 0.8096
```

En la prueba de Shapiro Wilk que se muestra, dejó ver un p-valor muy grande de 0.81 con respecto a cualquier nivel de significancia, lo que quiere decir que no hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ), luego se acepta esta hipótesis que afirma que los datos provienen de una distribución aproximadamente normal.

#### 4.2.1 Análisis de Varianza (ANOVA)

Como se mencionó anteriormente, las muestras fueron tomadas en dos temporadas, una en temporada de alta pluviosidad y la otra en temporada de baja pluviosidad, y por otro lado se seleccionaron cuatro puntos en la microcuenca Caño Grande en el municipio de Villavicencio. Teniendo en cuenta estos factores mediante un análisis de varianza (Anova) se determinó las fuentes de variabilidad, planteando un diseño de bloques completos al azar para medir los efectos sobre la calidad del agua de estos dos factores (tiempo y punto de muestreo) teniendo en cuenta que el principal causante de la disminución de la calidad, son los vertimientos de aguas residuales domésticas.

El diseño de bloques completos al azar se realizó por que existe un factor adicional a la temporada en la que fue tomada la muestra y para el caso de la investigación, el lugar de la microcuenca es el factor adicional, que puede explicar parte de la variabilidad de los datos, por lo tanto, un diseño de este tipo permite reunir mediante un modelo, todos los efectos intervinientes. A continuación, se presentan los datos promediados en la siguiente tabla.

**Tabla 18.**

*Datos promediados por temporadas (Baja y alta pluviosidad)*

|                              |     | Tiempo              |                     |
|------------------------------|-----|---------------------|---------------------|
|                              |     | Alta<br>pluviosidad | Baja<br>pluviosidad |
| <b>punto de<br/>muestreo</b> | PM1 | 79,13               | 73,26               |
|                              | PM2 | 77,48               | 71,95               |
|                              | PM3 | 76,58               | 71,92               |
|                              | PM4 | 75,74               | 69,56               |

*Nota:* PM\*: punto de muestreo. Resultados promediados del ICA NSF, según temporada y PM. Por Guerrero, 2018.

El modelo del diseño planteado para este análisis se encuentra descrito a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \varepsilon_{ij} \begin{cases} i = 1, 2. \\ j = 1, 2, 3, 4. \end{cases} \quad (1)$$

Dónde:

$Y_{ij}$  : Corresponde al resultado del índice NSF medido en el punto de muestreo j-esimo, y en el i-esimo tiempo.

$\mu$  : Es la media global poblacional, del índice de calidad del agua medido sin tener en cuenta el efecto del tiempo en el que fue medido ni el lugar de la toma de la muestra.

$\tau_i$  : Es el efecto que produce sobre el índice de calidad del agua el haber tomado la medida en tiempo de alta pluviosidad o baja pluviosidad.

$\gamma_j$  : Es el efecto que produce sobre el índice de calidad del agua el hecho de que la muestra pertenezca a uno de los cuatro sitios seleccionados para la toma de las mediciones.

$\mathcal{E}_{ij}$  : Este corresponde al error aleatorio atribuible a la medición  $Y_{ij}$ .

Dado al origen de la información se analizó la variabilidad presente en el índice de calidad del agua, por lo tanto, en el modelo descrito anteriormente se quiso estudiar el efecto que tiene sobre la variable principal cada uno de los factores y poder determinar si realmente el tiempo y el lugar de toma de la muestra explican la variabilidad o por el contrario no portan información necesaria para explicar el fenómeno, dado lo anterior, con este diseño se juzgaron las siguientes hipótesis:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{H}_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0 \\ \mathbf{vs} \\ \mathbf{H}_a : \tau_1 \neq \tau_2 \end{array} \right. \quad \mathbf{o} \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{H}_0 : \mu_1 = \mu_2 \\ \mathbf{vs} \\ \mathbf{H}_a : \mu_1 \neq \mu_2 \end{array} \right. . \quad (2)$$

En el primer planteamiento se juzga que si el efecto del tratamiento tiempo influyó en la variabilidad o es nulo y representa lo mismo que la segunda ya que este otro planteamiento donde apuntó que la media poblacional hallada es igual tanto en tiempo de alta pluviosidad como en tiempo seco, y de manera alternativa que difiere la media poblacional para cada uno de los tiempos en los que se realizaron las mediciones. Ahora paralelamente a esta prueba se hizo un análisis por bloques para ver si el lugar donde se tomaron las medidas influye en la variabilidad del índice de calidad del agua.

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{H}_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \gamma_4 = 0 \\ \mathbf{vs} \\ \mathbf{H}_a : \gamma_j \neq 0 \text{ para algun bloque } j \end{array} \right. \quad (3)$$

El rechazo de la hipótesis nula ( $\mathbf{H}_0$ ) en esta prueba dejó en evidencia que el sitio donde se tome la muestra es importante para la investigación ya que difieren significativamente los valores medios poblacionales logrados en cada uno de estos, lo cual es importante ya que para futuras investigaciones se convierte este factor en un elemento a tener en cuenta.

Ahora bien, antes de presentar los resultados con respecto al ANOVA y habiendo construido el diseño por bloques fue necesario evaluar las condiciones que permiten mostrar la veracidad del modelo, lo primero que se tuvo que rescatar fue la distribución de la variable observada correspondiente al índice de calidad del agua (NSF), y como se observó en la variable principal la prueba de Shapiro Wilk, dejaba en evidencia la procedencia aproximada de los datos de una población distribuida normalmente, lo cual es un requisito previo para el análisis de varianza propuesto, habiendo probado la normalidad en las observaciones, los supuestos a probar son las siguientes:

Es necesario resaltar que, para la evaluación de ajuste y comprobación de supuestos del modelo, se realizaron las pruebas de normalidad en los errores, y se encontró que los errores tienen una distribución aproximadamente normal  $\varepsilon_{ijk} \sim N(0,1)$ , por otra parte, los errores son independientes, además de no existe una tendencia definida para la variabilidad por lo tanto se considera que es una varianza constante.

Habiendo determinado la validez del modelo, bajo los supuestos ahora se procedió a determinar con la tabla ANOVA, la interpretación de la variabilidad desde los tratamientos y los bloques. A continuación, se presentan los resultados numéricos del proceso de análisis de varianza y en el **Anexo 38**, se evidencia el procedimiento para la obtención de los cálculos de la tabla ANOVA.

**Tabla 19.***Análisis de Varianza (ANOVA). Variable dependiente ICA NSF*

| Variable dependiente: ICA-NSF                           |                               |    |                  |         |      |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------|----|------------------|---------|------|
| Origen                                                  | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F       | Sig. |
| Tiempo                                                  | 61,827                        | 1  | 61,827           | 287,257 | ,000 |
| Lugar                                                   | 12,790                        | 3  | 4,263            | 19,809  | ,018 |
| Error                                                   | ,646                          | 3  | ,215             |         |      |
| Total                                                   | 44420,661                     | 8  |                  |         |      |
| Total, corregido                                        | 75,263                        | 7  |                  |         |      |
| a. R al cuadrado = ,991 (R al cuadrado ajustada = ,980) |                               |    |                  |         |      |

*Nota:* Análisis de varianza ANOVA, según resultados del INSF. Por Guerrero, 2018.

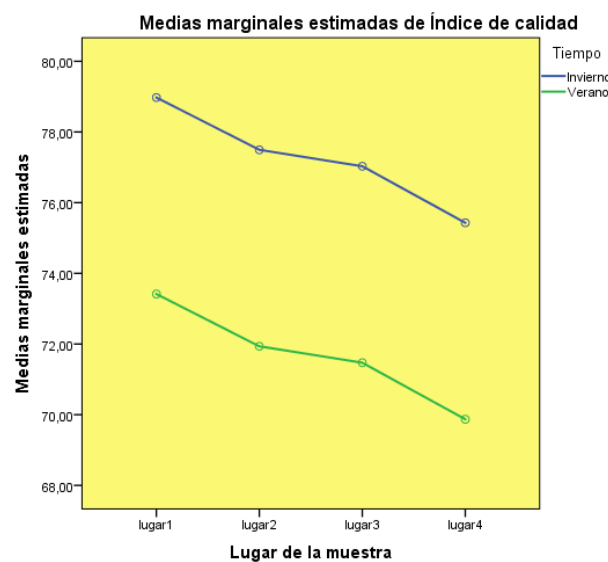
Para la introducción de los factores al modelo se les asignó el nombre de tiempo y lugar, haciendo alusión al tiempo, si la muestra había sido tomada en temporada de alta pluviosidad o baja pluviosidad y el lugar refiriéndose al punto de muestreo donde fue tomada; esta tabla ANOVA muestra por el nivel de significancia que el tiempo resulta significativo para el juzgamiento de hipótesis (2).

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0 \\ \text{vs} \\ H_a : \tau_1 \neq \tau_2 \end{array} \right. \quad \text{O} \quad \left\{ \begin{array}{l} H_0 : \mu_1 = \mu_2 \\ \text{vs} \\ H_a : \mu_1 \neq \mu_2 \end{array} \right.$$

Donde se juzga respecto al tiempo y se tiene un **Valor – p** = 0.000 <  $\alpha$  = 0.05, por lo que hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, luego existe la evidencia para determinar que sobre el existe diferencia significativa entre la media poblacional lograda cuando la muestra es tomada en tiempo de alta pluviosidad o baja pluviosidad, visto desde otro punto de vista, cambiar

el tiempo en el que se tomen las muestras resulta significativo para la investigación concluyendo que el tiempo es un factor importante a tener en cuenta para determinar la calidad del agua.

Teniendo en cuenta que mediante el análisis de varianza se pudo determinar que resulta significativo el tiempo para explicar la variabilidad en los índices de calidad del agua, ahora se determinó, cuál de los dos tiempos fue el mejor en términos de la investigación y para esto se basó en las siguientes gráficas. Inicialmente se presenta la tendencia del índice de calidad del agua en relación al punto de muestreo donde fue tomada la muestra

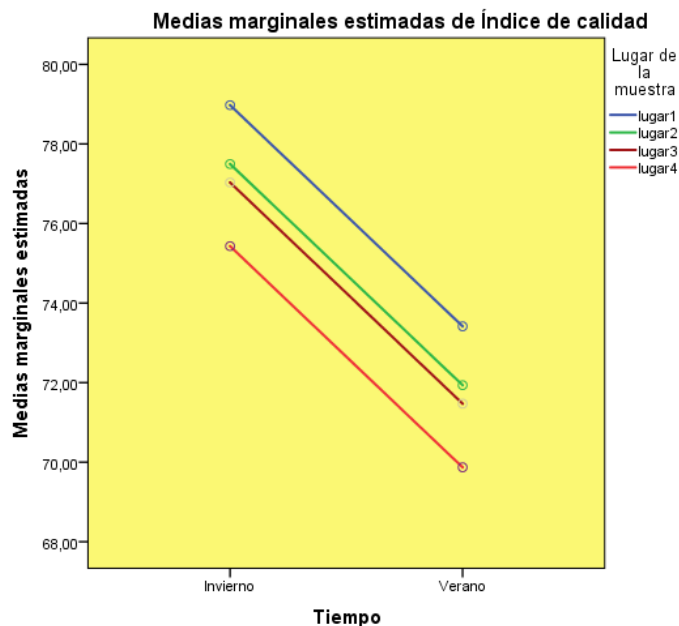


*Figura 17.* Tendencias según el punto de muestreo teniendo en cuenta la temporada de alta pluviosidad y baja pluviosidad. Por Guerrero, 2018

En la figura anterior se observó la tendencia del índice de calidad del agua en relación con el lugar donde fue tomada la muestra, y con base en esto se puede apreciar que la línea azul que corresponde a las medidas realizadas en tiempo de alta pluviosidad, se encuentra por encima de las medidas realizadas en tiempo de baja pluviosidad, manteniendo comportamientos similares en cada uno de los tiempos respecto a cada uno de los lugares denotando la superioridad en el índice de calidad medido en tiempo de lluvia.

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \gamma_4 = 0 \\ \text{vs} \\ H_a : \gamma_j \neq 0 \text{ para algun bloque } j \end{array} \right.$$

Por otra parte, el nivel de significancia para determinar la variabilidad que explica el bloque referente al lugar donde fue tomada la muestra, se encontró por medio del análisis de varianza que **Valor – p** = 0,018 <  $\alpha$  = 0,05, para este caso hay evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, luego el efecto de haber tomado las muestras en diferentes partes de la microcuenca es un factor relevante en la investigación, ya que si existe una parte de la variabilidad del índice de calidad del agua explicado por el sitio donde se tomaron las muestras.



**Figura 18.** Tendencias de los valores en teniendo en cuenta la temporada de alta pluviosidad y baja pluviosidad. Por Guerrero, 2018

En esta gráfica se puede apreciar como las tendencias de los valores en cada uno de los lugares de la muestra, tiene la tendencia a disminuir, y se puede apreciar que en el punto de muestreo 1, existe un valor positivo en el índice de calidad y poco a poco va disminuyendo en cada una de las estaciones hasta encontrar los índices más bajos en la estación 4.

De manera general se puede inferir que el nivel de contaminación en la microcuenca aumenta en la temporada de verano y disminuye significativamente en invierno, siendo este el factor principal para esta investigación, pero también se pudo hallar la importancia del lugar donde se toma la muestra para determinar el índice de calidad del agua.

#### **4.2.2 Fase 3 Matriz doble entrada**

La matriz de doble entrada se puede evidenciar en el **Anexo 39**, esta se realizó, teniendo en cuenta que en las visitas realizadas en el área de estudio comprendida entre los puntos de muestreo, se logró a través de los presidentes de la junta de acción comunal de los barrios afectados y el mapa temático “Sistema de Soporte Ambiental Urbano”, la recolección de datos relevantes que fueron introducidos en la matriz (localización, cantidad de vertimientos aguas arriba del punto de muestreo, servicio de alcantarillado y viviendas dentro de la ronda hídrica), junto con el valor del INSF obtenido en la fase 1. En esta matriz se tienen en cuenta porcentajes de importancia establecidos por la autora según la variable, para la posterior evaluación basada en la metodología Conesa que permitió identificar los puntos más impactados.

La matriz de doble entrada, permitió introducir información relevante para la determinación de las propuestas, teniendo en cuenta el valor del ICA-NSF, la cantidad de vertimientos de aguas residuales domésticas aguas arriba de cada punto de muestreo, que son considerados el principal causal de la pérdida de calidad del afluente, el acceso al servicio de alcantarillado y las viviendas establecidas dentro de la ronda hídrica.

Mediante la matriz, se identificó que los cuatro puntos de monitoreo reflejan una situación moderada, mas no un impacto compatible. Resultado ocasionado por los impactos negativos generados sobre el afluente, principalmente el vertimiento de aguas residuales domésticas directas sobre este sin ningún tipo de tratamiento, cabe mencionar, que el impacto generado por estas descargas puede disminuirse debido a la capacidad de asimilación del afluente de las cargas contaminantes.

Considerando esta información y con el fin de determinar propuestas enfocadas en mejorar la calidad del agua y el estado en general del afluente, se dirigen las propuestas más adecuadas a cada uno de los puntos de monitoreo.

A continuación, se presentan cada una de las propuestas ubicadas en distintas fichas ambientales, donde cada una busca la inclusión de la comunidad, alcaldía, gobernación, EAAV, Cormacarena y Organizaciones no gubernamentales (ONG), para que, trabajando en conjunto, se controlen, mitiguen, compensen o prevengan los impactos causados al recurso hídrico. Cabe mencionar que los resultados de esta investigación quedaran a disposición de la corporación ambiental correspondiente para su uso, publicación y comunicación.

**Tabla 20.**

*Ficha °1, propuesta de capacitación y sensibilización sobre el cuidado y protección de caño Grande*

| FICHA °1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Capacitación y sensibilización sobre el cuidado y protección de caño grande                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                               |
| IMPACTOS POTENCIALES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | ACTIVIDADES GENERADORAS DEL EFECTO                                                                                                                                            |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contaminación en el afluente Caño Grande.</li> <li>- Modificación del paisaje.</li> <li>- Pérdida de la calidad del agua.</li> <li>- Impacto sobre el afluente y su entorno por falta de conocimiento sobre la importancia y cuidado de este recurso.</li> </ul>                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vertimientos de aguas residuales domésticas.</li> <li>- Desconocimiento de la importancia de cuidar las fuentes hídricas.</li> </ul> |
| PROPUESTA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                               |
| <p><b>Capacitación y sensibilización sobre el cuidado y protección del afluente Caño Grande, vulnerable a la contaminación por vertimientos de aguas residuales domésticas y disposición de residuos sólidos, dirigidas a la comunidad y ejecutadas por las autoridades ambientales, donde se resalten las respectivas sanciones que se realizarán a quienes atenten contra el medio ambiente y el recurso hídrico.</b></p> |                                                                                                                                                                               |

**Tabla 20.** (Continuación)

| TIPO DE MEDIDA A EJECUTAR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |                                                                                                                                                                                                        |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| CONTROL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | PREVENCIÓN | MITIGACIÓN                                                                                                                                                                                             | COMPENSACIÓN |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | X          |                                                                                                                                                                                                        |              |
| ACTIVIDADES PROPUESTAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |            |                                                                                                                                                                                                        |              |
| <div><div>-</div><div>Presentar a la comunidad los resultados obtenidos en esta investigación, con el fin de dar a conocer el estado del afluente en los dos meses muestreados.</div><div>-</div><div>Ejecutar charlas acerca del adecuado manejo de los vertimientos de aguas residuales domésticas y las distintas maneras de cuidar y proteger las condiciones naturales de la fuente hídrica.</div><div>-</div><div>Promover a través de talleres el reciclaje de los residuos sólidos en las viviendas, recalcando la importancia de separar los residuos según su clasificación</div><div>-</div><div>Explicar a la comunidad las normas existentes relacionadas con el cuidado del recurso hídrico, la inadecuada disposición de los residuos sólidos, y las respectivas sanciones que pueden asignarse si estas no son cumplidas.</div></div> |            |                                                                                                                                                                                                        |              |
| RESPONSABLES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |            | PUNTO DE APLICACIÓN                                                                                                                                                                                    |              |
| <div><div>-</div><div>Cormacarena</div><div>-</div><div>Junta de acción comunal</div><div>-</div><div>Policía ambiental y ecológica</div><div>-</div><div>Secretaria de ambiente</div></div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |            | <div><div><b>PM1</b> (Barrio Playa Rica y Villa Sonia), <b>PM2</b> (Barrio Villa del Río y Catumare), <b>PM3</b> (Barrio Guatapé y Divino Niño), <b>PM4</b> (Barrio El rubí y Margaritas).</div></div> |              |
| COSTOS APROXIMADOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |            |                                                                                                                                                                                                        |              |
| <div>Considerando las actividades a realizar se hace un aproximado del presupuesto de esta propuesta, teniendo en cuenta que se realizará una charla por día con una duración no mayor a dos horas, para cada uno de los puntos de muestreo mencionados anteriormente, con una frecuencia semestral durante un año para no saturar de información a la población siendo lo más didácticos posible. También se debe tener en cuenta el recurso humano necesario para la ejecución de estas, el cual será asignado propiamente por el responsable que ejecute esta propuesta; el tiempo, el espacio y la organización logística.</div>                                                                                                                                                                                                                  |            |                                                                                                                                                                                                        |              |
| TOTAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |            |                                                                                                                                                                                                        | \$ 2.400.000 |

*Nota:* Propuestas de Capacitación y sensibilización sobre el cuidado y protección de caño grande, impactos, responsables, punto de aplicación y costos aproximados. Por Guerrero, 2018.

Esta propuesta se dirige a los cuatro puntos de muestreo, ya que a lo largo de la investigación se observó la falta de cultura ambiental en los habitantes de la comuna 8, que desconocen o ignoran la importancia de proteger este recurso hídrico, adicional a esto, los habitantes de las zonas reiteran la falta de vigilancia por parte de la policía ambiental y ecológica y las autoridades ambientales

competentes, sobre las actividades ilegales que afectan directamente este recurso, ya que así lo expresaron miembros de la comunidad a través de entrevistas cortas, resaltando que nunca han recibido llamados de atención, multas o sanciones por parte de las autoridades competentes.

**Tabla 21.**

*Ficha°2, Propuesta conexión al sistema de alcantarillado municipal*

| FICHA °2                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                           |                                    |                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|
| Conexión al sistema de alcantarillado municipal                                                                                                                                                                                                                                         |                                           |                                    |                                              |
| IMPACTOS POTENCIALES                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                           | ACTIVIDADES GENERADORAS DEL EFECTO |                                              |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Contaminación en el afluente Caño Grande. | -                                  | Asentamientos humanos ilegales               |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Pérdida en la calidad del agua.           | -                                  | Vertimientos de aguas residuales domésticas. |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Modificación del paisaje.                 |                                    |                                              |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Proliferación de vectores.                |                                    |                                              |
| -                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Problemas de salud publica                |                                    |                                              |
| PROPUESTA                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                           |                                    |                                              |
| Conectar al sistema de alcantarillado del municipio de Villavicencio, las viviendas pertenecientes a los barrios aledaños a Caño Grande que carecen de este servicio, con el fin de controlar las descargas de aguas residuales domésticas que son vertidas actualmente en el afluente. |                                           |                                    |                                              |
| TIPO DE MEDIDA A EJECUTAR                                                                                                                                                                                                                                                               |                                           |                                    |                                              |
| CONTROL                                                                                                                                                                                                                                                                                 | PREVENCIÓN                                | MITIGACIÓN                         | COMPENSACIÓN                                 |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                       | X                                         | X                                  |                                              |

**Tabla 21.** (Continuación)

| <b>ACTIVIDADES PROPUESTAS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Las actividades que se presentan a continuación fueron dadas directamente por la empresa de acueducto y alcantarillado de Villavicencio:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Presentar la solicitud de conexión al sistema de alcantarillado en la EAAV, firmada la solicitud por el presidente de la JAC y toda la comunidad.</li> <li>- Realizar un estudio de factibilidad por parte de la EAAV, que permita identificar la viabilidad para la prestación de este servicio.</li> <li>- Se indicará individualmente en las viviendas la tarifa correspondiente para la conexión al sistema de alcantarillado, este valor es indicado por la EAAV.</li> <li>- Se llevará a cabo la elaboración de presupuesto para la ejecución de la obra.</li> <li>- Ejecutar el proceso de licitación y posteriormente, contratación.</li> <li>- Implementar la ejecución de la obra.</li> <li>- Hacer seguimiento y evaluación del proceso de la obra.</li> </ul> |                                                                |
| <b>RESPONSABLES</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>PUNTO DE APLICACIÓN</b>                                     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- EAAV</li> <li>- JAC (Junta de Acción Comunal).</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>PM 1</b> (Barrio Playa Rica) <b>Y PM4</b> (Barrio El rubí). |
| <b>COSTOS APROXIMADOS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                |
| En esta propuesta no se indica un costo aproximado, teniendo en cuenta que la EAAV inicialmente debe realizar una serie de estudios que permitan evaluar la factibilidad de la instalación de sistema de alcantarillado en estos puntos, para así según los resultados dar inicio a las respectivas obras incluyendo esta zona en el plan maestro de alcantarillado.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                |

*Nota:* Propuesta conexión al sistema de alcantarillado municipal, impactos, responsables, punto de aplicación y costos aproximados. Por Guerrero, 2018.

