

EVALUACIÓN DEL IMPACTO POR VERTIMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES  
DOMÉSTICAS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN  
(ICOMO) EN CAÑO GRANDE, LOCALIZADO EN VILLAVICENCIO-META.

SANTIAGO AGUILAR MARTÍNEZ  
GRACES ALEXANDRA SOLANO PARDO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
VILLAVICENCIO  
2018

EVALUACIÓN DEL IMPACTO POR VERTIMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES  
DOMÉSTICAS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN  
(ICOMO) EN CAÑO GRANDE, LOCALIZADO EN VILLAVICENCIO-META.

SANTIAGO AGUILAR MARTÍNEZ  
GRACES ALEXANDRA SOLANO PARDO

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

Directora  
Mg. YÉSSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN  
Ingeniera Química  
Magistra en Hidrosistemas

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
VILLAVICENCIO  
2018

**Autoridades Académicas**

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

Rector general

**P. MAURICIO ANTONIO CORTÉS GALLEDO, 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

**NATALIA MOSQUERA BELTRÁN**

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

---

---

---

---

---

---

**YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN**

Decano de Facultad

---

**YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN**

Director Trabajo de Grado

---

**JORGE ELIECER PARDO MAYORGA**

Jurado

---

**MARÍA ALEXANDRA MÉNDEZ LEAL**

Jurado

Villavicencio, octubre de 2018

## Contenido

Pág.

Resumen .....	1
Abstract.....	2
Introducción .....	3
1. Planteamiento del problema .....	5
1.1 Descripción del problema .....	5
1.2 Objetivos.....	6
1.2.1 Objetivo general.....	6
1.2.2 Objetivos específicos .....	7
1.3 Justificación .....	7
1.4 Alcance .....	8
2. Antecedentes y marco referencial.....	10
2.1 Antecedentes.....	10
2.2 Marco teórico.....	12
2.2.1 Aguas residuales .....	13
2.2.2 Tipos de vertimientos .....	13
2.2.3 Contaminación por materia orgánica.....	13
2.2.4 Índice de calidad (ICA) .....	14
2.2.5 Índices de contaminación (ICO).....	14
2.3 Marco conceptual.....	16
2.3.1 Contaminación del agua .....	16
2.3.2 Materia orgánica (MO).....	16
2.3.3 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) .....	17
2.3.4 Demanda química de oxígeno (DQO).....	17
2.3.5 Coliformes totales .....	17
2.3.6 Oxígeno disuelto.....	17
2.3.7 Potencial de hidrogeno (pH).....	17
2.3.8 Conductividad.....	18
2.3.9 Temperatura.....	18

2.4 Marco legal .....	18
3. Metodología.....	22
3.1 Hipótesis .....	22
3.2 Variables de estudio.....	23
3.3 Muestras.....	23
3.3.1 Tamaño de la muestra.....	23
3.3.2 Jornadas de muestreo.....	24
3.3.3 Toma de muestras .....	25
3.4 Área de estudio .....	26
3.4.1 Estaciones de muestreo.....	26
3.5 Captura de información en el área de estudio.....	29
3.5.1 Medición de caudal.....	30
3.6 Tratamiento de los datos.....	31
3.6.1 Manejo estadístico .....	31
3.6.2 Estimación de la carga volumétrica.....	32
3.6.3 Determinación del índice de contaminación.....	32
3.6.4 Análisis espacial .....	33
4. Resultados y discusión.....	33
4.1 Identificación de los puntos de vertimiento.....	33
4.2 Estimación de la carga volumétrica.....	35
4.3 Análisis de resultados .....	36
4.3.1 Resultados ex situ .....	36
4.3.2 Resultados in situ y precipitaciones.....	38
4.3.3 Cálculo del índice ICOMO.....	41
4.4 Correlación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos .....	44
4.4 Correlación índice ICOMO y parámetros fisicoquímicos y microbiológicos .....	49
4.5 Representación espacial índice ICOMO.....	52
4.6 Comparación multitemporal del índice ICOMO .....	52
5. Conclusiones y recomendaciones .....	54
Bibliografía.....	57
Apéndices .....	64

## Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Barrios comuna 8 colindantes con caño Grande. ....	9
Tabla 2. Índice ICOMO de los años 2009, 2006 y 2005 en caño Grande. ....	12
Tabla 3. Escala de valores para el índice ICOMO. ....	16
Tabla 4. Descripción marco legal estratégico de la política nacional para la gestión integral del recurso hídrico (PNGIRH). ....	19
Tabla 5. Descripción marco legal normativo a tener en cuenta en el desarrollo del estudio de investigación. ....	21
Tabla 6. Metodologías y unidades de análisis. ....	23
Tabla 7. Identificación de vertimientos de aguas residuales domésticas. ....	29
Tabla 8. Mapas temáticos área de estudio. ....	33
Tabla 9. Barrios colindantes con caño Grande que realizan vertimientos de aguas residuales. ...	34
Tabla 10. Resultados in-situ y ex-situ. ....	36
Tabla 11. Precipitaciones medias mensuales en el tiempo de estudio. ....	38
Tabla 12. Resultados del cálculo del índice ICOMO. ....	43
Tabla 13. Promedio resultados del cálculo del índice ICOMO. ....	44
Tabla 14. Resultados de la correlación de pearson entre los parámetros evaluados. ....	45
Tabla 15. Comparación multitemporal del índice ICOMO. ....	52
Tabla 16. Coordenadas vertimientos de aguas residuales. ....	66

## Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Fragmento mapa microcuenca y perfil de elevación caño Grande .....	4
Figura 2. Perfil elevación afluente caño Grande .....	8
Figura 3. Esquema metodológico .....	22
Figura 4. Comportamiento caudal aguas residuales. ....	24
Figura 5. Nevera para el transporte y refrigeración de muestras .....	26
Figura 6. Perfil elevación tramo de estudio afluente caño Grande .....	27
Figura 7. Estación de muestreo 1 .....	27
Figura 8. Estación de muestreo 2. ....	28
Figura 9. Residuos sólidos rivera caño Grande estación 2 .....	28
Figura 10. Estación de muestreo 3 .....	29
Figura 11. Georeferenciación vertimientos GPS garmin 64s. ....	30
Figura 12. Medición de caudal estación 1. ....	30
Figura 13. Sección transversal en el punto del aforo .....	30
Figura 14. Medición de caudal estación 2 .....	31
Figura 15. Medición de caudal estación 3 .....	33
Figura 16. Reunión asociación juntas de acciones comunales (ASOJUNTAS) comuna 8. ....	35
Figura 17. Concentración de coliformes totales en el afluente .....	37
Figura 18. Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno. ....	38
Figura 19. Comportamiento de los caudales en el afluente .....	39
Figura 20. Comportamiento del oxígeno disuelto.....	40
Figura 21. Comportamiento del ph .....	40
Figura 22. Comportamiento de la temperatura .....	41
Figura 23. Índice ICOMO en las diferentes estaciones y fechas de muestreo. ....	44
Figura 24. Correlación temperatura-oxígeno disuelto método de pearson. ....	46
Figura 25. Correlación coliformes totales-ph método de pearson. ....	47
Figura 26. Correlación conductividad-DBO5 método de pearson.....	48
Figura 27. Correlación coliformes totales-caudal método de pearson. ....	49

Figura 28. Correlación coliformes totales -índice ICOMO-pearson.....	52
Figura 29. Correlación oxígeno disuelto - índice ICOMO-pearson.....	51
Figura 30. Correlación DBO5 - índice ICOMO método de pearson. ....	51
Figura 31. Foto satelital, asentamientos colindantes con caño Grande. ....	64
Figura 32. Foto satelital, nuevos asentamientos colindantes con caño Grande .....	64
Figura 33. Resultado análisis laboratorio TECNOAMBIENTAL. ....	65
Figura 34. Encuestas líderes comunales ASOJUNTAS. ....	66
Figura 35. Número de habitantes que aportan aguas residuales al afluente de estudio. ....	69