Esta propuesta se dirige a los barrios Playa Rica y el Rubí, ya que estas zonas según el plan maestro de alcantarillado del municipio y los mismos habitantes de la zona indican que no cuentan con este servicio, lo que obliga a los habitantes que viven dentro de la ronda a verter sus ARD sobre el afluente Caño Grande, por tal motivo, esta propuesta va enfocada a la realización de un estudio de factibilidad que permita identificar si estos barrios pueden acceder o no, a este servicio buscando así eliminar 41 vertimientos realizados en el barrio playa rica y 13 realizados en el barrio el Rubí.

**Tabla 22.***Ficha°3, propuesta educación ambiental en instituciones educativas*

| FICHA °3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |            |                                                                                                                                                                            |              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Educación ambiental en instituciones educativas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |            |                                                                                                                                                                            |              |
| IMPACTOS POTENCIALES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            | ACTIVIDADES GENERADORAS DEL EFECTO                                                                                                                                         |              |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Contaminación en el afluente Caño Grande.</li><li>- Pérdida en la calidad del agua.</li><li>- Modificación del paisaje.</li><li>- Proliferación de vectores.</li><li>- Problemas de salud publica</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |            | <ul style="list-style-type: none"><li>- Vertimientos de aguas residuales domésticas.</li><li>- Desconocimiento de la importancia de cuidar las fuentes hídricas.</li></ul> |              |
| PROPUESTA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |                                                                                                                                                                            |              |
| <p>Promover campañas de educación ambiental en las instituciones educativas ubicadas en el área de estudio, enfocadas a la importancia de llevar a cabo buenas prácticas para el mejoramiento del recurso hídrico de Caño Grande, a través del desarrollo de proyectos ambientales escolares (PRAE), promoviendo la participación estudiantil, buscando mejorar la situación social y cultural del área afectada.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                                                                                                                                                                            |              |
| TIPO DE MEDIDA A EJECUTAR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |                                                                                                                                                                            |              |
| CONTROL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | PREVENCIÓN | MITIGACIÓN                                                                                                                                                                 | COMPENSACIÓN |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | X          | X                                                                                                                                                                          |              |
| ACTIVIDADES PROPUESTAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |            |                                                                                                                                                                            |              |
| <p>Elaboración del PRAE enfocado al recurso hídrico de Caño grande tomando en cuenta las siguientes actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Sensibilizar a la comunidad educativa con temas relacionados al estado actual de los recursos hídricos a nivel internacional, nacional y local.</li><li>- Desarrollar estrategias pedagógicas desde la lúdica y la recreación que genere un cambio en las prácticas diarias del uso racional y eficiente del agua.</li><li>- Programar actividades a los estudiantes, enfocadas en la limpieza de la fuente hídrica afectada, teniendo en cuenta que estas se realicen en las fechas de celebración ambiental durante año.</li><li>- Explicar a la comunidad educativa las normas existentes relacionadas con el cuidado del recurso hídrico, y las respectivas sanciones que pueden asignarse si estas no son cumplidas.</li></ul> |            |                                                                                                                                                                            |              |

**Tabla 22.** (Continuación)

| RESPONSABLES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | PUNTO DE APLICACIÓN                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| - Gobernación del Meta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Colegios aledaños a los puntos de muestreo, <b>PM1</b> (Barrio   |
| - Cormacarena                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Playa Rica y Villa Sonia), <b>PM2</b> (Barrio Villa del Río y    |
| - Alcaldía del Meta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Catumare), <b>PM3</b> (Barrio Guatapé y Divino Niño), <b>PM4</b> |
| - Secretaria de ambiente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | (Barrio El rubí y Margaritas).                                   |
| - Organizaciones no Gubernamentales                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                  |
| - Policía ambiental y ecológica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                  |
| - Institución educativa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                  |
| COSTOS APROXIMADOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                  |
| Considerando las actividades a realizar se hace un aproximado del presupuesto de esta propuesta, teniendo en cuenta que se realizará una charla por día con una duración no mayor a dos horas, para cada uno de los puntos de muestreo, una sola vez, para no saturar de información a la población siendo lo más didácticos posible. También se debe tener en cuenta el recurso humano necesario para la ejecución de estas, el cual será asignado propiamente por el responsable que ejecute esta propuesta; el tiempo, el espacio y la organización logística. |                                                                  |
| <b>TOTAL</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | \$ 800.000                                                       |

*Nota:* propuesta educación ambiental en instituciones educativas, impactos, responsables, punto de aplicación y costos aproximados. Por Guerrero, 2018.

Esta propuesta va dirigida a los planteles educativos, Colegio Playa Rica, Colegio Comunal Albert Einstein y la Institución Educativa Catumare Sede Rochela, que hacen parte de los puntos de muestreo; a través de esto se busca que las instituciones participen proactivamente a través del desarrollo de los PRAE, considerando que los jóvenes son población influyente, y esto mismo les permita reconocer la importancia de su participación en temas medio ambientales, principalmente enfocadas a problemáticas que los afectan directamente, como la contaminación y pérdida de calidad de este afluente.

**Tabla 23.***Ficha°4, Propuesta de estudio de factibilidad para la reubicación de viviendas que intervienen en la ronda hídrica*

| FICHA °4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |            |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------|
| Estudio de factibilidad para la reubicación de viviendas que intervienen en la ronda hídrica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |            |              |
| IMPACTOS POTENCIALES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ACTIVIDADES GENERADORAS DEL EFECTO                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |            |              |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Contaminación en el afluente Caño Grande</li><li>- Modificación del paisaje</li><li>- Pérdida de la calidad del agua</li><li>- Invasión en la ronda hídrica del caño</li><li>- Deforestación para la instalación de viviendas</li><li>- Movimientos de remoción de masa</li></ul>                                                                                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"><li>- Asentamientos ilegales sobre la ronda hídrica</li><li>- Aumento en la vulnerabilidad por desastres naturales al ubicarse en esta área</li><li>- Vertimientos de aguas residuales domésticas a Caño Grande.</li><li>- Disposición de residuos sólidos en la ronda y sobre el caño.</li></ul> |            |              |
| PROPUESTA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |            |              |
| Realizar un estudio de factibilidad que permita identificar la viabilidad de trasladar a las personas que habitan dentro de la ronda hídrica a otra zona, para la recuperación de la misma.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |            |              |
| TIPO DE MEDIDA A EJECUTAR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |            |              |
| CONTROL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | PREVENCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | MITIGACIÓN | COMPENSACIÓN |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | X          |              |
| ACTIVIDADES PROPUESTAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |            |              |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Ubicar las posibles zonas a donde será trasladada la comunidad.</li><li>- Identificar el nivel de riesgo presente para las personas que habitan sobre la ronda hídrica.</li><li>- Valorización de las viviendas instaladas en el área considerada ronda hídrica del caño</li><li>- Comparación de costos que determinen si es más económico y eficiente trasladar a la comunidad o realizar procesos que permitan recuperar la calidad del afluente (PTAR).</li></ul> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |            |              |
| RESPONSABLES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | PUNTO DE APLICACIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |            |              |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Ministerio de vivienda, ciudad y territorio</li><li>- Alcaldía del Meta</li><li>- Secretaria de ambiente</li><li>- UNGRD</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>PM1</b> (Barrio Playa Rica y Villa Sonia), <b>PM2</b> (Barrio Villa del Río y Catumare), <b>PM3</b> (Barrio Guatapé y Divino Niño), <b>PM4</b> (Barrio El rubí y Margaritas).                                                                                                                                                    |            |              |

**Tabla 23.** (Continuación)

| <b>COSTO APROXIMADO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Las condiciones y características del estudio de factibilidad preliminar que permita identificar si es viable o no la reubicación de las personas que habitan en la ronda hídrica, las tendrá en cuenta quien lo ejecute, ya que, definirá los costos de la consultoría con base en la profundidad, las técnicas, la interdisciplinariedad y la transversalidad de la misma. |

Nota: Propuesta de estudio de factibilidad para la reubicación de viviendas que intervienen en la ronda hídrica, impactos, responsables, punto de aplicación y costos aproximados. Por Guerrero, 2018.

Esta propuesta se dirige a los cuatro puntos de muestreo, teniendo en cuenta que, en las zonas de influencia, se identifican asentamientos humanos ilegales dentro de la ronda hídrica del caño, reconociendo que es una problemática que puede concluirse solamente con la reubicación de los habitantes que viven allí, para que así el caño recupere su ronda. Teniendo en cuenta que se identificaron un total de 236 casas dentro de la ronda y se hace un aproximado de cuatro personas por vivienda, para un total aproximado de 944 personas, sin embargo, se requiere de un censo detallado para conocer exactamente el número de personas y las condiciones en que viven.

**Tabla 24.**

*Ficha°5, propuesta de Programa de monitoreo y seguimiento del recurso hídrico*

| <b>FICHA °5</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Programa de monitoreo y seguimiento del recurso hídrico                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                   |
| <b>IMPACTOS POTENCIALES</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>ACTIVIDADES GENERADORAS DEL EFECTO</b>         |
| - Contaminación del afluente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | - Vertimientos de aguas residuales domésticas.    |
| - Alternación de la dinámica de caño Grande                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | - Desconocimiento de la importancia de cuidar las |
| - Alteración del paisaje                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | fuentes hídricas.                                 |
| - Pérdida de biota acuática                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                   |
| <b>PROPUESTA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                   |
| <b>Fomentar programas de monitoreo y seguimiento constante a través de la toma de muestras periódicas, realizados por las autoridades ambientales, con el fin de llevar un registro del valor presentado para los distintos parámetros físicos, químicos, biológicos y microbiológicos, que permitan conocer el estado del caño en tiempos y espacios diferentes.</b> |                                                   |

**Tabla 24.** (Continuación)

| TIPO DE MEDIDA A EJECUTAR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |            |                                                                                                                                                                 |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| CONTROL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | PREVENCIÓN | MITIGACIÓN                                                                                                                                                      | COMPENSACIÓN |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |                                                                                                                                                                 |              |
| ACTIVIDADES PROPUESTAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |                                                                                                                                                                 |              |
| <div>- Realizar medidas Insitu y en laboratorio acreditado por el IDEAM con un mínimo de tres veces al año, analizando las variables representativas que indiquen la calidad del agua en un tiempo y espacio determinado.</div> <div>- Realizar un inventario de las descargas que se realizan a lo largo del afluente Caño Grande, teniendo en cuenta si estos son legales o ilegales.</div> <div>- Realizar una caracterización del ecosistema que permita conocer su estado actual en general, involucrando no solo calidad del agua si no también la fauna y flora.</div> |            |                                                                                                                                                                 |              |
| RESPONSABLES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |            | PUNTO DE APLICACIÓN                                                                                                                                             |              |
| <div>- Cormacarena</div> <div>- EAAV</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |            | <div>PM1 (Barrio Playa Rica y Villa Sonia), PM2 (Barrio Villa del Río y Catumare), PM3 (Barrio Guatapé y Divino Niño), PM4 (Barrio El rubí y Margaritas).</div> |              |
| COSTO APROXIMADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |            |                                                                                                                                                                 |              |
| <div>El costo aproximado se da por muestra, pero se determinará según los parámetros que los responsables a ejecutar esta propuesta deseen monitorear y el laboratorio al que allegarán las muestras para su posterior análisis. Se recomienda la toma de muestras trimestralmente de manera frecuente, permitiendo así crear una base de datos con información relevante de las condiciones del afluente en diferentes tiempos y espacios.</div>                                                                                                                             |            |                                                                                                                                                                 |              |
| TOTAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |            |                                                                                                                                                                 | \$1'200.000  |

*Nota:* propuesta de Programa de monitoreo y seguimiento del recurso hídrico, impactos, responsables, punto de aplicación y costos aproximados. Por Guerrero, 2018.

Esta propuesta se determinó teniendo en cuenta, que inicialmente, en la realización de esta investigación, se buscó información referente a registros de análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos e inventario de vertimientos, con el fin de conocer la calidad del agua años atrás, pero fue imposible ya que hay muy poca existencia de alguno. Por ende, se formuló esta propuesta para que se realicen programas de control y seguimiento que permitan conocer la calidad del agua de Caño Grande en diferentes puntos y tiempos.

Tabla 25.

Ficha °6, Programa para el manejo integral del recurso hídrico de la microcuenca de Caño Grande

| FICHA °6                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                  |                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Programa para el manejo integral del recurso hídrico de la microcuenca de Caño Grande          |                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                  |                                                 |
| IMPACTOS POTENCIALES                                                                           |                                                                                                                                                                                                                 | ACTIVIDADES GENERADORAS DEL EFECTO                                                                                                                                               |                                                 |
| -                                                                                              | Contaminación del afluente                                                                                                                                                                                      | -                                                                                                                                                                                | Vertimientos de aguas residuales domésticas.    |
| -                                                                                              | Alternación de la dinámica de caño Grande                                                                                                                                                                       | -                                                                                                                                                                                | Desconocimiento de la importancia de cuidar las |
| -                                                                                              | Alteración del paisaje                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                  | fuentes hídricas.                               |
| -                                                                                              | Perdida de biota acuática                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                  |                                                 |
| PROPUESTA                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                  |                                                 |
| Formular programas para la gestión integral del recurso hídrico de la microcuenca Caño grande. |                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                  |                                                 |
| TIPO DE MEDIDA A EJECUTAR                                                                      |                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                  |                                                 |
| CONTROL                                                                                        | PREVENCIÓN                                                                                                                                                                                                      | MITIGACIÓN                                                                                                                                                                       | COMPENSACIÓN                                    |
| X                                                                                              | X                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                  |                                                 |
| ACTIVIDADES PROPUESTAS                                                                         |                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                  |                                                 |
| -                                                                                              | Divulgación de los planes relacionados con el manejo y gestión del recurso hídrico y de la reglamentación (PORH, POMCA, PSMV, PGIRS)                                                                            |                                                                                                                                                                                  |                                                 |
| -                                                                                              | Proporcionar información relacionada con el estado actual del caño y sucesos anteriores que hayan generado cambios o impactos sobre el recurso.                                                                 |                                                                                                                                                                                  |                                                 |
| -                                                                                              | Implementar sistemas convencionales y/o no convencionales para la recolección, transporte y tratamiento de aguas residuales domésticas generadas por los asentamientos que están fuera del perímetro sanitario. |                                                                                                                                                                                  |                                                 |
| -                                                                                              | Capacitar a los funcionarios de Cormacarena con las competencias necesarias para operar el modelo de simulación de calidad de agua con miras a la toma de decisiones relacionada con el afluente Caño Grande.   |                                                                                                                                                                                  |                                                 |
| RESPONSABLES                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                 | PUNTO DE APLICACIÓN                                                                                                                                                              |                                                 |
| -                                                                                              | Cormacarena                                                                                                                                                                                                     | <b>PM1</b> (Barrio Playa Rica y Villa Sonia), <b>PM2</b> (Barrio Villa del Río y Catumare), <b>PM3</b> (Barrio Guatapé y Divino Niño), <b>PM4</b> (Barrio El rubí y Margaritas). |                                                 |

**Tabla 25.** (Continuación)

| <b>COSTO APROXIMADO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| El costo aproximado será establecido por la corporación, ya que es una entidad gubernamental con presupuestos limitados. Teniendo en cuenta esto y las características que requiere la formulación de un programa integral para la microcuenca de Caño Grande (estudios, tiempo, personal, instrumentos, herramientas, software, etc.) se establece un valor aproximado que puede fluctuar ampliamente. |              |
| <b>TOTAL</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | \$50'000.000 |

*Nota:* Programa para el manejo integral del recurso hídrico de la microcuenca de Caño Grande, impactos, responsables, punto de aplicación y costos aproximados. Por Guerrero, 2018.

Esta propuesta se determinó teniendo en cuenta los programas y proyectos establecidos en el PORH del río Ocoa, caño Buque y Maizaro, formulados por Cormacarena, que permitieron la definición de las actividades propuestas en este programa.

**Tabla 26.**

*Ficha °7, Control en el área de expansión de asentamientos.*

| <b>FICHA °7</b>                                                                                                                                                                                                            |                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Control en el área de expansión de asentamientos                                                                                                                                                                           |                                                                     |
| <b>IMPACTOS POTENCIALES</b>                                                                                                                                                                                                | <b>ACTIVIDADES GENERADORAS DEL EFECTO</b>                           |
| - Contaminación del afluente                                                                                                                                                                                               | - Vertimientos de aguas residuales domésticas.                      |
| - Alternación de la dinámica de caño Grande                                                                                                                                                                                | - Desconocimiento de la importancia de cuidar las fuentes hídricas. |
| - Alteración del paisaje                                                                                                                                                                                                   | - Aumento en la vulnerabilidad por desastres naturales              |
| - Pérdida de biota acuática                                                                                                                                                                                                |                                                                     |
| - Deforestación para la instalación de viviendas                                                                                                                                                                           |                                                                     |
| - Movimientos de remoción de masa                                                                                                                                                                                          |                                                                     |
| <b>PROPUESTA</b>                                                                                                                                                                                                           |                                                                     |
| <b>Realizar control sobre el área de influencia con el fin de evitar la instalación de nuevos asentamientos para así conservar las características del recurso hídrico y evitar impactos negativos más significativos.</b> |                                                                     |

Tabla 26. (Continuación)

| TIPO DE MEDIDA A EJECUTAR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |                                                                                                |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| CONTROL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | PREVENCIÓN | MITIGACIÓN                                                                                     | COMPENSACIÓN |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | X          |                                                                                                |              |
| ACTIVIDADES PROPUESTAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |            |                                                                                                |              |
| <div> <div>-</div> <div>A través del POT controlar y delimitar el área de expansión urbana.</div> </div> <div> <div>-</div> <div>Prohibir la construcción de viviendas en zonas de alto riesgo por las condiciones actuales del ecosistema.</div> </div> <div> <div>-</div> <div>Evitar procesos de deforestación y remoción de la capa vegetal para la instalación de viviendas.</div> </div> <div> <div>-</div> <div>Promover el cuidado de las zonas de protección ambiental pertenecientes al caño.</div> </div> <div> <div>-</div> <div>Promover campañas de reforestación y conservación del recurso hídrico.</div> </div> |            |                                                                                                |              |
| RESPONSABLES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |            | PUNTO DE APLICACIÓN                                                                            |              |
| <div>-</div> <div>Alcaldía del Meta</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            | <div>PM1</div> <div>(Barrio Playa Rica y Villa Sonia),</div> <div>PM2</div> <div>(Barrio</div> |              |
| <div>-</div> <div>Cormacarena</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |            | <div>Villa del Río y Catumare),</div> <div>PM3</div> <div>(Barrio Guatapé y</div>              |              |
| <div>-</div> <div>Policía ambiental.</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |            | <div>Divino Niño),</div> <div>PM4</div> <div>(Barrio El rubí y Margaritas).</div>              |              |
| COSTO APROXIMADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |            |                                                                                                |              |
| <div>Esta propuesta va dirigida a la utilización de información contenida en el POT y del cumplimiento de la normatividad colombiana, por tal razón los costos serian dirigidos propiamente a la promoción del cuidado de las zonas de protección ambiental, reforestación y conservación a través de campañas ambientales.</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                |            |                                                                                                |              |
| TOTAL                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                                                                                                | \$800.000    |

*Nota:* propuesta de Control en el área de expansión de asentamientos., impactos, responsables, punto de aplicación y costos aproximados. Por Guerrero, 2018.

Con el fin de evitar nuevos asentamientos humanos ilegales sobre el área de protección ambiental que corresponde al caño, se recomienda utilizar la información inmersa en el POT y mejorar las condiciones de vigilancia y control por las autoridades competentes con el fin de evitar la construcción de viviendas que interfieran en la conservación y protección del recurso.

### Conclusiones

En función de los resultados obtenidos a través de la utilización del ICA-NSF, mediante el estudio de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, en los cuatro puntos de muestreo seleccionados para evaluar la calidad del agua, se observó que en la mayoría de los casos los parámetros presentaban valores que no sobrepasaban los límites establecidos en la normatividad nacional, con excepción de los Coliformes Fecales donde el valor mínimo registrado fue 2.420 y el máximo 24.196, cuando el Art 42 del Decreto 1594 de 1984 establece como valor máximo 200 microorganismos/100 ml, lo que indica contaminación, en este caso, por descargas de aguas residuales domésticas. Estos parámetros permitieron determinar, que la calidad del afluente es buena en casi todos los puntos de muestreo con excepción del último punto en temporada de baja pluviosidad que presento una calidad mediana. Teniendo en cuenta lo anterior se determina que los vertimientos de aguas residuales que existen a lo largo de la trayectoria del caño, son la principal causa que el índice no arroje una calidad excelente influenciado por la alta presencia de coliformes fecales.

Aunque la calidad del afluente en general es buena según el ICA-NSF, se encontró que la temporada climática en que son registrados los datos y el número de vertimientos de aguas residuales domésticas realizadas directamente sobre el afluente sin ningún tratamiento previo, influyen en los valores de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del caño y a su vez en la calidad del agua en un tiempo y espacio determinado. En donde se altera considerablemente la cantidad de coliformes fecales aumentando en casi un 1000% entre el mes de alta pluviosidad al de baja pluviosidad. Cabe mencionar, que bajo estas características el agua no puede ser utilizada para consumo humano, pero de igual forma no requiere de exhaustivos tratamientos para su descontaminación gracias a las condiciones que presenta.

La recolección de información primaria, la identificación de vertimientos y la determinación del ÍNSF, permitieron enfocar las propuestas hacia fines concretos que busquen mejorar las condiciones actuales del afluente y la calidad de vida para quienes habitan dentro de la ronda. Ya que, si no se controlan los vertimientos generados por las actividades domésticas, la calidad del

agua seguirá disminuyendo, trayendo consigo no solo consecuencias negativas para el afluente sino también problemas de salud pública sobre la población más vulnerable. Teniendo en cuenta que la propuesta más importante que debe implementarse es la propuesta número cuatro de realizar un estudio de factibilidad que permita identificar la viabilidad de trasladar a las personas que habitan dentro de la ronda hídrica a otra zona, para la recuperación de la misma ya que esta tendría como resultado una acción de mejora al recurso hídrico y recuperación de cobertura vegetal, aun así mitigando en gran magnitud la afectación por parte de 236 viviendas que se encuentran situadas dentro de la ronda hídrica.

### Discusión

Esta investigación a través de la aplicación del ICA-NSF buscó determinar propuestas dirigidas a mejorar la calidad del agua de Caño Grande, impactado por el constante vertimiento de aguas residuales domésticas provenientes de la población que habita cerca y sobre la ronda hídrica; esto a través del análisis de ocho variables fisicoquímicas y un elemento biótico: los Coliformes Fecales, en cuatro puntos de muestreo, para temporada de baja pluviosidad y alta pluviosidad.

En el análisis realizado in-situ se encontró que los valores de pH registrados en la temporada de alta pluviosidad (octubre) en los cuatro puntos de muestreo, no sobrepasaron los valores máximos permisibles establecidos en el decreto 1594 de 1984. Sin embargo, en temporada de baja pluviosidad (diciembre), en los cuatro puntos de muestreo, los valores están por debajo del límite inferior establecido en la normativa, lo que puede ocasionar la reducción de la diversidad por estrés o problemas en los procesos de reproducción en la fauna acuática. Para el caso de Temperatura y SDT en ambas temporadas los datos no superan los valores de referencia. Cabe mencionar que teniendo en cuenta los datos obtenidos en estudios anteriores, para este caso se registraron valores de pH más bajos con un mínimo de 5,86, mientras que en la Temperatura no se identifican cambios relevantes y en Sólidos Disueltos Totales el valor es más bajo (126,75 mg/L) a comparación de los análisis realizados en el desarrollo del estudio de impacto ambiental de la doble calzada Villavicencio-Acacias, en donde se registró un valor de SDT de 158 mg/L.

Otros de los parámetros estudiados, pero esta vez, en un laboratorio particular (TECNOAMBIENTAL S.A.S.) fueron la DBO, Fosfatos, Nitratos, Turbiedad, Coliformes Fecales y OD, en donde se encontró en el análisis realizado, que en temporada de baja pluviosidad los valores de Fosfatos, Nitratos, Turbiedad y Coliformes fueron más altos en comparación con la temporada de alta pluviosidad. Para la DBO se presenta un comportamiento contrario, en donde se observan valores más altos en temporada de alta pluviosidad que en temporada de baja pluviosidad, y en el Oxígeno Disuelto no se ve un comportamiento de disminución o aumento característico de la temporada. Por último, cabe mencionar que los valores de estas variables cumplen con los límites establecidos en diferentes normativas, sin embargo, evidencian

alteraciones en la calidad del agua, generadas por los vertimientos de aguas residuales domésticas. Considerando los estudios realizados con anterioridad en el afluente, en donde se analizaron algunas de estas variables, se encontró que, para la DBO en el estudio de impacto ambiental para el proyecto vial en ejecución, el valor fue de 5mg/l, valor que sigue siendo relativamente bajo y que no indica un alto nivel de contaminación. Para el Oxígeno Disuelto no se identifican variaciones considerables entre los resultados de los estudios y los de esta investigación. En la Turbiedad, los valores más altos se presentaron en esta investigación y, por último, en los dos estudios de referencia y en este, se observó presencia de Coliformes Fecales, como principal indicador de contaminación por descargas de aguas residuales domésticas.

Posteriormente la aplicación del índice permitió conocer que la calidad del agua en los puntos de muestreo seleccionados en las dos temporadas climáticas, están en un rango entre 69,56 y 79,13, indicando una calidad buena en casi todos los casos, a excepto en un punto, con calidad mediana. Teniendo en cuenta que el agua en el rango de buena calidad, para su consumo requeriría una purificación menor ya que se encuentra algún agente contaminante y por lo tanto es menor su calidad; pero para el agua en el rango de mediana calidad específicamente en el punto de muestreo 4, para su consumo necesitaría de tratamiento potabilizador. Ahora bien, el comportamiento de los valores de los índices, se identificó que debido a los 81 vertimientos de aguas residuales domésticas realizados a lo largo de la trayectoria del caño, la calidad del agua no es excelente, y que esta disminuye a medida que avanza su cauce, considerando que los asentamientos humanos se han localizado dentro y cerca de la ronda hídrica a lo largo del afluente, impactando recursos naturales como el agua, ya que vierten estas aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento y generan otro tipo de impactos negativos sobre este (disposición de residuos sólidos, cambio de uso del suelo, deforestación, erosión, pérdida en la biodiversidad, alteración del paisaje, y entre otras)

Teniendo en cuenta el resultado de los índices en los cuatro puntos de muestreo, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y se determinaron las fuentes de variabilidad. Que dio como resultado que las medidas en tiempo de alta pluviosidad y baja pluviosidad son un factor importante a tener en cuenta y que el efecto de haber tomado las muestras en diferentes partes de la microcuenca de Caño Grande es otro factor relevante en la investigación.

Por último, gracias a la información recolectada in-situ, el reconocimiento de los vertimientos realizados sobre el afluente, el ICA-NSF y la matriz de doble entrada, se determinaron propuestas enfocadas a mejorar la calidad del agua en los puntos de estudio afectados.

### **Recomendaciones**

Se recomienda la realización de monitoreos con frecuencia no mayores a tres meses que permitan hacer un seguimiento del estado del caño, acompañado de un inventario de vertimientos, teniendo en cuenta que al momento de realizar esta investigación no se encontraron registros que permitieran conocer el estado del caño tiempo atrás, ni tampoco un conteo de las descargas que este recibe.

Debido a los cambios climáticos registrados en la actualidad, se recomienda tomar más de una muestra para cada temporada en meses diferentes, con el fin de observar con mayor confiabilidad la influencia que tiene la temporada climática en los resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las muestras.

Se recomienda el uso del ICA-NSF, debido a la alta confiabilidad que brinda, y el número de investigaciones que lo han utilizado, además de la posibilidad que tiene para adaptarse a las condiciones específicas de una fuente hídrica determinada, ya que, si llegase a presentarse la ausencia de un parámetro por dificultades en su lectura, este puede omitirse del modelo y su subíndice sería distribuido en los demás subíndices.

Se recomienda la realización de este tipo de proyectos, ya que se tiene conocimiento que esta situación se presenta en otros afluentes (caños) del municipio, lo que afecta gravemente sus condiciones normales y la calidad de vida de quienes habitan cerca a estos, que por la carencia de estudios y monitoreos sobre las fuentes hídricas no se conoce el estado actual de la calidad del agua lo que impide aplicar medidas de control, prevención, compensación y mitigación.

### Bibliografía

- Alcaldía de Villavicencio. (2015). *Documento técnico de soporte de gestión del riesgo*. Secretaria de planeación municipal. Villavicencio, Meta: Equipo Formulator. Obtenido de <http://antigua.villavicencio.gov.co/>
- Cárdenas, A. C. (2007). *Evaluación del desempeño de humedales construidos con plantas nativas tropicales para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios*. España: Escuela técnica superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla. Tesis magistral.
- Carrillo, M. S., & Urgilés, P. D. (2016). *Determinación del Índice de Calidad del Agua ICA-NSF de los ríos Mazar y Pindiling*. Ecuador: Universidad de Cuenca. Tesis de pregrado.
- Castro, M., Almeila, J., & Ferrer, J. (2014). Indicadores de la Calidad del Agua: Evolución y tendencias a Nivel Global. *Index*, 111-124. .
- Coello, J., Ormaza, R., Déley, Á., & Ríos, A. (2013). *Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocha-Parque Nacional Sangay-Ecuador*. Ecuador: Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas.
- Corporación Autónoma Regional del Tolima [CORTOLIMA]. (2016). *Calidad de aguas: Factores físico-químicos y bacteriológicos de los ecosistemas acuáticos*. Informe técnico , Tolima. Obtenido de <https://www.cortolima.gov.co/>
- Decreto 1541. (1978). *Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973*. Bogotá, D.C: Presidencia de la república de Colombia.
- Decreto 1594. (26 de Junio de 1984). *Usos del agua y residuos líquidos*. Bogotá, D.C: Presidencia de la república de Colombia.
- Decreto 2811. (1974). *Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*. Bogotá, D.C: Presidencia de la República de Colombia.
- Decreto 3930. (2010). *Cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones*. Bogotá, D.C: Presidencia de la República de Colombia.

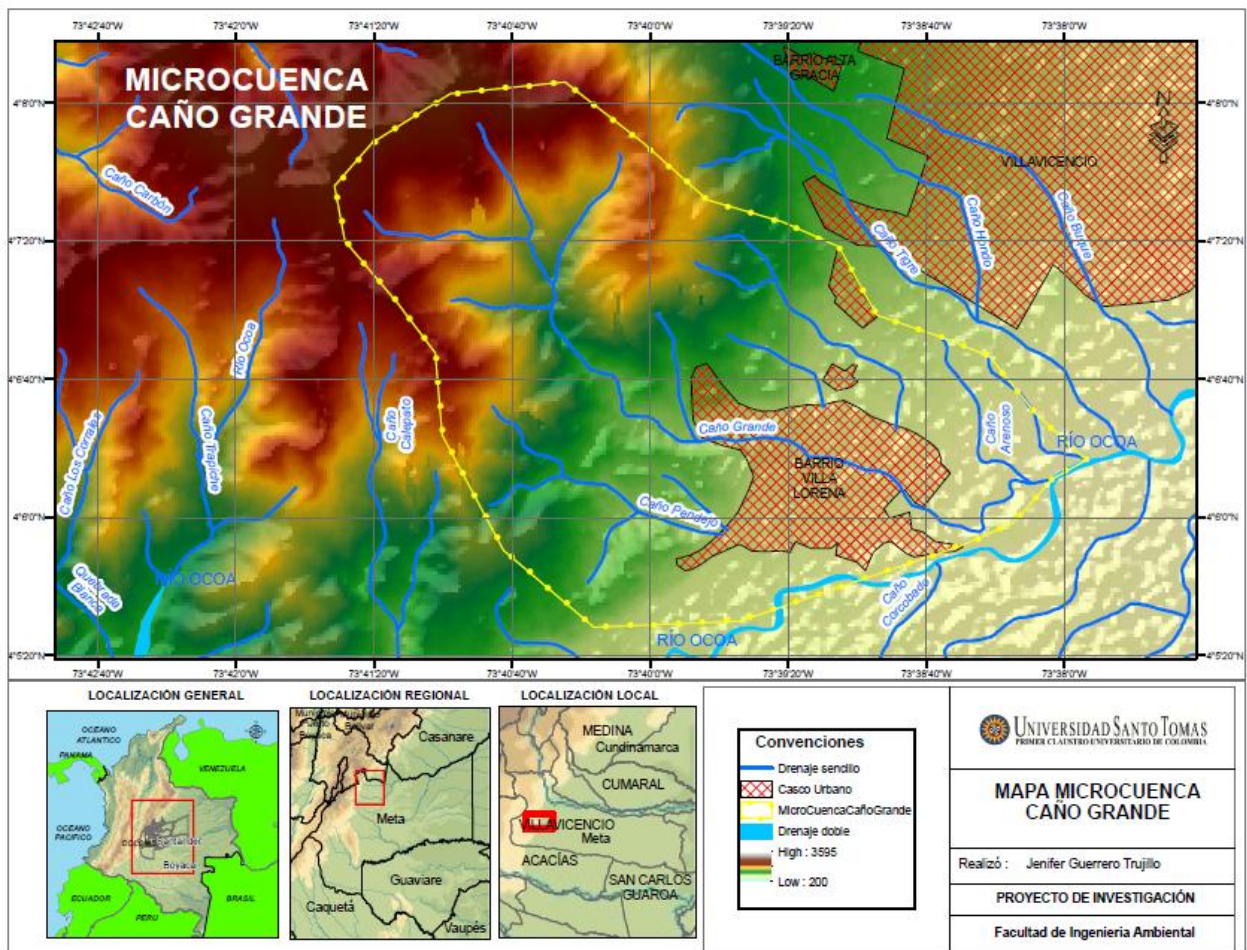
- Díaz, C. (2004). *Procesos de autodepuración del agua*. Universidad Industrial de Santander. Santander, Colombia.
- Fundación Nacional de Saneamiento [NSF]. (S.f). *Definición NSF-Consumer Resource. NSF International*. Obtenido de <http://www.nsf.org/consumer-resources/>
- Gamboa, J., Gómez, R., Cárdenas, M., & Campos, C. (2006). *Comportamiento de coliformes fecales como indicadores bacterianos de contaminación fecal en utilizando diferentes mezclas de biosólido y estériles utilizados para la restauración ecológica de la cantera Soratoma*. Bogotá. Tesis de pregrado
- Gil, J. A. (2014). *Determinación de la calidad del agua mediante variables físico-químicas, y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del río Garagoa*. Manizalez: Universidad de Manizalez. Tesis magistral.
- Gómez, A. S. (2013). *Evaluación de la calidad ecológica del agua utilizando macroinvertebrados acuáticos en la parte alta y media en la cuenca del río Felidia*. Santiago de Cali, Valle del Cauca: Universidad autónoma del occidente. Facultad de Ciencias Básicas. Tesis de pregrado.
- González, M. (2017). *Ciencia- Tecnología e Innovación*. Villavicencio: Fundacyt+i. Obtenido de <http://www.fundacyticolombia.org/>
- González, V., Caicedo, O., & Aguirre, N. (2013). *Aplicación de los índices NSF, DINIUS y BMWP para el análisis de la calidad de agua de la Quebrada La Ayurá, Antioquia Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. 16(1)
- Grupo ODINSA S.A. & TECNO Ambiental Ltda. (2007). *Calidad del Agua y Aire para la línea base ambiental del proyecto "Segunda Calzada Villavicencio - Acacías Sector Parque Fundadores (K0+000) - Ciudad Porfia (K5+000)*. Villavicencio: Consultoria Colombiana.
- Instituto Colombiano de Bienestar Familiar [ICBF]. (2017). *Guía para la actualización de los planes de gestión ambiental*. Bogotá: Servicios Administrativos. Obtenido de <https://www.icbf.gov.co/>
- Instituto De Hidrología, Meteorología Y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2015). *Aguas superficiales*. Bogotá, D.C: Ministerio de Medio Ambiente. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/>

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2010). *Atlas Climatológico de Colombia*. Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2010). *Atlas de predicciones meteorológicas decadal para principales ciudades*. Informe técnico , Villavicencio. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales [IDEAM]. (2010). *Guía para le monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas*. Bogotá: IDEAM. Obtenido de <http://oab.ambientebogota.gov.co/>
- Livingstone, D. (1963). *Chemical composition of rivers and lakes*. Washington: Professional paper (Geological Survey (U.S.)).
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2004). *Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales*. Bogotá. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co/>
- Ordoñez, J., & Oviedo, E. (2004). *Identificación de vertimientos puntuales y tomas de agua en los cauces de los ríos Mélenz , Cañaveralejo y quebradas afluentes en el perímetro de urbano*. Santiago de Cali: DAGMA. Informe ejecutivo.
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2014). *Decenio Internacional para la Acción 'El agua, fuente de vida' 2005-2015*. Departamento de asuntos económicos y sociales de naciones unidas.
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2015). *Implementación de mejoras para la calidad del agua y la protección de servicios ecosistémicos* . ONU. Obtenido de <http://www.un.org/>
- Organización Meteorológica Mundial. (1997). *¿Hay suficiente agua en el mundo?* Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (Noviembre de 2018). *Agua y Salud: consecuencias económicas y social*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación [FAO]. (2008). *Apoyo a la rehabilitación productiva y el manejo sostenible de microcuencas en*. Nota técnica 1 GCP/ELS/008/SPA. Obtenido de <http://www.fao.org/>
- Resolución 0631. (2015). *Parámetros y valores límites permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público*. Bogotá, D.C: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

- Reynolds, K. (2002). *Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamerica* . De la Llave.
- Samboni, N., Carvajal, Y., & Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181.
- Sánchez, F., Gutierrez, G., Ospina, C., & Díaz, C. (2013). *Estado de mejoramiento del acueducto comunitario de Playa Rica, Villavicencio*. Universidad Central. Tesis de pregrado.
- Secretaría Local de Salud. (2008). *Plan territorial de Salud*. Villavicencio: Alcaldía de Villavicencio.
- Sistema de Informacion Ambiental en Colombia [SIAC]. (2012). *Calidad del agua*.
- Tamayo, I. (2009). Análisis de varianza con SPSS: Modelos ANOVA. 25-31. Bogotá: Universidad de Granada.
- Torres, P., Cruz, C., Patiño, P., Escobar, J., & Pérez, A. (Diciembre de 2010). Aplicación de Índices de calidad del agua- ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano. *Ingeniería e Investigación*, 30(3), 86-95.
- Universidad Autónoma De Madrid [UAM]. (2009). *Introducción al SPSS, manejo y procesamiento básico de datos básicos en SPSS*. Obtenido de <https://www.uam.es/>
- Universidad Complutense. (2015). *Descripción de la temperatura en el agua como indicador*. Universidad Complutense.
- Universidad de Pamplona [UNIPAMPLONA]. (2009). Índices de calidad y de contaminación del agua de importancia mundial. En Anónimo. Obtenido de <http://www.unipamplona.edu.co/>

## Anexos

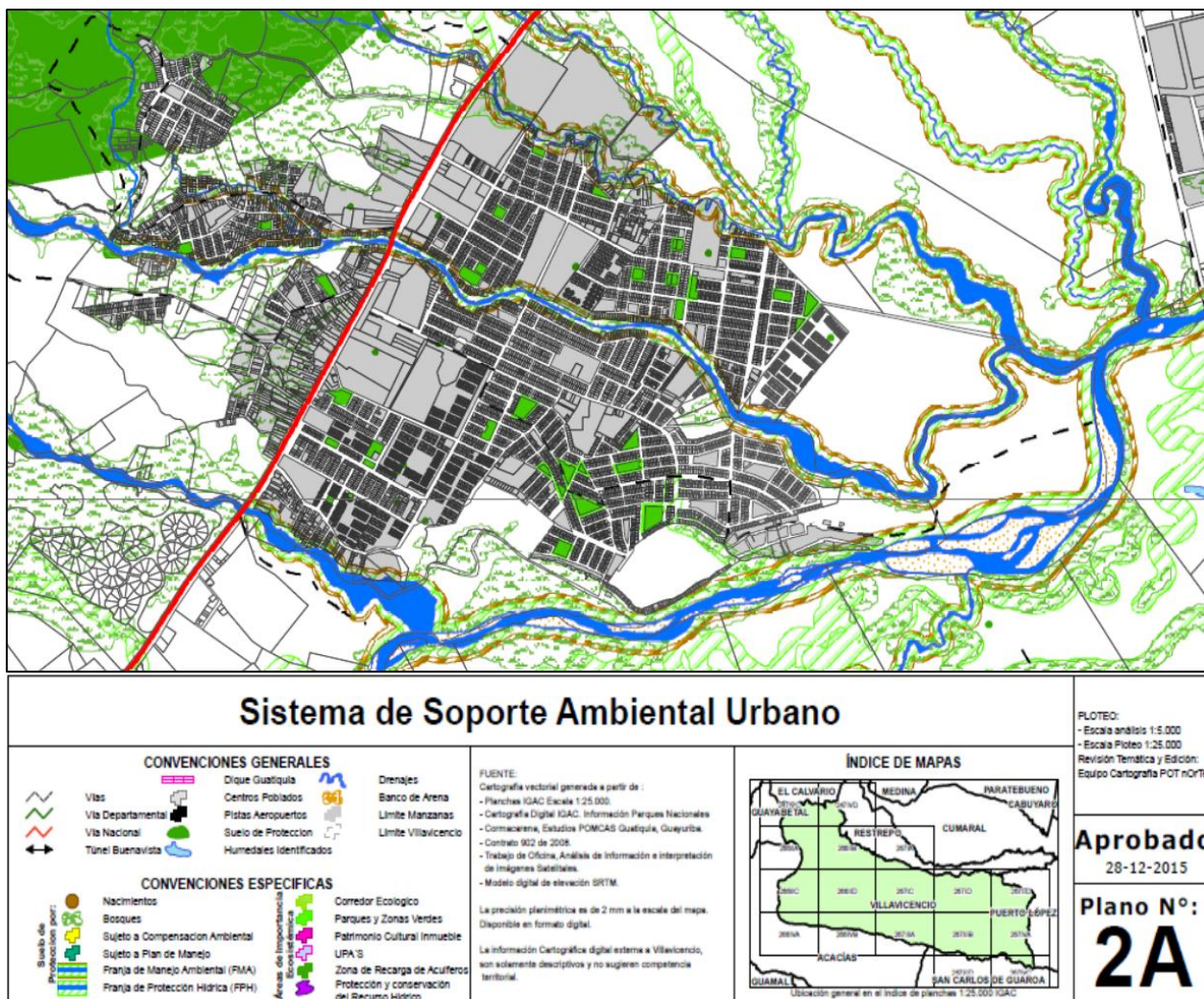
## Anexo 1 Ubicación de la Microcuenca Caño Grande



Ubicación de la microcuenca, por Guerrero, 2018.a partir del Software ArcGis 10.3,

***Anexo 2.*** Ubicación de los puntos de muestreo

### Anexo 3 Mapa de soporte ambiental de la Comuna 8



Por Alcaldía de Villaviccino, 2015

**Anexo 4.** Inventario de vertimientos al recurso hídrico de caño Grande

| <b>Punto<br/>de<br/>muestreo</b> | <b>Vertimientos</b> | <b>*Coordenadas</b> |               | <b>Fecha</b>   |
|----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------|----------------|
|                                  |                     | <b>N</b>            | <b>W</b>      |                |
| 1                                | 1                   | 4° 6'42,44''        | 73°40'17,84"  | 20 – 08 - 2017 |
| 1                                | 2                   | 4° 6'33,29''        | 73°40'8,72''  | 20 – 08 - 2017 |
| 2                                | 3                   | 4°6'25,16"          | 73°39'52,24'' | 20 – 08 - 2017 |
| 2                                | 4                   | 4°6'23,91"          | 73°39'52,93"  | 20 – 08 – 2017 |
| 2                                | 5                   | 4°6'23,24"          | 73°39'52,42"  | 20 – 08 – 2017 |
| 2                                | 6                   | 4°6'24,09"          | 73°39'52,34"  | 20 – 08 – 2017 |
| 2                                | 7                   | 4°6'22,07"          | 73°39'49,92"  | 20 – 08 - 2017 |
| 2                                | 8                   | 4°6'22,26"          | 73°39'48,41"  | 20 – 08 – 2017 |
| 2                                | 9                   | 4°6'22,67"          | 73°39'47,7"   | 20 – 08 – 2017 |
| 2                                | 10                  | 4°6'22,74"          | 73°39'48,07"  | 20 – 08 – 2017 |
| 2                                | 11                  | 4°6'22,24"          | 73°39'46,87"  | 20 – 08 - 2017 |
| 2                                | 12                  | 4°6'21,98"          | 73°39'45,61"  | 20 – 08 – 2017 |
| 2                                | 13                  | 4°6'21,71"          | 72°39'46,46"  | 20 – 08 – 2017 |
| 2                                | 14                  | 4°6'21,88"          | 73°39'45,36"  | 20 – 08 – 2017 |
| 2                                | 15                  | 4°6'21,73"          | 73°39'44,98"  | 20 – 08 - 2017 |
| 2                                | 16                  | 4°6'21,78"          | 73°39'45,17"  | 20 – 08 – 2017 |
| 2                                | 17                  | 4°6'21,08"          | 73°39'43,89"  | 20 – 08 – 2017 |
| 2                                | 18                  | 4°6'21,56"          | 73°39'44,56"  | 20 – 08 – 2017 |
| 2                                | 19                  | 4°6'20,16"          | 73°39'41,68"  | 20 – 08 - 2017 |
| 2                                | 20                  | 4°6'20,58"          | 73°39'40,78"  | 20 – 08 – 2017 |
| 2                                | 21                  | 4°6'20,51"          | 73°39'39,95"  | 20 – 08 – 2017 |
| 2                                | 22                  | 4°6'22,22"          | 73°39'35,2"   | 20 – 08 – 2017 |
| 2                                | 23                  | 4°6'22,04"          | 73°39'34,4"   | 20 – 08 - 2017 |
| 2                                | 24                  | 4°6'21,9"           | 73°39'35,26"  | 20 – 08 – 2017 |
| 2                                | 25                  | 4°6'22,45"          | 73°39'29,36"  | 20 – 08 – 2017 |
| 2                                | 26                  | 4°6'22,92"          | 73°39'28,39"  | 20 – 08 – 2017 |

| Punto<br>de<br>muestreo | Vertimientos | *Coordenadas |              | Fecha          |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
|                         |              | N            | W            |                |
| 2                       | 27           | 4°6'23,08"   | 73°39'26,64" | 20 – 08 - 2017 |
| 2                       | 28           | 4°6'23,35"   | 73°39'26,93" | 20 – 08 – 2017 |
| 2                       | 29           | 4°6'22,43"   | 73°39'27,4"  | 20 – 08 – 2017 |
| 2                       | 30           | 4°6'23,15"   | 73°39'25,88" | 20 – 08 – 2017 |
| 2                       | 31           | 4°6'22,77"   | 73°39'24,22" | 20 – 08 - 2017 |
| 2                       | 32           | 4°6'23,84"   | 73°39'23,3"  | 20 – 08 – 2017 |
| 2                       | 33           | 4°6'23,09"   | 73°39'25,68" | 20 – 08 – 2017 |
| 2                       | 34           | 4°6'22,75"   | 73°39'21,99" | 20 – 08 – 2017 |
| 2                       | 35           | 4°6'22,59"   | 73°39'20,96" | 20 – 08 - 2017 |
| 2                       | 36           | 4°6'22,22"   | 73°39'20,68" | 20 – 08 – 2017 |
| 2                       | 37           | 4°6'21,86"   | 73°39'20,26" | 20 – 08 – 2017 |
| 2                       | 38           | 4°6'21,92"   | 73°39'19,01" | 20 – 08 – 2017 |
| 2                       | 39           | 4°6'21,62"   | 73°39'18,29" | 20 – 08 - 2017 |
| 2                       | 40           | 4°6'21,4"    | 73°39'17,9"  | 20 – 08 – 2017 |
| 2                       | 41           | 4°6'21,29"   | 73°39'18,09" | 20 – 08 – 2017 |
| 2                       | 42           | 4°6'20,72"   | 73°39'17,03" | 20 – 08 – 2017 |
| 2                       | 43           | 4°6'19,95"   | 73°39'15,95" | 20 – 08 – 2017 |
| 3                       | 44           | 4°6'19,38"   | 73°39'15,89" | 09 – 09 – 2017 |
| 3                       | 45           | 4°6'18,79"   | 73°39'15,45° | 09 – 09 - 2017 |
| 3                       | 46           | 4°6'20,43"   | 73°39'16,7"  | 09 – 09 – 2017 |
| 3                       | 47           | 4°6'18,17"   | 73°39'14,85" | 09 – 09 - 2017 |
| 3                       | 48           | 4°6'16,51"   | 73°39'12,46" | 09 – 09 – 2017 |
| 3                       | 49           | 4°6'17,88"   | 73°39'13,88" | 09 – 09 - 2017 |
| 3                       | 50           | 4°6'17,07"   | 73°39'11,35" | 09 – 09 – 2017 |
| 3                       | 51           | 4°6'17,1"    | 73°39'11,22" | 09 – 09 - 2017 |
| 3                       | 52           | 4°6'17,76"   | 73°39'13,34" | 09 – 09 – 2017 |
| 3                       | 53           | 4°6'17,95"   | 73°39'8,85"  | 09 – 09 - 2017 |

| Punto<br>de<br>muestreo | Vertimientos | *Coordenadas |              | Fecha          |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
|                         |              | N            | W            |                |
| 3                       | 54           | 4°6'17,34"   | 73°39'7,24"  | 09 – 09 – 2017 |
| 3                       | 55           | 4°5'1"       | 73°38'37,3"  | 09 – 09 - 2017 |
| 3                       | 56           | 4°5'57,7"    | 73°38'33,9"  | 09 – 09 – 2017 |
| 3                       | 57           | 4°5'57,9"    | 73°38'32"    | 09 – 09 - 2017 |
| 3                       | 58           | 4°5'58"      | 73°38'30,9"  | 09 – 09 – 2017 |
| 3                       | 59           | 4°5'58,3"    | 73°38'29,9"  | 09 – 09 - 2017 |
| 3                       | 60           | 4°5'58,1"    | 73°38'28,11" | 09 – 09 – 2017 |
| 3                       | 61           | 4°5'59,2"    | 73°38'25,5"  | 09 – 09 - 2017 |
| 3                       | 62           | 4°5'59,5"    | 73°38'25,5"  | 09 – 09 – 2017 |
| 3                       | 63           | 4°6'0,8"     | 73°38'25,3"  | 09 – 09 - 2017 |
| 3                       | 64           | 4°6'1"       | 73°38'25,2"  | 09 – 09 – 2017 |
| 3                       | 65           | 4°6'1,5"     | 73°38'24,8"  | 09 – 09 - 2017 |
| 3                       | 66           | 4°6'2"       | 73°38'24,6"  | 09 – 09 – 2017 |
| 3                       | 67           | 4°6'3,4"     | 73°38'24,1"  | 09 – 09 - 2017 |
| 3                       | 68           | 4°6'3,7"     | 73°38'24,1"  | 09 – 09 – 2017 |
| 4                       | 69           | 4°6'3,8"     | 73°38'24"    | 09 – 09 - 2017 |
| 4                       | 70           | 4°6'4,3"     | 73°38'18,4"  | 09 – 09 – 2017 |
| 4                       | 71           | 4°6'4,4"     | 73°38'17,8"  | 09 – 09 - 2017 |
| 4                       | 72           | 4°6'4,8"     | 73°38'16,6"  | 09 – 09 – 2017 |
| 4                       | 73           | 4°6'5,2"     | 73°38'16"    | 09 – 09 - 2017 |
| 4                       | 74           | 4°6'5,5"     | 73°38'15,4"  | 09 – 09 – 2017 |
| 4                       | 75           | 4°6'6,3"     | 73°38'14,8"  | 09 – 09 - 2017 |
| 4                       | 76           | 4°6'7,1"     | 73°38'15,1"  | 09 – 09 – 2017 |
| 4                       | 77           | 4°6'7,8"     | 73°30'15,3"  | 09 – 09 - 2017 |
| 4                       | 78           | 4°6'8,1"     | 73°38'16"    | 09 – 09 – 2017 |
| 4                       | 79           | 4°6'10,1"    | 73°38'15,3"  | 09 – 09 - 2017 |
| 4                       | 80           | 4°6'11,3"    | 73°38'15,3"  | 09 – 09 – 2017 |

| Punto<br>de<br>muestreo | Vertimientos | *Coordenadas |             | Fecha          |
|-------------------------|--------------|--------------|-------------|----------------|
|                         |              | N            | W           |                |
| 4                       | 81           | 4°6'11,6"    | 73°38'14,2" | 09 – 09 - 2017 |

\* Tipo de coordenadas Elipsoidales

*Nota:* Ubicación de los puntos de muestreo, en coordenadas geográficas y vertimientos realizados de aguas residuales domésticas. Por Guerrero, 2018.

***Anexo 5.*** Mapa de vertimientos en Caño Grande

**Anexo 6.** Cartera de aforo Caño Grande, temporada lluviosa, PM 1

| CARTERA DE AFORO CAÑO GRANDE                    |           |                        |                    |                       |      |            |                                                                                                                 |                 |                     |                 |                       |
|-------------------------------------------------|-----------|------------------------|--------------------|-----------------------|------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------------|
| Fecha                                           |           | 24 de Octubre del 2017 |                    | Caño                  |      | Grande     |                                                                                                                 | Coordenadas     |                     |                 |                       |
| Sitio                                           |           | Caño Grande-Playa Rica |                    |                       |      |            |                                                                                                                 | N 04°06' 29.07" |                     | W 073°40' 06.1" |                       |
| Descripción del sitio: Gravas y piedras Grandes |           |                        |                    |                       |      |            |                                                                                                                 | Tipo de aforo   |                     | Molinete        |                       |
| Molinete                                        |           | Global Water           |                    | Serie                 |      | 1046106794 |                                                                                                                 | Hélice N°       |                     | -----           |                       |
| T (seg)                                         |           | 60                     |                    | Prof. media= 0.24 m   |      |            | Ancho del cauce= 8 m                                                                                            |                 | Caudal total (m3/s) |                 | 1,079325              |
| Vertical                                        | Dist. (m) | Prof. (m)              | Prof. De lect. (m) | Velocidades (m/s)     |      |            | Sección                                                                                                         |                 |                     |                 | Caudal parcial (m3/s) |
|                                                 |           |                        |                    | Vminp                 | Vmxp | Vp         | Vm                                                                                                              | Ap(m)           | Pm(m)               | A(m2)           |                       |
| OI                                              | 0         | 0                      | 0                  | 0                     | 0    | 0          | ----                                                                                                            | ----            | ----                | ----            | -----                 |
| 1                                               | 0,9       | 0,12                   | 0,06               | 0,33                  | 0,29 | 0,31       | 0,15                                                                                                            | 0,9             | 0,06                | 0,054           | 0,0081                |
| 2                                               | 1,8       | 0,09                   | 0,045              | 0,33                  | 0,33 | 0,33       | 0,32                                                                                                            | 0,9             | 0,105               | 0,0945          | 0,03024               |
| 3                                               | 2,7       | 0,14                   | 0,07               | 0,5                   | 0,49 | 0,49       | 0,41                                                                                                            | 0,9             | 0,115               | 0,1035          | 0,042435              |
| 4                                               | 3,6       | 0,27                   | 0,13               | 0,8                   | 0,71 | 0,75       | 0,62                                                                                                            | 0,9             | 0,205               | 0,1845          | 0,11439               |
| 5                                               | 4,5       | 0,26                   | 0,13               | 0,49                  | 0,54 | 0,51       | 0,63                                                                                                            | 0,9             | 0,265               | 0,2385          | 0,150255              |
| 6                                               | 5,4       | 0,21                   | 0,1                | 0,25                  | 0,37 | 0,32       | 0,41                                                                                                            | 0,9             | 0,235               | 0,2115          | 0,086715              |
| 7                                               | 6,3       | 0,27                   | 0,13               | 0,37                  | 0,5  | 0,43       | 0,37                                                                                                            | 0,9             | 0,24                | 0,216           | 0,07992               |
| 8                                               | 7,2       | 0,35                   | 0,17               | 0,69                  | 0,69 | 0,69       | 0,56                                                                                                            | 0,9             | 0,31                | 0,279           | 0,15624               |
| 9                                               | 8,1       | 0,41                   | 0,2                | 0,44                  | 0,57 | 0,5        | 0,59                                                                                                            | 0,9             | 0,38                | 0,342           | 0,20178               |
| OD                                              | 9         | 0,52                   | 0,26               | 0,44                  | 0,57 | 0,5        | 0,5                                                                                                             | 0,9             | 0,465               | 0,4185          | 0,20925               |
| Convenciones de aforo                           |           |                        |                    |                       |      |            | Caudal Total (m3/s)                                                                                             |                 |                     |                 | 1,079325              |
|                                                 |           |                        |                    |                       |      |            | Observaciones                                                                                                   |                 |                     |                 |                       |
| Vminp = velocidad mínima puntual                |           |                        |                    | Ap= ancho parcial     |      |            | El aforo 1 fue realizado el día 24 de Octubre de 2017 en época de lluvia (mayor precipitación), en Caño Grande. |                 |                     |                 |                       |
| Vmxp = Velocidad máxima Puntual                 |           |                        |                    | Pm= Profundidad media |      |            |                                                                                                                 |                 |                     |                 |                       |
| Vp= velocidad promedio puntual                  |           |                        |                    | A= área de la Sección |      |            |                                                                                                                 |                 |                     |                 |                       |
| Vm = velocidad media en la sección.             |           |                        |                    | Qp= Caudal parcial    |      |            |                                                                                                                 |                 |                     |                 |                       |

Por Guerrero, 2017.

## Anexo 7. Cartera de aforo Caño Grande, temporada lluviosa, PM 2

| CARTERA DE AFORO CAÑO GRANDE                    |           |                           |                    |                       |      |            |                                                                                                                 |                |                     |                 |           |                       |
|-------------------------------------------------|-----------|---------------------------|--------------------|-----------------------|------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------|-----------------|-----------|-----------------------|
| Fecha                                           |           | 24 de Octubre del 2017    |                    | Caño                  |      | Grande     |                                                                                                                 | Coordenadas    |                     |                 |           |                       |
| Sitio                                           |           | Caño Grande-Villa del Río |                    |                       |      |            |                                                                                                                 | N 04°06' 22.3" |                     | W 073°39' 19.3' |           |                       |
| Descripción del sitio: Gravas y piedras Grandes |           |                           |                    |                       |      |            |                                                                                                                 | Tipo de aforo  |                     | Molinete        |           |                       |
| Molinete                                        |           | Global Water              |                    | Serie                 |      | 1046106794 |                                                                                                                 | Hélice N°      |                     | -----           |           |                       |
| T (seg)                                         |           | 60                        |                    | Prof. media= 0.20 m   |      |            | Ancho del cauce= 9 m                                                                                            |                | Caudal total (m3/s) |                 |           | 1,0919925             |
| Vertical                                        | Dist. (m) | Prof. (m)                 | Prof. De lect. (m) | Velocidades (m/s)     |      |            |                                                                                                                 | Sección        |                     |                 |           | Caudal parcial (m3/s) |
|                                                 |           |                           |                    | Vminp                 | Vmxp | Vp         | Vm                                                                                                              | Ap(m)          | Pm(m)               | A(m2)           | Qp        |                       |
| Ol                                              | 0         | 0,08                      | 0,04               | 0,43                  | 0,49 | 0,46       | ----                                                                                                            | -----          | ----                | -----           | -----     |                       |
| 1                                               | 0,9       | 0,2                       | 0,1                | 0,75                  | 0,94 | 0,84       | 0,65                                                                                                            | 0,9            | 0,14                | 0,126           | 0,0819    |                       |
| 2                                               | 1,8       | 0,29                      | 0,16               | 0,75                  | 0,88 | 0,81       | 0,825                                                                                                           | 0,9            | 0,245               | 0,2205          | 0,1819125 |                       |
| 3                                               | 2,7       | 0,17                      | 0,09               | 0,58                  | 0,55 | 0,56       | 0,685                                                                                                           | 0,9            | 0,23                | 0,207           | 0,141795  |                       |
| 4                                               | 3,6       | 0,31                      | 0,17               | 0,58                  | 0,62 | 0,6        | 0,58                                                                                                            | 0,9            | 0,24                | 0,216           | 0,12528   |                       |
| 5                                               | 4,5       | 0,2                       | 0,1                | 0,73                  | 0,8  | 0,76       | 0,68                                                                                                            | 0,9            | 0,255               | 0,2295          | 0,15606   |                       |
| 6                                               | 5,4       | 0,23                      | 0,11               | 0,49                  | 0,51 | 0,5        | 0,63                                                                                                            | 0,9            | 0,215               | 0,1935          | 0,121905  |                       |
| 7                                               | 6,3       | 0,33                      | 0,17               | 0,41                  | 0,43 | 0,42       | 0,46                                                                                                            | 0,9            | 0,28                | 0,252           | 0,11592   |                       |
| 8                                               | 7,2       | 0,16                      | 0,08               | 0,48                  | 0,5  | 0,49       | 0,455                                                                                                           | 0,9            | 0,245               | 0,2205          | 0,1003275 |                       |
| 9                                               | 8,1       | 0,21                      | 0,12               | 0,2                   | 0,2  | 0,2        | 0,345                                                                                                           | 0,9            | 0,185               | 0,1665          | 0,0574425 |                       |
| OD                                              | 9         | 0                         | 0                  | 0                     | 0    | 0          | 0,1                                                                                                             | 0,9            | 0,105               | 0,0945          | 0,00945   |                       |
| Convenciones de aforo                           |           |                           |                    |                       |      |            | Caudal Total (m3/s)                                                                                             |                |                     |                 | 1,0919925 |                       |
|                                                 |           |                           |                    |                       |      |            | Observaciones                                                                                                   |                |                     |                 |           |                       |
| Vminp = velocidad mínima puntual                |           |                           |                    | Ap= ancho parcial     |      |            | El aforo 2 fue realizado el día 24 de Octubre de 2017 en época de lluvia (mayor precipitación), en Caño Grande. |                |                     |                 |           |                       |
| Vmxp = Velocidad máxima Puntual                 |           |                           |                    | Pm= Profundidad media |      |            |                                                                                                                 |                |                     |                 |           |                       |
| Vp= velocidad promedio puntual                  |           |                           |                    | A= área de la Sección |      |            |                                                                                                                 |                |                     |                 |           |                       |
| Vm = velocidad media en la sección.             |           |                           |                    | Qp= Caudal parcial    |      |            |                                                                                                                 |                |                     |                 |           |                       |

Por Guerrero, 2017.

**Anexo 8.** Cartera de aforo Caño Grande, temporada lluviosa, PM 3

| CARTERA DE AFORO CAÑO GRANDE                    |           |                        |                    |                       |      |            |                        |                                                                                                                 |                     |                   |                       |            |
|-------------------------------------------------|-----------|------------------------|--------------------|-----------------------|------|------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|------------|
| Fecha                                           |           | 24 de Octubre del 2017 |                    | Caño                  |      | Grande     |                        | Coordenadas                                                                                                     |                     |                   |                       |            |
| Sitio                                           |           | Caño Grande-Guatapé    |                    |                       |      |            |                        | N 04° 6' 3.43"                                                                                                  |                     | W 073° 38' 42.87" |                       |            |
| Descripción del sitio: Gravas y piedras Grandes |           |                        |                    |                       |      |            |                        | Tipo de aforo                                                                                                   |                     | Molinete          |                       |            |
| Molinete                                        |           | Global Water           |                    | Serie                 |      | 1046106794 |                        | Hélice N°                                                                                                       |                     | -----             |                       |            |
| T (seg)                                         |           | 60                     |                    | Prof. media= 0,29m    |      |            | Ancho del cauce= 7,5 m |                                                                                                                 | Caudal total (m3/s) |                   | 1,47403125            |            |
| Vertical                                        | Dist. (m) | Prof. (m)              | Prof. De lect. (m) | Velocidades (m/s)     |      |            | Sección                |                                                                                                                 |                     |                   | Caudal parcial (m3/s) |            |
|                                                 |           |                        |                    | Vminp                 | Vmxp | Vp         | Vm                     | Ap(m)                                                                                                           | Pm(m)               | A(m2)             |                       | Qp         |
| Ol                                              | 0         | 0                      | 0                  | 0                     | 0    | 0          | ----                   | -----                                                                                                           | ----                | -----             | -----                 |            |
| 1                                               | 0,75      | 0,1                    | 0,05               | 0,13                  | 0,13 | 0,13       | 0,065                  | 0,75                                                                                                            | 0,05                | 0,0375            | 0,0024375             |            |
| 2                                               | 1,5       | 0,1                    | 0,05               | 0,18                  | 0,15 | 0,165      | 0,1475                 | 0,75                                                                                                            | 0,1                 | 0,075             | 0,0110625             |            |
| 3                                               | 2,25      | 0,23                   | 0,12               | 0,33                  | 0,39 | 0,36       | 0,2625                 | 0,75                                                                                                            | 0,165               | 0,12375           | 0,03248438            |            |
| 4                                               | 3         | 0,28                   | 0,14               | 0,36                  | 0,44 | 0,4        | 0,38                   | 0,75                                                                                                            | 0,255               | 0,19125           | 0,072675              |            |
| 5                                               | 3,37      | 0,31                   | 0,16               | 0,84                  | 0,66 | 0,75       | 0,575                  | 0,75                                                                                                            | 0,295               | 0,22125           | 0,12721875            |            |
| 6                                               | 4,5       | 0,52                   | 0,26               | 0,85                  | 0,7  | 0,775      | 0,7625                 | 0,75                                                                                                            | 0,415               | 0,31125           | 0,23732813            |            |
| 7                                               | 5,25      | 0,49                   | 0,25               | 0,93                  | 1,05 | 0,99       | 0,8825                 | 0,75                                                                                                            | 0,505               | 0,37875           | 0,33424688            |            |
| 8                                               | 6         | 0,48                   | 0,24               | 1,16                  | 0,91 | 1,035      | 1,0125                 | 0,75                                                                                                            | 0,485               | 0,36375           | 0,36829688            |            |
| 9                                               | 6,75      | 0,38                   | 0,18               | 0,33                  | 0,5  | 0,415      | 0,725                  | 0,75                                                                                                            | 0,43                | 0,3225            | 0,2338125             |            |
| OD                                              | 7,5       | 0,32                   | 0,16               | 0                     | 0    | 0          | 0,2075                 | 0,75                                                                                                            | 0,35                | 0,2625            | 0,05446875            |            |
| Convenciones de aforo                           |           |                        |                    |                       |      |            | Caudal Total (m3/s)    |                                                                                                                 |                     |                   |                       | 1,47403125 |
|                                                 |           |                        |                    |                       |      |            | Observaciones          |                                                                                                                 |                     |                   |                       |            |
| Vminp = velocidad mínima puntual                |           |                        |                    | Ap= ancho parcial     |      |            |                        | El aforo 3 fue realizado el día 24 de Octubre de 2017 en época de lluvia (mayor precipitación), en Caño Grande. |                     |                   |                       |            |
| Vmxp = Velocidad máxima Puntual                 |           |                        |                    | Pm= Profundidad media |      |            |                        |                                                                                                                 |                     |                   |                       |            |
| Vp= velocidad promedio puntual                  |           |                        |                    | A= área de la Sección |      |            |                        |                                                                                                                 |                     |                   |                       |            |
| Vm = velocidad media en la sección.             |           |                        |                    | Qp= Caudal parcial    |      |            |                        |                                                                                                                 |                     |                   |                       |            |

Por Guerrero, 2018.

**Anexo 9.** Cartera de aforo Caño Grande, temporada lluviosa, PM 4

| CARTERA DE AFORO CAÑO GRANDE                    |           |                        |                    |                    |      |            |                      |                                                                                                                 |                     |                 |                       |
|-------------------------------------------------|-----------|------------------------|--------------------|--------------------|------|------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------------|
| Fecha                                           |           | 24 de Octubre del 2017 |                    | Caño               |      | Grande     |                      | Coordenadas                                                                                                     |                     |                 |                       |
| Sitio                                           |           | Caño Grande-El Rubí    |                    |                    |      |            |                      | N 04° 6'11.65                                                                                                   |                     | W 073°38'15.76" |                       |
| Descripción del sitio: Gravas y piedras Grandes |           |                        |                    |                    |      |            |                      | Tipo de aforo                                                                                                   |                     | Molinete        |                       |
| Molinete                                        |           | Global Water           |                    | Serie              |      | 1046106794 |                      | Hélice N°                                                                                                       |                     | -----           |                       |
| T (seg)                                         |           | 60                     |                    | Prof. media= 0,22m |      |            | Ancho del cauce= 8 m |                                                                                                                 | Caudal total (m3/s) |                 | 1,11859               |
| Vertical                                        | Dist. (m) | Prof. (m)              | Prof. De lect. (m) | Velocidades (m/s)  |      |            |                      | Sección                                                                                                         |                     |                 | Caudal parcial (m3/s) |
|                                                 |           |                        |                    | Vminp              | Vmxp | Vp         | Vm                   | Ap(m)                                                                                                           | Pm(m)               | A(m2)           |                       |
| CI                                              | 0         | 0                      | 0                  | 0                  | 0    | 0          | ----                 | ----                                                                                                            | ----                | ----            | -----                 |
| 1                                               | 0,8       | 0,21                   | 0,1                | 0,3                | 0,46 | 0,38       | 0,19                 | 0,8                                                                                                             | 0,105               | 0,084           | 0,01596               |
| 2                                               | 1         | 0,29                   | 0,14               | 0,69               | 0,62 | 0,655      | 0,5175               | 0,8                                                                                                             | 0,25                | 0,2             | 0,1035                |
| 3                                               | 2,4       | 0,3                    | 0,15               | 0,66               | 0,72 | 0,69       | 0,6725               | 0,8                                                                                                             | 0,295               | 0,236           | 0,15871               |
| 4                                               | 3,2       | 0,37                   | 0,18               | 0,58               | 0,64 | 0,61       | 0,65                 | 0,8                                                                                                             | 0,335               | 0,268           | 0,1742                |
| 5                                               | 4         | 0,36                   | 0,18               | 0,42               | 0,46 | 0,44       | 0,525                | 0,8                                                                                                             | 0,365               | 0,292           | 0,1533                |
| 6                                               | 4,8       | 0,34                   | 0,17               | 0,47               | 0,82 | 0,645      | 0,5425               | 0,8                                                                                                             | 0,35                | 0,28            | 0,1519                |
| 7                                               | 5,6       | 0,3                    | 0,15               | 0,41               | 0,24 | 0,325      | 0,485                | 0,8                                                                                                             | 0,32                | 0,256           | 0,12416               |
| 8                                               | 6,4       | 0,22                   | 0,11               | 0,47               | 0,61 | 0,54       | 0,4325               | 0,8                                                                                                             | 0,11                | 0,088           | 0,03806               |
| 9                                               | 7,2       | 0,08                   | 0,04               | 0,53               | 0,51 | 0,52       | 0,53                 | 0,8                                                                                                             | 0,15                | 0,12            | 0,0636                |
| OD                                              | 8         | 0,05                   | 0,02               | 0                  | 0    | 0          | 0,26                 | 0,8                                                                                                             | 0,65                | 0,52            | 0,1352                |
| Convenciones de aforo                           |           |                        |                    |                    |      |            |                      | Caudal Total (m3/s)                                                                                             |                     | 1,11859         |                       |
| Vminp = velocidad mínima puntual                |           |                        |                    |                    |      |            |                      | Ap= ancho parcial                                                                                               |                     |                 |                       |
| Vmxp = Velocidad máxima Puntual                 |           |                        |                    |                    |      |            |                      | Pm= Profundidad media                                                                                           |                     |                 |                       |
| Vp= velocidad promedio puntual                  |           |                        |                    |                    |      |            |                      | A= área de la Sección                                                                                           |                     |                 |                       |
| Vm = velocidad media en la sección.             |           |                        |                    |                    |      |            |                      | Qp= Caudal parcial                                                                                              |                     |                 |                       |
|                                                 |           |                        |                    |                    |      |            |                      | El aforo 4 fue realizado el día 24 de Octubre de 2017 en época de lluvia (mayor precipitación), en Caño Grande. |                     |                 |                       |

Por Guerrero, 2017

**Anexo 10.** Cartera de aforo Caño Grande, temporada seca, PM 1

| CARTERA DE AFORO CAÑO GRANDE                    |           |                        |                    |                     |      |            |                                                                                             |           |                 |                     |                 |                       |
|-------------------------------------------------|-----------|------------------------|--------------------|---------------------|------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------------|
| Fecha                                           |           | 12 de Diciembre        |                    | Octubre del 2017    |      | Caño       |                                                                                             | Grande    |                 | Coordenadas         |                 |                       |
| Sitio                                           |           | Caño Grande-Playa Rica |                    |                     |      |            |                                                                                             |           | N 04°06' 29.07" |                     | W 073°40' 06.1" |                       |
| Descripción del sitio: Gravas y piedras Grandes |           |                        |                    |                     |      |            |                                                                                             |           | Tipo de aforo   |                     | Molinete        |                       |
| Molinete                                        |           | Global Water           |                    | Serie               |      | 1046106794 |                                                                                             | Hélice N° |                 | -----               |                 |                       |
| T (seg)                                         |           | 60                     |                    | Prof. media= 0.28 m |      |            | Ancho del cauce= 7 m                                                                        |           |                 | Caudal total (m3/s) |                 | 0,527                 |
| Vertical                                        | Dist. (m) | Prof. (m)              | Prof. De lect. (m) | Velocidades (m/s)   |      |            |                                                                                             | Sección   |                 |                     |                 | Caudal parcial (m3/s) |
|                                                 |           |                        |                    | Vminp               | Vmxp | Vp         | Vm                                                                                          | Ap(m)     | Pm(m)           | A(m2)               | Qp              |                       |
| Ol                                              | 0         | 0                      | 0                  | 0                   | 0    | 0          | ----                                                                                        | ----      | ----            | ----                | -----           |                       |
| 1                                               | 1         | 0,28                   | 0,14               | 0                   | 0    | 0          | 0                                                                                           | 1         | 0,14            | 0,14                | 0               |                       |
| 2                                               | 2         | 0,44                   | 0,22               | 0,1                 | 0,2  | 0,15       | 0,075                                                                                       | 1         | 0,36            | 0,36                | 0,027           |                       |
| 3                                               | 3         | 0,3                    | 0,15               | 0,2                 | 0,3  | 0,25       | 0,2                                                                                         | 1         | 0,37            | 0,37                | 0,074           |                       |
| 4                                               | 4         | 0,41                   | 0,2                | 0,3                 | 0,5  | 0,4        | 0,325                                                                                       | 1         | 0,355           | 0,355               | 0,11538         |                       |
| 5                                               | 5         | 0,41                   | 0,2                | 0,4                 | 0,6  | 0,5        | 0,45                                                                                        | 1         | 0,41            | 0,41                | 0,1845          |                       |
| 6                                               | 6         | 0,26                   | 0,13               | 0,1                 | 0,2  | 0,15       | 0,325                                                                                       | 1         | 0,335           | 0,335               | 0,10888         |                       |
| OD                                              | 7         | 0,2                    | 0,1                | 0                   | 0    | 0          | 0,075                                                                                       | 1         | 0,23            | 0,23                | 0,01725         |                       |
|                                                 |           |                        |                    |                     |      |            |                                                                                             |           |                 |                     |                 |                       |
|                                                 |           |                        |                    |                     |      |            |                                                                                             |           |                 |                     |                 |                       |
|                                                 |           |                        |                    |                     |      |            |                                                                                             |           |                 |                     |                 |                       |
|                                                 |           |                        |                    |                     |      |            |                                                                                             |           |                 |                     |                 |                       |
| Convenciones de aforo                           |           |                        |                    |                     |      |            | Caudal Total (m3/s)                                                                         |           |                 |                     | 0,527           |                       |
| Vminp = velocidad mínima puntual                |           |                        |                    |                     |      |            | Observaciones                                                                               |           |                 |                     |                 |                       |
| Vmxp = Velocidad máxima Puntual                 |           |                        |                    |                     |      |            | El aforo 1 fue realizado el día 12 de Diciembre de 2017 en época de verano, en Caño Grande. |           |                 |                     |                 |                       |
| Vp= velocidad promedio puntual                  |           |                        |                    |                     |      |            |                                                                                             |           |                 |                     |                 |                       |
| Vm = velocidad media en la sección.             |           |                        |                    |                     |      |            |                                                                                             |           |                 |                     |                 |                       |
| Ap= ancho parcial                               |           |                        |                    |                     |      |            |                                                                                             |           |                 |                     |                 |                       |
| Pm= Profundidad media                           |           |                        |                    |                     |      |            |                                                                                             |           |                 |                     |                 |                       |
| A= área de la Sección                           |           |                        |                    |                     |      |            |                                                                                             |           |                 |                     |                 |                       |
| Qp= Caudal parcial                              |           |                        |                    |                     |      |            |                                                                                             |           |                 |                     |                 |                       |

Por Guerrero, 2017

**Anexo 11.** Cartera de aforo Caño Grande, temporada seca, PM 2

| CARTERA DE AFORO CAÑO GRANDE                    |           |                           |                    |                     |      |            |                                                                                             |                |                     |                 |          |                       |
|-------------------------------------------------|-----------|---------------------------|--------------------|---------------------|------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------|-----------------|----------|-----------------------|
| Fecha                                           |           | 12 de Diciembre del 2017  |                    | Caño                |      | Grande     |                                                                                             | Coordenadas    |                     |                 |          |                       |
| Sitio                                           |           | Caño Grande-Villa del Río |                    |                     |      |            |                                                                                             | N 04°06' 22.3" |                     | W 073°39' 19.3' |          |                       |
| Descripción del sitio: Gravas y piedras Grandes |           |                           |                    |                     |      |            |                                                                                             | Tipo de aforo  |                     | Molinete        |          |                       |
| Molinete                                        |           | Global Water              |                    | Serie               |      | 1046106794 |                                                                                             | Hélice N°      |                     | -----           |          |                       |
| T (seg)                                         |           | 60                        |                    | Prof. media= 0.16 m |      |            | Ancho del cauce= 7 m                                                                        |                | Caudal total (m3/s) |                 |          | 0,485875              |
| Vertical                                        | Dist. (m) | Prof. (m)                 | Prof. De lect. (m) | Velocidades (m/s)   |      |            |                                                                                             | Sección        |                     |                 |          | Caudal parcial (m3/s) |
|                                                 |           |                           |                    | Vminp               | Vmxp | Vp         | Vm                                                                                          | Ap(m)          | Pm(m)               | A(m2)           | Qp       |                       |
| Ol                                              | 0         | 0                         | 0                  | 0                   | 0    | 0          | ----                                                                                        | ----           | ----                | ----            | -----    |                       |
| 1                                               | 1         | 0,02                      | 0,01               | 0                   | 0    | 0          | 0                                                                                           | 1              | 0,01                | 0,01            | 0        |                       |
| 2                                               | 2         | 0,23                      | 0,11               | 0,3                 | 0,4  | 0,35       | 0,175                                                                                       | 1              | 0,125               | 0,125           | 0,021875 |                       |
| 3                                               | 3         | 0,32                      | 0,16               | 0,6                 | 0,7  | 0,65       | 0,5                                                                                         | 1              | 0,275               | 0,275           | 0,1375   |                       |
| 4                                               | 4         | 0,27                      | 0,14               | 0,4                 | 0,5  | 0,45       | 0,55                                                                                        | 1              | 0,295               | 0,295           | 0,16225  |                       |
| 5                                               | 5         | 0,22                      | 0,11               | 0,2                 | 0,3  | 0,25       | 0,35                                                                                        | 1              | 0,245               | 0,245           | 0,08575  |                       |
| 6                                               | 6         | 0,12                      | 0,06               | 0,3                 | 0,4  | 0,35       | 0,3                                                                                         | 1              | 0,17                | 0,17            | 0,051    |                       |
| OD                                              | 7         | 0,1                       | 0,05               | 0,1                 | 0,2  | 0,15       | 0,25                                                                                        | 1              | 0,11                | 0,11            | 0,0275   |                       |
|                                                 |           |                           |                    |                     |      |            |                                                                                             |                |                     |                 |          |                       |
|                                                 |           |                           |                    |                     |      |            |                                                                                             |                |                     |                 |          |                       |
|                                                 |           |                           |                    |                     |      |            |                                                                                             |                |                     |                 |          |                       |
|                                                 |           |                           |                    |                     |      |            |                                                                                             |                |                     |                 |          |                       |
| Convenciones de aforo                           |           |                           |                    |                     |      |            | Caudal Total (m3/s)                                                                         |                |                     |                 | 0,485875 |                       |
| Vminp = velocidad mínima puntual                |           |                           |                    |                     |      |            | Observaciones                                                                               |                |                     |                 |          |                       |
| Vmxp = Velocidad máxima Puntual                 |           |                           |                    |                     |      |            | El aforo 2 fue realizado el día 12 de Diciembre de 2017 en época de verano, en Caño Grande. |                |                     |                 |          |                       |
| Vp= velocidad promedio puntual                  |           |                           |                    |                     |      |            |                                                                                             |                |                     |                 |          |                       |
| Vm = velocidad media en la sección.             |           |                           |                    |                     |      |            |                                                                                             |                |                     |                 |          |                       |
| Ap= ancho parcial                               |           |                           |                    |                     |      |            |                                                                                             |                |                     |                 |          |                       |
| Pm= Profundidad media                           |           |                           |                    |                     |      |            |                                                                                             |                |                     |                 |          |                       |
| A= área de la Sección                           |           |                           |                    |                     |      |            |                                                                                             |                |                     |                 |          |                       |
| Qp= Caudal parcial                              |           |                           |                    |                     |      |            |                                                                                             |                |                     |                 |          |                       |

Por Guerrero, 2017

## Anexo 12. Cartera de aforo Caño Grande, temporada seca, PM 3

| CARTERA DE AFORO CAÑO GRANDE                    |           |                          |                    |                       |      |            |                      |                                                                                             |                     |                 |                       |
|-------------------------------------------------|-----------|--------------------------|--------------------|-----------------------|------|------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------------|
| Fecha                                           |           | 12 de Diciembre del 2017 |                    | Caño                  |      | Grande     |                      | Coordenadas                                                                                 |                     |                 |                       |
| Sitio                                           |           | Caño Grande-Guatapé      |                    |                       |      |            |                      | N 4° 6'3.43"                                                                                |                     | W 073°38'42.87" |                       |
| Descripción del sitio: Gravas y piedras Grandes |           |                          |                    |                       |      |            |                      | Tipo de aforo                                                                               |                     | Molinete        |                       |
| Molinete                                        |           | Global Water             |                    | Serie                 |      | 1046106794 |                      | Hélice N°                                                                                   |                     | -----           |                       |
| T (seg)                                         |           | 60                       |                    | Prof. media= 0,19m    |      |            | Ancho del cauce= 6 m |                                                                                             | Caudal total (m3/s) |                 | 0,366825              |
| Vertical                                        | Dist. (m) | Prof. (m)                | Prof. De lect. (m) | Velocidades (m/s)     |      |            | Sección              |                                                                                             |                     |                 | Caudal parcial (m3/s) |
|                                                 |           |                          |                    | Vminp                 | Vmxp | Vp         | Vm                   | Ap(m)                                                                                       | Pm(m)               | A(m2)           |                       |
| Ol                                              | 0         | 0                        | 0                  | 0                     | 0    | 0          | ----                 | -----                                                                                       | ----                | -----           | -----                 |
| 1                                               | 0,6       | 0,01                     | 0,005              | 0,1                   | 0,2  | 0,15       | 0,075                | 0,6                                                                                         | 0,005               | 0,003           | 0,000225              |
| 2                                               | 1,2       | 0,12                     | 0,06               | 0,2                   | 0,3  | 0,25       | 0,2                  | 0,6                                                                                         | 0,065               | 0,039           | 0,0078                |
| 3                                               | 1,8       | 0,18                     | 0,09               | 0,4                   | 0,6  | 0,5        | 0,375                | 0,6                                                                                         | 0,15                | 0,09            | 0,03375               |
| 4                                               | 2,4       | 0,31                     | 0,155              | 0,2                   | 0,3  | 0,25       | 0,375                | 0,6                                                                                         | 0,245               | 0,147           | 0,055125              |
| 5                                               | 3         | 0,32                     | 0,16               | 0,3                   | 0,4  | 0,35       | 0,3                  | 0,6                                                                                         | 0,315               | 0,189           | 0,0567                |
| 6                                               | 3,6       | 0,35                     | 0,175              | 0,4                   | 0,5  | 0,45       | 0,4                  | 0,6                                                                                         | 0,335               | 0,201           | 0,0804                |
| 7                                               | 4,2       | 0,27                     | 0,135              | 0,2                   | 0,3  | 0,25       | 0,35                 | 0,6                                                                                         | 0,31                | 0,186           | 0,0651                |
| 8                                               | 4,8       | 0,33                     | 0,165              | 0,1                   | 0,2  | 0,15       | 0,2                  | 0,6                                                                                         | 0,3                 | 0,18            | 0,036                 |
| 9                                               | 5,4       | 0,25                     | 0,125              | 0,1                   | 0,2  | 0,15       | 0,15                 | 0,6                                                                                         | 0,29                | 0,174           | 0,0261                |
| OD                                              | 6         | 0                        | 0                  | 0                     | 0    | 0          | 0,075                | 0,6                                                                                         | 0,125               | 0,075           | 0,005625              |
| Convenciones de aforo                           |           |                          |                    |                       |      |            | Caudal Total (m3/s)  |                                                                                             |                     |                 | 0,366825              |
|                                                 |           |                          |                    |                       |      |            | Observaciones        |                                                                                             |                     |                 |                       |
| Vminp = velocidad mínima puntual                |           |                          |                    | Ap= ancho parcial     |      |            |                      | El aforo 3 fue realizado el día 12 de Diciembre de 2017 en época de verano, en Caño Grande. |                     |                 |                       |
| Vmxp = Velocidad máxima Puntual                 |           |                          |                    | Pm= Profundidad media |      |            |                      |                                                                                             |                     |                 |                       |
| Vp= velocidad promedio puntual                  |           |                          |                    | A= área de la Sección |      |            |                      |                                                                                             |                     |                 |                       |
| Vm = velocidad media en la sección.             |           |                          |                    | Qp= Caudal parcial    |      |            |                      |                                                                                             |                     |                 |                       |

Por Guerrero, 2017

**Anexo 13.** Cartera de aforo Caño Grande, temporada seca, PM 4

| CARTERA DE AFORO CAÑO GRANDE                    |           |                          |                    |                       |      |            |                                                                                             |               |                     |                 |                       |
|-------------------------------------------------|-----------|--------------------------|--------------------|-----------------------|------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------|-----------------|-----------------------|
| Fecha                                           |           | 12 de Diciembre del 2017 |                    | Caño                  |      | Grande     |                                                                                             | Coordenadas   |                     |                 |                       |
| Sitio                                           |           | Caño Grande-El Rubí      |                    |                       |      |            |                                                                                             | N 4° 6'11.85  |                     | W 073°38'15.76" |                       |
| Descripción del sitio: Gravas y piedras Grandes |           |                          |                    |                       |      |            |                                                                                             | Tipo de aforo |                     | Molinete        |                       |
| Molinete                                        |           | Global Water             |                    | Serie                 |      | 1046106794 |                                                                                             | Hélice N°     |                     | -----           |                       |
| T (seg)                                         |           | 60                       |                    | Prof. media= 0,19 m   |      |            | Ancho del cauce= 5 m                                                                        |               | Caudal total (m3/s) |                 | 0,3985                |
| Vertical                                        | Dist. (m) | Prof. (m)                | Prof. De lect. (m) | Velocidades (m/s)     |      |            | Sección                                                                                     |               |                     |                 | Caudal parcial (m3/s) |
|                                                 |           |                          |                    | Vminp                 | Vmxp | Vp         | Vm                                                                                          | Ap(m)         | Pm(m)               | A(m2)           |                       |
| OI                                              | 0         | 0                        | 0                  | 0                     | 0    | 0          | ----                                                                                        | ----          | ----                | ----            | -----                 |
| 1                                               | 0,5       | 0,17                     | 0,08               | 0,5                   | 0,6  | 0,55       | 0,275                                                                                       | 0,5           | 0,085               | 0,0425          | 0,01169               |
| 2                                               | 1         | 0,2                      | 0,1                | 0,6                   | 0,7  | 0,65       | 0,6                                                                                         | 0,5           | 0,185               | 0,0925          | 0,0555                |
| 3                                               | 1,5       | 0,24                     | 0,12               | 0,4                   | 0,5  | 0,45       | 0,55                                                                                        | 0,5           | 0,22                | 0,11            | 0,0605                |
| 4                                               | 2         | 0,29                     | 0,15               | 0,3                   | 0,4  | 0,35       | 0,4                                                                                         | 0,5           | 0,265               | 0,1325          | 0,053                 |
| 5                                               | 2,5       | 0,29                     | 0,15               | 0,3                   | 0,4  | 0,35       | 0,35                                                                                        | 0,5           | 0,29                | 0,145           | 0,05075               |
| 6                                               | 3         | 0,28                     | 0,14               | 0,4                   | 0,5  | 0,45       | 0,4                                                                                         | 0,5           | 0,285               | 0,1425          | 0,057                 |
| 7                                               | 3,5       | 0,28                     | 0,14               | 0,1                   | 0,2  | 0,15       | 0,3                                                                                         | 0,5           | 0,28                | 0,14            | 0,042                 |
| 8                                               | 4         | 0,2                      | 0,1                | 0,3                   | 0,4  | 0,35       | 0,25                                                                                        | 0,5           | 0,24                | 0,12            | 0,03                  |
| 9                                               | 4,5       | 0,15                     | 0,07               | 0,3                   | 0,4  | 0,35       | 0,35                                                                                        | 0,5           | 0,175               | 0,0875          | 0,03063               |
| OD                                              | 5         | 0,02                     | 0,1                | 0                     | 0    | 0          | 0,175                                                                                       | 0,5           | 0,085               | 0,0425          | 0,00744               |
| Convenciones de aforo                           |           |                          |                    |                       |      |            | Caudal Total (m3/s)                                                                         |               |                     |                 | 0,3985                |
|                                                 |           |                          |                    |                       |      |            | Observaciones                                                                               |               |                     |                 |                       |
| Vminp = velocidad mínima puntual                |           |                          |                    | Ap= ancho parcial     |      |            | El aforo 4 fue realizado el día 12 de Diciembre de 2017 en época de verano, en Caño Grande. |               |                     |                 |                       |
| Vmxp = Velocidad máxima Puntual                 |           |                          |                    | Pm= Profundidad media |      |            |                                                                                             |               |                     |                 |                       |
| Vp= velocidad promedio puntual                  |           |                          |                    | A= área de la Sección |      |            |                                                                                             |               |                     |                 |                       |
| Vm = velocidad media en la sección.             |           |                          |                    | Qp= Caudal parcial    |      |            |                                                                                             |               |                     |                 |                       |

Por Guerrero, 2017

**Anexo 14.** Resultados de T°, TDS y pH en octubre.

| ALICUOTAS PM 1  | T (°C)       | pH (Unidades) | TDS (mg/l)  |
|-----------------|--------------|---------------|-------------|
| 1               | 23,3         | 6,69          | 91          |
| 2               | 23,7         | 6,79          | 91          |
| 3               | 24,1         | 6,88          | 92          |
| 4               | 24,3         | 6,96          | 92          |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>23,85</b> | <b>6,83</b>   | <b>91,5</b> |

| ALICUOTAS PM 2  | T (°C)        | pH (Unidades) | TDS (mg/l)   |
|-----------------|---------------|---------------|--------------|
| 1               | 24,7          | 6,94          | 83           |
| 2               | 25,4          | 7,01          | 92           |
| 3               | 25,4          | 7             | 92           |
| 4               | 24,8          | 6,93          | 92           |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>25,075</b> | <b>6,97</b>   | <b>89,75</b> |

| ALICUOTAS PM 3  | T (°C)        | pH (Unidades) | TDS (mg/l) |
|-----------------|---------------|---------------|------------|
| 1               | 25            | 7,05          | 91         |
| 2               | 25,6          | 7,01          | 91         |
| 3               | 25,3          | 6,63          | 93         |
| 4               | 25            | 6,71          | 93         |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>25,225</b> | <b>6,85</b>   | <b>92</b>  |

| ALICUOTAS PM 4  | T (°C)      | pH (Unidades) | TDS (mg/l)   |
|-----------------|-------------|---------------|--------------|
| 1               | 26,6        | 6,95          | 94           |
| 2               | 26,6        | 6,93          | 94           |
| 3               | 25,4        | 6,66          | 98           |
| 4               | 25          | 6,6           | 97           |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>25,9</b> | <b>6,785</b>  | <b>95,75</b> |

Por Guerrero, 2018

**Anexo 15.** Resultados de T°, TDS y pH en octubre.

| <b>ALICUOTAS PM 1</b> | <b>T (°C)</b> | <b>pH (Unidades)</b> | <b>TDS (mg/l)</b> |
|-----------------------|---------------|----------------------|-------------------|
| <b>1</b>              | 22,5          | 6,55                 | 122               |
| <b>2</b>              | 22,6          | 5,68                 | 123               |
| <b>3</b>              | 22,7          | 6,15                 | 120               |
| <b>4</b>              | 22,8          | 6,18                 | 119               |
| <b>PROMEDIO</b>       | <b>22,65</b>  | <b>6,14</b>          | <b>121</b>        |

| <b>ALICUOTAS PM 2</b> | <b>T (°C)</b> | <b>pH (Unidades)</b> | <b>TDS (mg/l)</b> |
|-----------------------|---------------|----------------------|-------------------|
| <b>1</b>              | 23,7          | 6,58                 | 119               |
| <b>2</b>              | 23,8          | 6,78                 | 118               |
| <b>3</b>              | 23,8          | 5,66                 | 119               |
| <b>4</b>              | 23,9          | 6,25                 | 119               |
| <b>PROMEDIO</b>       | <b>23,8</b>   | <b>6,3175</b>        | <b>118,75</b>     |

| <b>ALICUOTAS PM 3</b> | <b>T (°C)</b> | <b>pH (Unidades)</b> | <b>TDS (mg/l)</b> |
|-----------------------|---------------|----------------------|-------------------|
| <b>1</b>              | 24,2          | 6                    | 123               |
| <b>2</b>              | 24,5          | 5,62                 | 122               |
| <b>3</b>              | 24,5          | 6,46                 | 123               |
| <b>4</b>              | 24,7          | 5,88                 | 124               |
| <b>PROMEDIO</b>       | <b>24,475</b> | <b>5,99</b>          | <b>123</b>        |

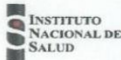
| <b>ALICUOTAS PM 4</b> | <b>T (°C)</b> | <b>pH (Unidades)</b> | <b>TDS (mg/l)</b> |
|-----------------------|---------------|----------------------|-------------------|
| <b>1</b>              | 25,8          | 5,57                 | 127               |
| <b>2</b>              | 25,7          | 5,57                 | 127               |
| <b>3</b>              | 25,3          | 5,94                 | 128               |
| <b>4</b>              | 25,3          | 6,36                 | 125               |
| <b>PROMEDIO</b>       | <b>25,525</b> | <b>5,86</b>          | <b>126,75</b>     |

Por Guerrero, 2018

**Anexo 16.** Reporte de laboratorio en temporada de alta pluviosidad PM1 para DBO, Fosfatos, Nitratos, Turbidez y Coliformes Fecales



**TECNO Ambiental S.a.s.**  
Asesoría y laboratorio




Página 1 de 1 RESULTADO DE ANÁLISIS

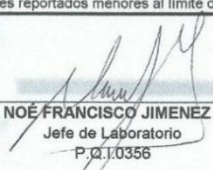
T.A. 30478

**MUESTRA No.** 1

|                          |                  |                                      |                          |
|--------------------------|------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| <b>Solicitante:</b>      | JENIFER GUERRERO | <b>Dirección:</b>                    | Carrera 19 No 2A - 61    |
| <b>Contacto:</b>         | Jenifer Guerrero | <b>Teléfonos:</b>                    | 3124542004               |
| <b>Clase de muestra:</b> | Agua Superficial | <b>Tipo de muestra:</b>              | Compuesta                |
| <b>Fecha de toma:</b>    | Octubre 24, 2017 | <b>Hora de Toma:</b>                 | 10:30 - 14:30            |
| <b>Departamento:</b>     | Meta             | <b>Municipio:</b>                    | Villavicencio            |
| <b>Vereda/Barrio:</b>    | Playa Rica       | <b>Fuente:</b>                       | Caño Grande              |
| <b>Punto:</b>            | 1                | <b>Lugar de muestreo:</b>            | Caño Grande - Playa Rica |
| <b>Fecha Recepción:</b>  | Octubre 25, 2017 | <b>Fecha de emisión del reporte:</b> | Octubre 31, 2017         |

| ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO  |                                     |                           |           |
|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-----------|
| PARÁMETRO               | UNIDAD                              | MÉTODO                    | RESULTADO |
| D.B.O <sub>5</sub>      | mg O <sub>2</sub> /L                | SM 5210 B SM 4500 O G     | 2*        |
| FOSFATOS                | mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L | SM 4500 P D               | 0,002*    |
| NITRATOS                | mg N-NO <sub>3</sub> /L             | SM 4500 NO <sub>3</sub> B | 0,005*    |
| TURBIEDAD               | NTU                                 | SM 2130 B                 | 2,30      |
| ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO |                                     |                           |           |
| COLIFORMES FECALES      | NMP/100mL                           | SM 9223 B                 | 2420      |

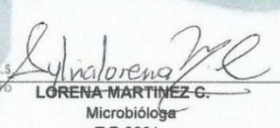
**OBSERVACIÓN:**\*Valores reportados menores al límite de cuantificación del método, a solicitud del cliente.



**NOÉ FRANCISCO JIMENEZ M.**  
Jefe de Laboratorio  
P.Q.10356



Asesoría y Laboratorio  
NIT. 822.001.739-0



**LORENA MARTÍNEZ G.**  
Microbióloga  
T.P.2801

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo  
 Muestreo realizado por EL SOLICITANTE.  
 Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas  
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de TECNOAmbiental SAS  
 TF0055/REV/5/ FIN DEL RESULTADO

Calle 40 No. 25 - 91 Barrio El Emporio - Villavicencio - Telefax: 664 1235 / 664 3618  
 E-mail: tecnoambiental\_sas@yahoo.com

Por Tecnoambiental s.a.s., 2017

**Anexo 17.** Reporte de laboratorio en temporada de alta pluviosidad PM2 para DBO, Fosfatos, Nitratos, Turbidez y Coliformes Fecales



**TECNO Ambiental S.a.s.**  
Asesoría y laboratorio




**RESULTADO DE ANÁLISIS**

Página 1 de 1

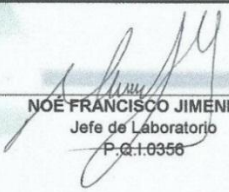
**T.A. 30479**

**MUESTRA No. 2**

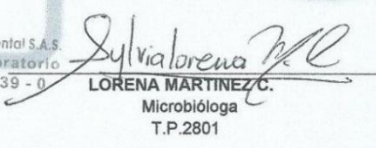
|                          |                  |                                      |                          |
|--------------------------|------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| <b>Solicitante:</b>      | JENIFER GUERRERO | <b>Dirección:</b>                    | Carrera 19 No 2A - 61    |
| <b>Contacto:</b>         | Jenifer Guerrero | <b>Teléfonos:</b>                    | 3124542004               |
| <b>Clase de muestra:</b> | Agua Superficial | <b>Tipo de muestra:</b>              | Compuesta                |
| <b>Fecha de toma:</b>    | Octubre 24, 2017 | <b>Hora de Toma:</b>                 | 10:30 - 14:30            |
| <b>Departamento:</b>     | Meta             | <b>Municipio:</b>                    | Villavicencio            |
| <b>Vereda/Barrio:</b>    | Montecarlo       | <b>Fuente:</b>                       | Caño Grande              |
| <b>Punto:</b>            | 2                | <b>Lugar de muestreo:</b>            | Caño Grande - Montecarlo |
| <b>Fecha Recepción:</b>  | Octubre 25, 2017 | <b>Fecha de emisión del reporte:</b> | Octubre 31, 2017         |

| ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO  |                                      |                                        |           |
|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|-----------|
| PARÁMETRO               | UNIDAD                               | MÉTODO                                 | RESULTADO |
| D.B.O <sub>5</sub>      | mg O <sub>2</sub> /L                 | SM 5210 B SM 4500 O G                  | 3*        |
| FOSFATOS                | mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L  | SM 4500 P D                            | 0,002*    |
| NITRATOS                | mg N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L | SM 4500 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> B | 0,043*    |
| TURBIEDAD               | NTU                                  | SM 2130 B                              | 2,00      |
| ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO |                                      |                                        |           |
| COLIFORMES FECALES      | NMP/100mL                            | SM 9223 B                              | 2420      |

**OBSERVACIÓN:**\*Valores reportados menores al límite de cuantificación del método, a solicitud del cliente.



**NOÉ FRANCISCO JIMÉNEZ M.**  
Jefe de Laboratorio  
P.Q.1.0356



**LORENA MARTÍNEZ C.**  
Microbióloga  
T.P.2801

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo  
 Muestreo realizado por EL SOLICITANTE.  
 Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas  
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de TECNOAmbiental SAS

TF0055/REV/5/

FIN DEL RESULTADO

---

Calle 40 No. 25 - 91 Barrio El Emporio - Villavicencio - Telefax: 664 1235 / 664 3618  
 E-mail: tecnoambiental\_sas@yahoo.com

**Anexo 18.** Reporte de laboratorio en temporada de alta pluviosidad PM3 para DBO, Fosfatos, Nitratos, Turbidez y Coliformes Fecales



**TECNO Ambiental S.a.s.**  
Asesoría y laboratorio




Página 1 de 1 RESULTADO DE ANÁLISIS

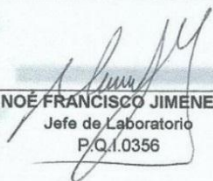
T.A. 30480

|                          |                  |                                      |                       |
|--------------------------|------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| <b>MUESTRA No.</b>       | 3                | <b>Dirección:</b>                    | Carrera 19 No 2A - 61 |
| <b>Solicitante:</b>      | JENIFER GUERRERO | <b>Teléfonos:</b>                    | 3124542004            |
| <b>Contacto:</b>         | Jenifer Guerrero | <b>Tipo de muestra:</b>              | Compuesta             |
| <b>Clase de muestra:</b> | Agua Superficial | <b>Hora de Toma:</b>                 | 10:30 - 14:30         |
| <b>Fecha de toma:</b>    | Octubre 24, 2017 | <b>Municipio:</b>                    | Villavicencio         |
| <b>Departamento:</b>     | Meta             | <b>Fuente:</b>                       | Caño Grande           |
| <b>Vereda/Barrio:</b>    | Guatapé          | <b>Lugar de muestreo:</b>            | Caño Grande - Guatapé |
| <b>Punto:</b>            | 3                | <b>Fecha de emisión del reporte:</b> | Octubre 31, 2017      |
| <b>Fecha Recepción:</b>  | Octubre 25, 2017 |                                      |                       |

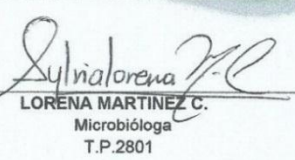
| ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO |                                     |                           |           |
|------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-----------|
| PARÁMETRO              | UNIDAD                              | MÉTODO                    | RESULTADO |
| D.B.O <sub>5</sub>     | mg O <sub>2</sub> /L                | SM 5210 B SM 4500 O G     | 3*        |
| FOSFATOS               | mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L | SM 4500 P D               | 0,002*    |
| NITRATOS               | mg N-NO <sub>3</sub> /L             | SM 4500 NO <sub>3</sub> B | 0,064*    |
| TURBIEDAD              | NTU                                 | SM 2130 B                 | 2,20      |

| ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO |           |           |      |
|-------------------------|-----------|-----------|------|
| COLIFORMES FECALES      | NMP/100mL | SM 9223 B | 2420 |

**OBSERVACIÓN:**\*Valores reportados menores al límite de cuantificación del método, a solicitud del cliente.



**NOÉ FRANCISCO JIMENEZ M.**  
Jefe de Laboratorio  
P.Q.1.0356



**LORENA MARTINEZ C.**  
Microbióloga  
T.P.2801

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo  
 Muestreo realizado por EL SOLICITANTE.  
 Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas  
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de TECNOAmbiental SAS

TF0055/REV/5/ FIN DEL RESULTADO

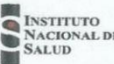
---

Calle 40 No. 25 - 91 Barrio El Emporio - Villavicencio - Telefax: 664 1235 / 664 3618  
 E-mail: tecnoambiental\_sas@yahoo.com

**Anexo 19.** Reporte de laboratorio en temporada de alta pluviosidad PM4 para DBO, Fosfatos, Nitratos, Turbidez y Coliformes Fecales



**TECNO Ambiental S.a.s.**  
 Asesoría y laboratorio




Página 1 de 1 RESULTADO DE ANÁLISIS

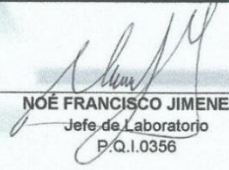
**T.A. 30481**

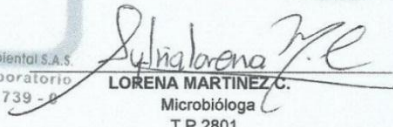
|                          |                  |                                      |                       |  |
|--------------------------|------------------|--------------------------------------|-----------------------|--|
| <b>MUESTRA No.</b>       | 4                |                                      |                       |  |
| <b>Solicitante:</b>      | JENIFER GUERRERO | <b>Dirección:</b>                    | Carrera 19 No 2A - 61 |  |
| <b>Contacto:</b>         | Jenifer Guerrero | <b>Teléfonos:</b>                    | 3124542004            |  |
| <b>Clase de muestra:</b> | Agua Superficial | <b>Tipo de muestra:</b>              | Compuesta             |  |
| <b>Fecha de toma:</b>    | Octubre 24, 2017 | <b>Hora de Toma:</b>                 | 10:30 - 14:30         |  |
| <b>Departamento:</b>     | Meta             | <b>Municipio:</b>                    | Villavicencio         |  |
| <b>Vereda/Barrio:</b>    | El Rubí          | <b>Fuente:</b>                       | Caño Grande           |  |
| <b>Punto:</b>            | 4                | <b>Lugar de muestreo:</b>            | Caño Grande - el Rubí |  |
| <b>Fecha Recepción:</b>  | Octubre 25, 2017 | <b>Fecha de emisión del reporte:</b> | Octubre 31, 2017      |  |

| ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO |                                     |                           |           |
|------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-----------|
| PARÁMETRO              | UNIDAD                              | MÉTODO                    | RESULTADO |
| D.B.O <sub>5</sub>     | mg O <sub>2</sub> /L                | SM 5210 B SM 4500 O G     | 3*        |
| FOSFATOS               | mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L | SM 4500 P D               | 0,002*    |
| NITRATOS               | mg N-NO <sub>3</sub> /L             | SM 4500 NO <sub>3</sub> B | 0,092*    |
| TURBIEDAD              | NTU                                 | SM 2130 B                 | 1,70      |

| ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO |           |           |      |
|-------------------------|-----------|-----------|------|
| COLIFORMES FECALES      | NMP/100mL | SM 9223 B | 4839 |

**OBSERVACIÓN:**\*Valores reportados menores al límite de cuantificación del método, a solicitud del cliente.

  
**NOÉ FRANCISCO JIMENEZ M.**  
 Jefe de Laboratorio  
 P.Q.1.0356

  
**LORENA MARTINEZ C.**  
 Microbióloga  
 T.P.2801

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo

Muestreo realizado por EL SOLICITANTE.

Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de TECNOAmbiental SAS

TF0055/REV/5/ FIN DEL RESULTADO

Calle 40 No. 25 - 91 Barrio El Emporio - Villavicencio - Telefax: 664 1235 / 664 3618  
 E-mail: tecnoambiental\_sas@yahoo.com

**Anexo 20.** Reporte de laboratorio época de alta pluviosidad en PM1 de Oxígeno Disuelto



**TECNO Ambiental S.a.s.**  
Asesoría y laboratorio




Página 1 de 1 **RESULTADO DE ANALISIS**

**T.A. 30472**

**MUESTRA No.** 1

|                          |                   |                                      |                          |
|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| <b>Solicitante:</b>      | JENNIFER GUERRERO | <b>Dirección:</b>                    | Cra 19 No 2A - 61        |
| <b>Contacto:</b>         | Jennifer Guerrero | <b>Teléfonos:</b>                    | 3124542004               |
| <b>Clase de muestra:</b> | Agua Superficial  | <b>Tipo de muestra:</b>              | Compuesta                |
| <b>Fecha de toma:</b>    | Octubre 24, 2017  | <b>Hora de Toma:</b>                 | 10:30 - 14:30            |
| <b>Departamento:</b>     | Meta              | <b>Municipio:</b>                    | Villavicencio            |
| <b>Vereda/Barrio:</b>    | Playa Rica        | <b>Fuente:</b>                       | Caño Grande              |
| <b>Punto:</b>            | 1                 | <b>Lugar de muestreo:</b>            | Caño Grande - Playa Rica |
| <b>Fecha Recepción:</b>  | Octubre 25, 2017  | <b>Fecha de emisión del reporte:</b> | Octubre 27, 2017         |

| ANÁLISIS FISIQUÍMICO                         |        |             |           |
|----------------------------------------------|--------|-------------|-----------|
| PARÁMETRO                                    | UNIDAD | MÉTODO      | RESULTADO |
| OXIGENO DISUELTO* (porcentaje de saturación) | %      | SM 4500 O C | 89,8      |

\* Parámetro medido en el Laboratorio.



**NOÉ FRANCISCO JIMENEZ M.**  
Jefe de Laboratorio  
P.Q.1.0356

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo  
 Muestreo realizado por **EL SOLICITANTE**.  
 Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas  
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de TECNOAmbiental SAS

TF0055/REV/5/
FIN DEL RESULTADO

---

Calle 40 No. 25 - 91 Barrio El Emporio - Villavicencio - Telefax: 664 1235 / 664 3618  
 E-mail: tecnoambiental\_sas@yahoo.com

**Anexo 21.** Reporte de laboratorio época de alta pluviosidad en PM2 de Oxígeno Disuelto

 **TECNO Ambiental S.a.s.**  
Asesoría y Laboratorio

 INSTITUTO NACIONAL DE SALUD

 IDEAM

Página 1 de 1 **RESULTADO DE ANALISIS**

**T.A. 30473**

**MUESTRA No.** 2

**Solicitante:** JENNIFER GUERRERO **Dirección:** Cra 19 No 2A - 61

**Contacto:** Jennifer Guerrero **Teléfonos:** 3124542004

**Clase de muestra:** Agua Superficial **Tipo de muestra:** Compuesta

**Fecha de toma:** Octubre 24, 2017 **Hora de Toma:** 10:30 - 14:30

**Departamento:** Meta **Municipio:** Villavicencio

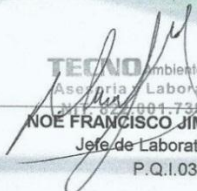
**Vereda/Barrio:** Montecarlo **Fuente:** Caño Grande

**Punto:** 2 **Lugar de muestreo:** Caño Grande - Montecarlo

**Fecha Recepción:** Octubre 25, 2017 **Fecha de emisión del reporte:** Octubre 27, 2017

| ANÁLISIS FISIQUÍMICO                         |        |             |           |
|----------------------------------------------|--------|-------------|-----------|
| PARÁMETRO                                    | UNIDAD | MÉTODO      | RESULTADO |
| OXIGENO DISUELTO* (porcentaje de saturación) | %      | SM 4500 O C | 88,4      |

\* Parámetro medido en el Laboratorio.

  
TECNO Ambiental S.A.S.  
Asesoría y Laboratorio  
Teléfono: 3124542004  
**NOE FRANCISCO JIMENEZ M..**  
Jefe de Laboratorio  
P.Q.I.0356

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo  
Muestreo realizado por EL SOLICITANTE.  
Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas  
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de TECNOAmbiental SAS

TF0055/REV/5/ FIN DEL RESULTADO

Calle 40 No. 25 - 91 Barrio El Emporio - Villavicencio - Telefax: 664 1235 / 664 3618  
E-mail: tecnoambiental\_sas@yahoo.com

## Anexo 22. Reporte de laboratorio época de alta pluviosidad en PM3 de Oxígeno Disuelto

**TECNO Ambiental S.a.s.**  
Asesoría y laboratorio



Página 1 de 1

**RESULTADO DE ANALISIS**

**T.A. 30474**

**MUESTRA No.** 3

**Solicitante:** JENNIFER GUERRERO **Dirección:** Cra 19 No 2A - 61

**Contacto:** Jennifer Guerrero **Teléfonos:** 3124542004

**Clase de muestra:** Agua Superficial **Tipo de muestra:** Compuesta

**Fecha de toma:** Octubre 24, 2017 **Hora de Toma:** 10:30 - 14:30

**Departamento:** Meta **Municipio:** Villavicencio

**Vereda/Barrio:** Guatapé **Fuente:** Caño Grande

**Punto:** 3 **Lugar de muestreo:** Caño Grande - Guatapé

**Fecha Recepción:** Octubre 25, 2017 **Fecha de emisión del reporte:** Octubre 27, 2017

| ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO                       |        |             |           |
|----------------------------------------------|--------|-------------|-----------|
| PARÁMETRO                                    | UNIDAD | MÉTODO      | RESULTADO |
| OXIGENO DISUELTO* (porcentaje de saturación) | %      | SM 4500 O C | 81,6      |

\* Parámetro medido en el Laboratorio.

**TECNO Ambiental S.A.S.**  
Asesoría y laboratorio  
Calle 40 No. 25 - 91 Barrio El Emporio - Villavicencio - Teléfax: 664 1235 - 664 3618  
**NOÉ FRANCISCO JIMENEZ M..**  
Jefe de Laboratorio  
P.Q.I.0356

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo

Muestreo realizado por **EL SOLICITANTE**.

Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de TECNOAmbiental SAS

TF0055/REV/5/

FIN DEL RESULTADO

Calle 40 No. 25 - 91 Barrio El Emporio - Villavicencio - Teléfax: 664 1235 / 664 3618  
E-mail: tecnoambiental\_sas@yahoo.com

**Anexo 23.** Reporte de laboratorio época de alta pluviosidad en PM4 de Oxígeno Disuelto



**TECNO Ambiental S.a.s.**  
Asesoría y laboratorio




**RESULTADO DE ANALISIS**

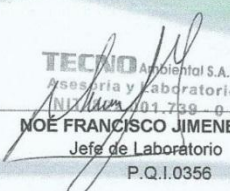
Página 1 de 1

**T.A. 30475**

|                          |                   |                                      |                       |  |  |
|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|-----------------------|--|--|
| <b>MUESTRA No.</b>       | 4                 |                                      |                       |  |  |
| <b>Solicitante:</b>      | JENNIFER GUERRERO | <b>Dirección:</b>                    | Cra 19 No 2A - 61     |  |  |
| <b>Contacto:</b>         | Jennifer Guerrero | <b>Teléfonos:</b>                    | 3124542004            |  |  |
| <b>Clase de muestra:</b> | Agua Superficial  | <b>Tipo de muestra:</b>              | Compuesta             |  |  |
| <b>Fecha de toma:</b>    | Octubre 24, 2017  | <b>Hora de Toma:</b>                 | 10:30 - 14:30         |  |  |
| <b>Departamento:</b>     | Meta              | <b>Municipio:</b>                    | Villavicencio         |  |  |
| <b>Vereda/Barrio:</b>    | El Rubí           | <b>Fuente:</b>                       | Caño Grande           |  |  |
| <b>Punto:</b>            | 4                 | <b>Lugar de muestreo:</b>            | Caño Grande - El Rubi |  |  |
| <b>Fecha Recepción:</b>  | Octubre 25, 2017  | <b>Fecha de emisión del reporte:</b> | Octubre 27, 2017      |  |  |

| ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO                       |        |             |           |
|----------------------------------------------|--------|-------------|-----------|
| PARÁMETRO                                    | UNIDAD | MÉTODO      | RESULTADO |
| OXIGENO DISUELTO* (porcentaje de saturación) | %      | SM 4500 O C | 80,2      |

\* Parámetro medido en el Laboratorio.



**NOE FRANCISCO JIMENEZ M..**  
Jefe de Laboratorio  
P.Q.I.0356

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo

Muestreo realizado por **EL SOLICITANTE**.

Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de TECNOAmbiental SAS

TF0055/REV/5/

FIN DEL RESULTADO

Calle 40 No. 25 - 91 Barrio El Emporio - Villavicencio - Telefax: 664 1235 / 664 3618

E-mail: tecnoambiental\_sas@yahoo.com

**Anexo 24.** Reporte de laboratorio en temporada de baja pluviosidad PM1 para DBO, Fosfatos, Nitratos, Turbidez y Coliformes Fecales



**TECNO Ambiental S.a.s.**  
 Asesoría y laboratorio




**RESULTADO DE ANÁLISIS**

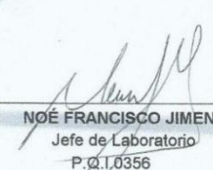
Página 1 de 1 T.A. 30935

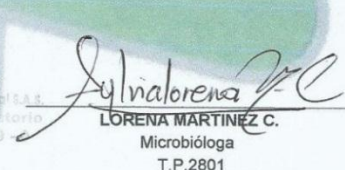
|                          |                          |                                      |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| <b>MUESTRA No.</b>       | 1                        |                                      |                          |
| <b>Solicitante:</b>      | JENIFER GUERRERO         | <b>Dirección:</b>                    | Carrera 19 No 2A - 61    |
| <b>Contacto:</b>         | Rafael Guerrero          | <b>Teléfonos:</b>                    | 3124542004               |
| <b>Clase de muestra:</b> | Agua Superficial         | <b>Tipo de muestra:</b>              | Compuesta                |
| <b>Fecha de toma:</b>    | 2017/12/12               | <b>Hora de Toma:</b>                 | 10:30 - 14:30            |
| <b>Departamento:</b>     | Meta                     | <b>Municipio:</b>                    | Villavicencio            |
| <b>Vereda/Barrio:</b>    | Playa Rica               | <b>Fuente:</b>                       | Caño Grande              |
| <b>Punto:</b>            | Caño Grande - Playa Rica | <b>Lugar de muestreo:</b>            | Caño Grande - Playa Rica |
| <b>Fecha Recepción:</b>  | 2017/12/12               | <b>Fecha de emisión del reporte:</b> | 2017/12/19               |

| ANÁLISIS FISCOQUÍMICO |                                     |                           |           |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------|-----------|
| PARÁMETRO             | UNIDAD                              | MÉTODO                    | RESULTADO |
| D.B.O <sub>5</sub>    | mg O <sub>2</sub> /L                | SM 5210 B SM 4500 O G     | 1         |
| FOSFATOS              | mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L | SM 4500 P D               | 0,01      |
| NITRATOS              | mg N-NO <sub>3</sub> /L             | SM 4500 NO <sub>3</sub> B | 0,05      |
| TURBIEDAD             | NTU                                 | SM 2130 B                 | 19        |

| ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO |           |           |       |
|-------------------------|-----------|-----------|-------|
| COLIFORMES FECALES      | NMP/100ml | SM 9223 B | 24196 |

\* Parámetro medido en el laboratorio.

  
**NOÉ FRANCISCO JIMENEZ.**  
 Jefe de Laboratorio  
 P.Q.1.0356

  
**LORENA MARTÍNEZ C.**  
 Microbióloga  
 T.P.2801

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo

Muestreo realizado por EL SOLICITANTE.

Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de TECNOAmbiental SAS

TF0055/REV/5/
FIN DEL RESULTADO

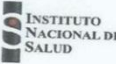
Calle 40 No. 25 - 91 Barrio El Emporio - Villavicencio - Telefax: 664 1235 / 664 3618

E-mail: tecnoambiental\_sas@yahoo.com

**Anexo 25.** Reporte de laboratorio en temporada de baja pluviosidad PM2 para DBO, Fosfatos, Nitratos, Turbidez y Coliformes Fecales



**TECNO Ambiental S.a.s.**  
Asesoría y laboratorio




**RESULTADO DE ANÁLISIS**

Página 1 de 1 T.A. 30936

|                          |                          |                                      |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| <b>MUESTRA No.</b>       | 2                        |                                      |                          |
| <b>Solicitante:</b>      | JENIFER GUERRERO         | <b>Dirección:</b>                    | Carrera 19 No 2A - 61    |
| <b>Contacto:</b>         | Rafael Guerrero          | <b>Teléfonos:</b>                    | 3124542004               |
| <b>Clase de muestra:</b> | Agua Superficial         | <b>Tipo de muestra:</b>              | Compuesta                |
| <b>Fecha de toma:</b>    | 2017/12/12               | <b>Hora de Toma:</b>                 | 10:30 - 14:30            |
| <b>Departamento:</b>     | Meta                     | <b>Municipio:</b>                    | Villavicencio            |
| <b>Vereda/Barrio:</b>    | Montecarlo               | <b>Fuente:</b>                       | Caño Grande              |
| <b>Punto:</b>            | Caño Grande - Montecarlo | <b>Lugar de muestreo:</b>            | Caño Grande - Montecarlo |
| <b>Fecha Recepción:</b>  | 2017/12/12               | <b>Fecha de emisión del reporte:</b> | 2017/12/19               |

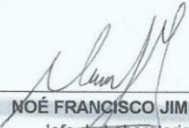
  

| ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO |                                     |                           |           |
|------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-----------|
| PARÁMETRO              | UNIDAD                              | MÉTODO                    | RESULTADO |
| D.B.O <sub>5</sub>     | mg O <sub>2</sub> /L                | SM 5210 B SM 4500 O G     | 2,5       |
| FOSFATOS               | mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L | SM 4500 P D               | 0,17      |
| NITRATOS               | mg N-NO <sub>3</sub> /L             | SM 4500 NO <sub>3</sub> B | 0,01      |
| TURBIEDAD              | NTU                                 | SM 2130 B                 | 11        |

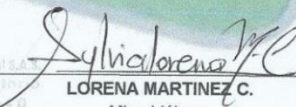
  

| ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO |           |           |       |
|-------------------------|-----------|-----------|-------|
| COLIFORMES FECALES      | NMP/100ml | SM 9223 B | 24196 |

\* Parámetro medido en el laboratorio.



**NOÉ FRANCISCO JIMENEZ.**  
Jefe de Laboratorio  
P.Q.1.0356



**LORENA MARTINEZ C.**  
Microbióloga  
T.P.2801

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo  
 Muestreo realizado por EL SOLICITANTE.  
 Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas  
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de TECNOAmbiental SAS  
 TF0055/REV/5/ FIN DEL RESULTADO

Calle 40 No. 25 - 91 Barrio El Emporio - Villavicencio - Telefax: 664 1235 / 664 3618  
 E-mail: tecnoambiental\_sas@yahoo.com

**Anexo 26.** Reporte de laboratorio en temporada de baja pluviosidad PM3 para DBO, Fosfatos, Nitratos, Turbidez y Coliformes Fecales



**TECNO Ambiental S.a.s.**  
Asesoría y laboratorio




**RESULTADO DE ANÁLISIS**

Página 1 de 1 T.A. 30937

|                          |                       |                                      |                       |                   |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| <b>MUESTRA No.</b>       | 3                     | <b>Solicitante:</b>                  | JENIFER GUERRERO      | <b>Dirección:</b> | Carrera 19 No 2A - 61 |
| <b>Contacto:</b>         | Rafael Guerrero       | <b>Teléfonos:</b>                    | 3124542004            |                   |                       |
| <b>Clase de muestra:</b> | Agua Superficial      | <b>Tipo de muestra:</b>              | Compuesta             |                   |                       |
| <b>Fecha de toma:</b>    | 2017/12/12            | <b>Hora de Toma:</b>                 | 10:30 - 14:30         |                   |                       |
| <b>Departamento:</b>     | Meta                  | <b>Municipio:</b>                    | Villavicencio         |                   |                       |
| <b>Vereda/Barrio:</b>    | Guatapé               | <b>Fuente:</b>                       | Caño Grande           |                   |                       |
| <b>Punto:</b>            | Caño Grande - Guatapé | <b>Lugar de muestreo:</b>            | Caño Grande - Guatapé |                   |                       |
| <b>Fecha Recepción:</b>  | 2017/12/12            | <b>Fecha de emisión del reporte:</b> | 2017/12/19            |                   |                       |

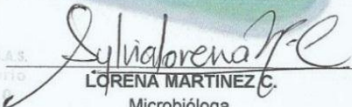
| ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO |                                      |                           |           |
|------------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------|
| PARÁMETRO              | UNIDAD                               | MÉTODO                    | RESULTADO |
| D.B.O <sub>5</sub>     | mg O <sub>2</sub> /L                 | SM 5210 B SM 4500 O G     | 2,3       |
| FOSFATOS               | mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L  | SM 4500 P D               | 0,11      |
| NITRATOS               | mg N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L | SM 4500 NO <sub>3</sub> B | 0,08      |
| TURBIEDAD              | NTU                                  | SM 2130 B                 | 5,6       |

| ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO |           |           |       |
|-------------------------|-----------|-----------|-------|
| COLIFORMES FECALES      | NMP/100ml | SM 9223 B | 24196 |

\* Parámetro medido en el laboratorio.

  
**NOÉ FRANCISCO JIMENEZ**  
 Jefe de Laboratorio  
 P.Q.1.0356

  
**LORENA MARTINEZ C.**  
 Microbióloga  
 T.P.2801

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo

Muestreo realizado por EL SOLICITANTE.

Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de TECNOAmbiental SAS

TF0055/REV/5/ FIN DEL RESULTADO

Calle 40 No. 25 - 91 Barrio El Emporio - Villavicencio - Telefax: 664 1235 / 664 3618

E-mail: tecnoambiental\_sas@yahoo.com

**Anexo 27.** Reporte de laboratorio en temporada de baja pluviosidad PM4 para DBO, Fosfatos, Nitratos, Turbidez y Coliformes Fecales



**TECNO Ambiental S.a.s.**  
Asesoría y laboratorio




**RESULTADO DE ANÁLISIS**

Página 1 de 1 T.A. 30938

|                          |                       |                                      |                       |                   |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|
| <b>MUESTRA No.</b>       | 4                     | <b>Solicitante:</b>                  | JENIFER GUERRERO      | <b>Dirección:</b> | Carrera 19 No 2A - 61 |
| <b>Contacto:</b>         | Rafael Guerrero       | <b>Teléfonos:</b>                    | 3124542004            |                   |                       |
| <b>Clase de muestra:</b> | Agua Superficial      | <b>Tipo de muestra:</b>              | Compuesta             |                   |                       |
| <b>Fecha de toma:</b>    | 2017/12/12            | <b>Hora de Toma:</b>                 | 10:30 - 14:30         |                   |                       |
| <b>Departamento:</b>     | Meta                  | <b>Municipio:</b>                    | Villavicencio         |                   |                       |
| <b>Vereda/Barrio:</b>    | El Rubí               | <b>Fuente:</b>                       | Caño Grande           |                   |                       |
| <b>Punto:</b>            | Caño Grande - El Rubí | <b>Lugar de muestreo:</b>            | Caño Grande - El Rubí |                   |                       |
| <b>Fecha Recepción:</b>  | 2017/12/12            | <b>Fecha de emisión del reporte:</b> | 2017/12/19            |                   |                       |

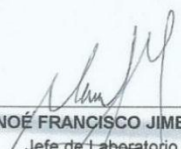
  

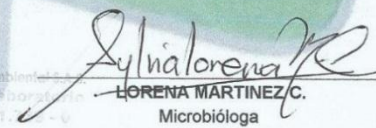
| ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO |                                     |                           |           |
|------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-----------|
| PARÁMETRO              | UNIDAD                              | MÉTODO                    | RESULTADO |
| D.B.O <sub>5</sub>     | mg O <sub>2</sub> /L                | SM 5210 B SM 4500 O G     | 2,9       |
| FOSFATOS               | mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> /L | SM 4500 P D               | 0,08      |
| NITRATOS               | mg N-NO <sub>3</sub> /L             | SM 4500 NO <sub>3</sub> B | 0,09      |
| TURBIEDAD              | NTU                                 | SM 2130 B                 | 4,7       |

| ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO |           |           |       |
|-------------------------|-----------|-----------|-------|
| COLIFORMES FECALES      | NMP/100ml | SM 9223 B | 24196 |

\* Parámetro medido en el laboratorio.

  
**NOÉ FRANCISCO JIMENEZ.**  
 Jefe de Laboratorio  
 P.O.I.0356

  
**LORENA MARTINEZ C.**  
 Microbióloga  
 T.P.2801

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo

Muestreo realizado por EL SOLICITANTE.

Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de TECNOAmbiental SAS

TF0055/REV/5/
FIN DEL RESULTADO

Calle 40 No. 25 - 91 Barrio El Emporio - Villavicencio - Telefax: 664 1235 / 664 3618

E-mail: tecnoambiental\_sas@yahoo.com

**Anexo 28.** Reporte de laboratorio época de baja pluviosidad en PM1 de Oxígeno Disuelto



**TECNO Ambiental S.a.s.**  
Asesoría y laboratorio




**RESULTADO DE ANALISIS**

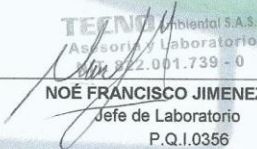
Página 1 de 1 T.A. 30939

**MUESTRA No.** 1

|                          |                          |                                      |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| <b>Solicitante:</b>      | JENNIFER GUERRERO        | <b>Dirección:</b>                    | Cra 19 No 2A - 61        |
| <b>Contacto:</b>         | Rafael Guerrero          | <b>Teléfonos:</b>                    | 3124542004               |
| <b>Clase de muestra:</b> | Agua Superficial         | <b>Tipo de muestra:</b>              | Compuesta                |
| <b>Fecha de toma:</b>    | 2017/12/12               | <b>Hora de Toma:</b>                 | 10:30 - 14:30            |
| <b>Departamento:</b>     | Meta                     | <b>Municipio:</b>                    | Villavicencio            |
| <b>Vereda/Barrio:</b>    | Playa Rica               | <b>Fuente:</b>                       | Caño Grande              |
| <b>Punto:</b>            | Caño Grande - Playa Rica | <b>Lugar de muestreo:</b>            | Caño Grande - Playa Rica |
| <b>Fecha Recepción:</b>  | 2017/12/12               | <b>Fecha de emisión del reporte:</b> | 2017/12/13               |

| ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO                       |        |             |           |
|----------------------------------------------|--------|-------------|-----------|
| PARÁMETRO                                    | UNIDAD | MÉTODO      | RESULTADO |
| OXIGENO DISUELTO* (porcentaje de saturación) | %      | SM 4500 O C | 85,1      |

\* Parámetro medido en el Laboratorio.



**NOÉ FRANCISCO JIMENEZ M..**  
Jefe de Laboratorio  
P.Q.I.0356

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo

Muestreo realizado por **EL SOLICITANTE**.

Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de TECNOAmbiental SAS

TF0055/REV/5/ FIN DEL RESULTADO

Calle 40 No. 25 - 91 Barrio El Emporio - Villavicencio - Telefax: 664 1235 / 664 3618

E-mail: tecnoambiental\_sas@yahoo.com

**Anexo 29.** Reporte de laboratorio época de baja pluviosidad en PM2 de Oxígeno Disuelto



**TECNO Ambiental S.a.s.**  
Asesoría y laboratorio




**RESULTADO DE ANALISIS**

Página 1 de 1 T.A. 30940

**MUESTRA No.** 2

|                          |                        |                                      |                        |
|--------------------------|------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| <b>Solicitante:</b>      | JENNIFER GUERRERO      | <b>Dirección:</b>                    | Cra 19 No 2A - 61      |
| <b>Contacto:</b>         | Rafael Guerrero        | <b>Teléfonos:</b>                    | 3124542004             |
| <b>Clase de muestra:</b> | Agua Superficial       | <b>Tipo de muestra:</b>              | Compuesta              |
| <b>Fecha de toma:</b>    | 2017/12/12             | <b>Hora de Toma:</b>                 | 10:30 - 14:30          |
| <b>Departamento:</b>     | Meta                   | <b>Municipio:</b>                    | Villavicencio          |
| <b>Vereda/Barrio:</b>    | Catumare               | <b>Fuente:</b>                       | Caño Grande            |
| <b>Punto:</b>            | Caño Grande - Catumare | <b>Lugar de muestreo:</b>            | Caño Grande - Catumare |
| <b>Fecha Recepción:</b>  | 2017/12/12             | <b>Fecha de emisión del reporte:</b> | 2017/12/13             |

| ANÁLISIS FISICOQUÍMICO                       |        |             |           |
|----------------------------------------------|--------|-------------|-----------|
| PARÁMETRO                                    | UNIDAD | MÉTODO      | RESULTADO |
| OXIGENO DISUELTO* (porcentaje de saturación) | %      | SM 4500 O C | 92,0      |

\* Parámetro medido en el Laboratorio.



**TECNO Ambiental S.A.S.**  
Asesoría y laboratorio  
TEL: 3124542004 - 735 0 0  
**NOÉ FRANCISCO JIMENEZ M..**  
Jefe de Laboratorio  
P.Q.I.0356

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo  
 Muestreo realizado por **EL SOLICITANTE**.  
 Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas  
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de TECNOAmbiental SAS  
 TF0055/REV/5/ FIN DEL RESULTADO

Calle 40 No. 25 - 91 Barrio El Emporio - Villavicencio - Telefax: 664 1235 / 664 3618  
 E-mail: tecnoambiental\_sas@yahoo.com

**Anexo 30.** Reporte de laboratorio época de baja pluviosidaden PM3 de Oxígeno Disuelto

**TECNO Ambiental S.a.s.**  
Asesoría y laboratorio



Página 1 de 1

**T.A. 30941**

**MUESTRA No.** 3

**Solicitante:** JENNIFER GUERRERO **Dirección:** Cra 19 No 2A - 61

**Contacto:** Rafael Guerrero **Teléfonos:** 3124542004

**Clase de muestra:** Agua Superficial **Tipo de muestra:** Compuesta

**Fecha de toma:** 2017/12/12 **Hora de Toma:** 10:30 - 14:30

**Departamento:** Meta **Municipio:** Villavicencio

**Vereda/Barrio:** Guatapé **Fuente:** Caño Grande

**Punto:** Caño Grande - Guatapé **Lugar de muestreo:** Caño Grande - Guatapé

**Fecha Recepción:** 2017/12/12 **Fecha de emisión del reporte:** 2017/12/13

| ANÁLISIS FISICOQUÍMICO                       |        |             |           |
|----------------------------------------------|--------|-------------|-----------|
| PARÁMETRO                                    | UNIDAD | MÉTODO      | RESULTADO |
| OXIGENO DISUELTO* (porcentaje de saturación) | %      | SM 4500 O C | 87,3      |

\* Parámetro medido en el Laboratorio.



**NOÉ FRANCISCO JIMENEZ M..**  
Jefe de Laboratorio  
P.Q.I.0356

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo

Muestreo realizado por EL SOLICITANTE.

Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de TECNOAmbiental SAS

TF0055/REV/5/

FIN DEL RESULTADO

Calle 40 No. 25 - 91 Barrio El Emporio - Villavicencio - Telefax: 664 1235 / 664 3618  
E-mail: tecnoambiental\_sas@yahoo.com

**Anexo 31.** Reporte de laboratorio época de baja pluviosidad en PM4 de Oxígeno Disuelto



**TECNO Ambiental S.a.s.**  
Asesoría y laboratorio



INSTITUTO NACIONAL DE SALUD



IDEAM  
INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES

**RESULTADO DE ANALISIS**

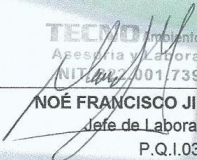
Página 1 de 1 T.A. 30942

**MUESTRA No.** 4

|                          |                       |                                      |                       |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| <b>Solicitante:</b>      | JENNIFER GUERRERO     | <b>Dirección:</b>                    | Cra 19 No 2A - 61     |
| <b>Contacto:</b>         | Rafael Guerrero       | <b>Teléfonos:</b>                    | 3124542004            |
| <b>Clase de muestra:</b> | Agua Superficial      | <b>Tipo de muestra:</b>              | Compuesta             |
| <b>Fecha de toma:</b>    | 2017/12/12            | <b>Hora de Toma:</b>                 | 10:30 - 14:30         |
| <b>Departamento:</b>     | Meta                  | <b>Municipio:</b>                    | Villavicencio         |
| <b>Vereda/Barrio:</b>    | El Rubí               | <b>Fuente:</b>                       | Caño Grande           |
| <b>Punto:</b>            | Caño Grande - El Rubí | <b>Lugar de muestreo:</b>            | Caño Grande - El Rubí |
| <b>Fecha Recepción:</b>  | 2017/12/12            | <b>Fecha de emisión del reporte:</b> | 2017/12/13            |

| ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO                       |        |             |           |
|----------------------------------------------|--------|-------------|-----------|
| PARÁMETRO                                    | UNIDAD | MÉTODO      | RESULTADO |
| OXIGENO DISUELTO* (porcentaje de saturación) | %      | SM 4500 O C | 78,1      |

\* Parámetro medido en el Laboratorio.



**NOÉ FRANCISCO JIMENEZ M..**  
Jefe de Laboratorio  
P.Q.I.0356

Los resultados indicados como < (menor que) corresponden a los límites de detección de los métodos de ensayo

Muestreo realizado por **EL SOLICITANTE**.

Resultados válidos únicamente para las muestras analizadas

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de TECNOAmbiental SAS

TF0055/REV/5/ FIN DEL RESULTADO

Calle 40 No. 25 - 91 Barrio El Emporio - Villavicencio - Telefax: 664 1235 / 664 3618

E-mail: tecnoambiental\_sas@yahoo.com

**Anexo 32.** Ejemplo para la ecuación del índice NSF (Resultados del muestreo PM1).

El siguiente es un ejemplo detallado del cálculo del índice NSF, el cual se realizó su demostración en este caso únicamente para la época lluviosa (Octubre) en el punto de muestreo 1 (PM 1) Playa Rica. Es importante tener en cuenta que este mismo procedimiento fue realizado con los demás puntos de muestreo en las dos épocas.

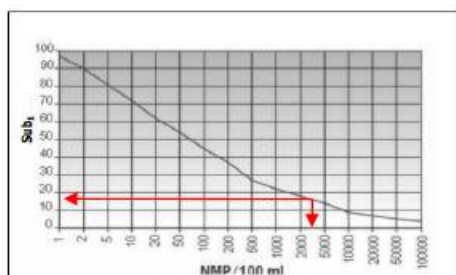
**1. Resultados del muestreo para el PM 1 en época lluviosa**

| PARÁMETRO                    | UNIDADES     | RESULTADO |
|------------------------------|--------------|-----------|
| Coliformes                   | # / 100 ml   | 2.420     |
| pH                           | Unidades     | 6,83      |
| DBO                          | Mg/L         | 2         |
| Nitratos                     | Mg/L         | 0,005     |
| Fosfatos                     | Mg/L         | 0,002     |
| Cambio de T°                 | °C           | 0         |
| Turbidez                     | NTU          | 2,3       |
| Sólidos Disueltos<br>Totales | Mg/L         | 91,5      |
| Oxígeno disuelto             | % Saturación | 89,8      |

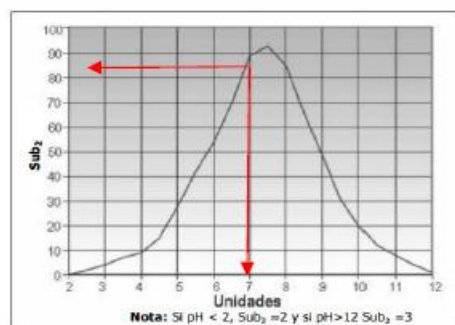
Por Guerrero, 2017

**Anexo 33** Valor Qi en las curvas estandarizadas para cada parámetro

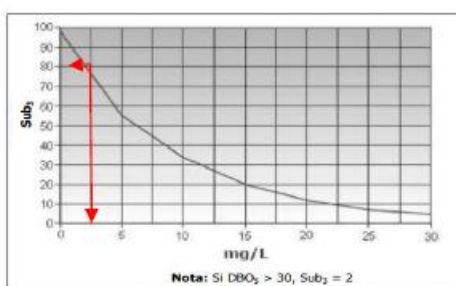
2. Posteriormente se procedió a escoger el valor Qi para cada parámetro como se ilustra en las curvas estandarizadas:



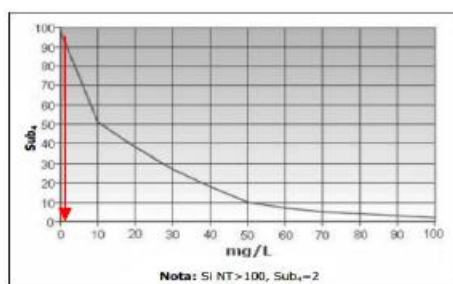
**Figura 1.** Valoración de la calidad del agua en función de Coliformes fecales  
Fuente: Unipamplona, 2009.



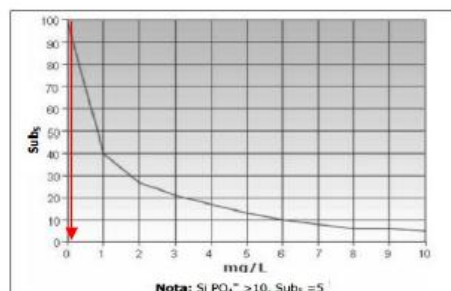
**Figura 2.** Valoración de la calidad del agua en función del pH  
Fuente: Unipamplona, 2009.



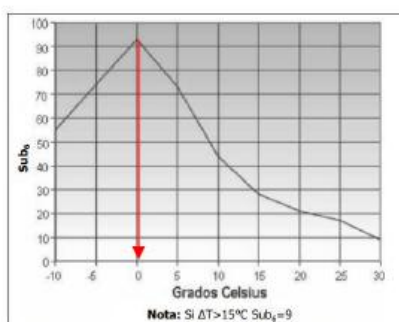
**Figura 3.** Valoración de la calidad del agua en función de la DBO<sub>5</sub>  
Fuente: Unipamplona, 2009.



**Figura 4.** Valoración de la calidad del agua en función de los nitratos  
Fuente: Unipamplona, 2009.



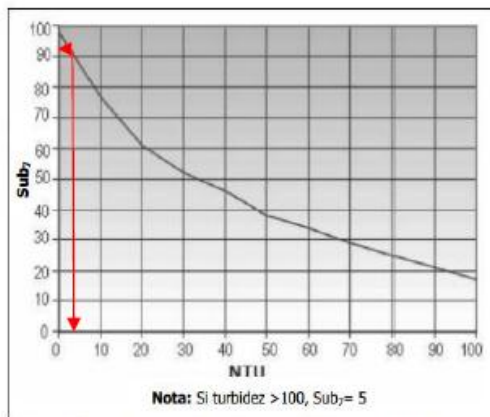
**Figura 5.** Valoración de la calidad del agua en función del fosforo  
Fuente: Unipamplona, 2009.



**Figura 6.** Valoración de la calidad del agua en función de la temperatura  
Fuente: Unipamplona, 2009.

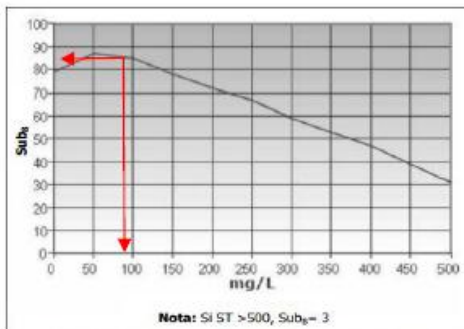
Por Guerrero, 2017

**Anexo 34.** Valor Qi en las curvas estandarizadas para cada parámetro.



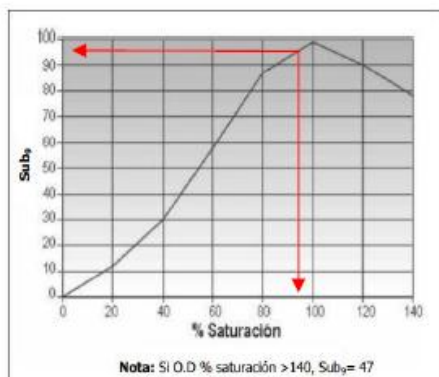
**Figura 7.** Valoración de la calidad del agua en función de la turbidez

Fuente: Unipamplona, 2009.



**Figura 8.** Valoración de la calidad del agua en función de los sólidos disueltos totales

Fuente: Unipamplona, 2009.



**Figura 9.** Valoración de la calidad del agua en función del oxígeno disuelto

Fuente: Unipamplona, 2009.

Por Guerrero, 2017

**Anexo 35.** Obtención de la estimación de INSF para PM1

**3.** Luego, el valor Qi(Valor) de cada parámetro se multiplicó con su factor de ponderación ya asignado y así obtener el subtotal para cada uno. Posteriormente se realizó la suma entre los subtotales y se obtuvo la estimación del índice de Calidad del Agua para el PM1 como corresponde en este caso.

| PARÁMETRO                 | RESULTADO | UNIDADES     | Q VALOR | FACTOR DE PONDERACIÓN | SUBTOTAL     |
|---------------------------|-----------|--------------|---------|-----------------------|--------------|
| Oxígeno disuelto          | 89,8      | % Saturación | 94,83   | 0,17                  | 16,1211      |
| Coliformes fecales        | 2.420     | # / 100 ml   | 17,16   | 0,16                  | 2,7456       |
| pH                        | 6,83      | Unidades     | 83,75   | 0,11                  | 9,2125       |
| DBO                       | 2         | Mg/L         | 80      | 0,11                  | 8,8          |
| Cambio de T°              | 0         | °C           | 93      | 0,1                   | 9,3          |
| Fosfatos                  | 0,002     | Mg/L         | 99,92   | 0,1                   | 9,992        |
| Nitratos                  | 0,005     | Mg/L         | 97      | 0,1                   | 9,7          |
| Turbidez                  | 2,3       | NTU          | 92,1    | 0,08                  | 7,368        |
| Sólidos Disueltos Totales | 91,5      | Mg/L         | 84,12   | 0,07                  | 5,8884       |
| <b>TOTAL</b>              |           |              |         |                       | <b>79,13</b> |

Por Guerrero, 2017

**Anexo 36.** Resultados del ICA NSF en temporada de alta pluviosidad (octubre).

**Anexo 37.** Resultados del ICA NSF en temporada de baja pluviosidad (diciembre).

**Anexo 38.** Procedimientos matemáticos para la obtención del ANOVA

|            | Y <sub>ij</sub> |     | Y <sub>ij</sub> | Y. <sub>j</sub> | Y. <sub>j</sub> |     |
|------------|-----------------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----|
| <b>Y11</b> | 79,13           | Y12 | 73,26           | Y1j             | 152,39          |     |
| <b>Y21</b> | 77,48           | Y22 | 71,95           | Y2j             | 149,42          |     |
| <b>Y31</b> | 76,58           | Y32 | 71,92           | Y3j             | 148,50          |     |
| <b>Y41</b> | 75,74           | Y42 | 69,56           | Y4j             | 145,30          |     |
| <b>Yi.</b> | 308,92          |     | 286,6849        |                 | 595,61          | Y.. |

**SUMA DE CUADRADOS**

$$44418,92 \quad \sum Y_{ij}^2$$

$$177621,96 \quad \sum Y_{i.}^2$$

$$88712,9151 \quad \sum Y_{.j}^2$$

**Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: Índice de calidad

| Origen             | Tipo III de<br>suma de<br>cuadrados | gl | Media<br>cuadrática | F       | Sig. |
|--------------------|-------------------------------------|----|---------------------|---------|------|
| Tiempo             | 61,827                              | 1  | 61,827              | 287,257 | ,000 |
| Lugar              | 12,790                              | 3  | 4,263               | 19,809  | ,018 |
| Error              | ,646                                | 3  | ,215                |         |      |
| Total<br>corregido | 75,263                              | 7  |                     |         |      |

a. R al cuadrado = ,991 (R al cuadrado ajustada = ,980)

| Fuente de variación | Suma de cuadrados          | Grados de libertad | Cuadrado medio                           | $F_0$                                   |
|---------------------|----------------------------|--------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Tratamientos        | $SS_{\text{Tratamientos}}$ | $a - 1$            | $\frac{SS_{\text{Tratamientos}}}{a - 1}$ | $\frac{MS_{\text{Tratamientos}}}{MS_E}$ |
| Bloques             | $SS_{\text{Bloques}}$      | $b - 1$            | $\frac{SS_{\text{Bloques}}}{b - 1}$      |                                         |
| Error               | $SS_E$                     | $(a - 1)(b - 1)$   | $\frac{SS_E}{(a - 1)(b - 1)}$            |                                         |
| Total               | $SS_T$                     | $N - 1$            |                                          |                                         |

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{N}$$

$$SS_{\text{Tratamientos}} = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^a y_{i.}^2 - \frac{y_{..}^2}{N}$$

$$SS_{\text{Bloques}} = \frac{1}{a} \sum_{j=1}^b y_{.j}^2 - \frac{y_{..}^2}{N}$$

y la suma de cuadrados del error se obtiene por sustracción como

$$SS_E = SS_T - SS_{\text{Tratamientos}} - SS_{\text{Bloques}}$$

Suma de cuadrados Totales  $SS_T$

$$SS_T = \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^2 Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N} = 44418,92 - \frac{595,61^2}{8} = 75,25$$

Suma de cuadrados entre tratamientos  $SS_{\text{Tratamientos}}$

$$SS_{\text{Trat}} = \sum_{i=1}^2 \frac{Y_{i.}^2}{b} - \frac{Y_{..}^2}{N} = \frac{177621,96}{4} - \frac{595,61^2}{8} = 61,82$$

Suma de cuadrados entre bloques  $SS_{\text{Bloques}}$

$$SS_B = \sum_{i=1}^4 \frac{Y_{.j}^2}{k} - \frac{Y_{..}^2}{N} = \frac{88712,92}{2} - \frac{595,61^2}{8} = 12,787$$

Suma de cuadrados entre bloques  $SS_{Error}$

$$SS_E = SS_T - SS_{Trat} - SS_B$$

$$SS_E = 75,25 - 61,82 - 12,787$$

$$SS_E = 0,643$$

Calculo del coeficiente de determinación R al cuadrado Ajustado

$$CM_E = \frac{0,646}{3} = 0,215$$

$$CM_T = \frac{75,25}{7} = 10,75$$

$$R_{aj}^2 = 1 - \frac{CM_E}{CM_T} = 1 - \frac{0,215}{10,75} = 0,98$$

Cuadrados medios o medias cuadráticas

$$CM_{Trat} = \frac{61,817}{1} = 61,817$$

$$CM_{Bloq} = \frac{12,787}{3} = 4,263$$

$$CM_E = \frac{0,646}{3} = 0,215$$

Calculo del estadístico de prueba F

$$F = \frac{61,817}{0,215} = 287,52$$

$$F = \frac{4,263}{0,215} = 19,828$$

Significancia

$$F_{287.52,1,3} = 0.0000$$

$$F_{19.828,3,3} = 0.018$$



*Anexo 39.* Matriz de doble entrada con información de los puntos de muestreo y el ICA.

| PM | Localización |               | Valor<br>(10%) | Índice NSF |           | Valor<br>(20%) | Cantidad de<br>Vertimientos<br>aguas arriba<br>del PM. | Valor<br>(40%) | Servicio de<br>alcantarillado |              |    | Valor<br>(10%) | Viviendas<br>dentro de la<br>ronda | Valor<br>(20%) | Valor<br>Total | Clase de<br>impacto |
|----|--------------|---------------|----------------|------------|-----------|----------------|--------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------|--------------|----|----------------|------------------------------------|----------------|----------------|---------------------|
|    | Nombre       | Barrio        |                | Octubre    | Diciembre |                |                                                        |                | SI                            | Parcialmente | NO |                |                                    |                |                |                     |
|    |              |               |                |            |           |                |                                                        |                |                               |              |    |                |                                    |                |                |                     |
| 1  | PM 1         | Playa Rica    | 2              | 71.06      | 66.02     | 1              | 2                                                      | 1              | X                             |              |    | 2              | 150                                | 3              | 1,6            | Moderado            |
| 2  | PM 2         | Villa del Río | 2              | 69.99      | 62.92     | 1              | 41                                                     | 3              | X                             |              |    | 1              | 29                                 | 1              | 1,9            | Moderado            |
| 3  | PM 3         | Guatapé       | 2              | 68.86      | 59.06     | 1              | 25                                                     | 2              | X                             |              |    | 1              | 7                                  | 1              | 1,5            | Moderado            |
| 4  | PM 4         | El Rubí       | 2              | 67.91      | 62.69     | 1              | 13                                                     | 1              |                               |              | X  | 3              | 50                                 | 2              | 1,5            | Moderado            |

Por Guerrero, 2018