## Lista de apéndices

	Pág.
Apéndice A: Fotografía satelital zona de estudio, septiembre del 2010.....	64
Apéndice B: Fotografía satelital zona de estudio, octubre del 2017.....	64
Apéndice C: Mapa microcuenca y perfil de elevación caño Grande.....	65
Apéndice D: Resultado de análisis muestras campo.....	65
Apéndice E: Mapa zonificación zona de estudio y sistema de soporte ambiental urbano.....	65
Apéndice F: Formato encuesta líderes juntas de acción comunal.....	66
Apéndice G: Tabla coordenadas vertimientos de aguas residuales.....	66
Apéndice H: Mapa redes alcantarillado y vertimientos aguas residuales.....	69
Apéndice I: Plano de redes sistema de alcantarillado por eaav.....	69
Apéndice J: Resultados entrevista a líderes comunales sobre la cantidad de población para los barrios identificados.....	69
Apéndice K: Líneas de código estudio (3.3).....	70
Apéndice L: Mapa calidad del agua índice ICOMO microcuenca caño Grande.....	70
Apéndice M: Mapa calidad del agua índice ICOMO microcuenca caño Grande.....	71
Apéndice N: Mapa calidad del agua índice ICOMO microcuenca caño Grande.....	71
Apéndice O: Mapa calidad del agua índice ICOMO microcuenca caño Grande.....	71

## Resumen

El presente trabajo tiene como objeto evaluar el impacto de los vertimientos de aguas residuales domésticas en la afluyente Caño Grande ubicada en Villavicencio, Meta, aplicando el índice de contaminación ICOMO en un tramo de 4.9 km. Para dar cumplimiento al propósito se estimaron las cargas contaminantes por materia orgánica, identificaron in situ los vertimientos (legales o ilegales) y se analizó el comportamiento multitemporal del índice de contaminación, en comparación a información secundaria.

Se establecieron tres estaciones de muestreo a lo largo del tramo analizado y cuatro monitoreos en temporada de precipitación alta, midiendo variables in-situ (pH, oxígeno disuelto, temperatura y conductividad) y ex-situ (coliformes totales y DBO5).

Se obtuvieron valores promedio del índice ICOMO para las tres estaciones que señalan una contaminación del agua media con un valor de 4.8. La correlación de Pearson permitió determinar que para este estudio los coliformes totales, tuvieron la mayor influencia sobre el resultado final del índice ICOMO.

Un estudio previo para el año 2006 en temporada de baja pluviosidad, mostró contaminación pésima para Caño Grande, indicando diferencia de 0.52 con respecto al índice obtenido en el presente estudio. Mientras que estudios realizados en los años 2005 y 2009 en meses con altos niveles de precipitación (>400 mm/mes), evidenciaron una diferencia en el índice de contaminación 0.32 y 0.22, respectivamente, con el estudio actual, estas diferencias pueden atribuirse a las obras de actualización del sistema de acueducto y alcantarillado de los últimos años, así como, al monitoreo en condiciones de temporada seca.

**Palabras claves:** Afluyente, calidad del agua, contaminación del agua, vertimientos aguas residuales, índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).

### Abstract

The purpose of this work is to evaluate the impact of domestic wastewater dumping on the affluent tributary Grande located in Villavicencio, Meta, applying the index of pollution ICOMO in a section of 4.9 km. To comply with the purpose, pollutant charges were estimated by organic matter, identified in situ dumping (legal or illegal) and analyzed the multitemporal behavior of the pollution index, compared to information secondary.

Established three sampling stations along the stretch analyzed and four monitoring in season precipitation high, measuring variables in-situ (pH, dissolved oxygen, temperature and conductivity) and ex-situ (total coliforms and BOD5).

There were obtained average values of the index ICOMO for the three stations that indicate a contamination of water media with a value of 4.8. The Pearson correlation allowed to determine that for this study the total coliforms, had the greatest influence on the final result of the index ICOMO.

A previous study for the year 2006 in low rainfall season, showed bad contamination for the tributary Grande, indicating difference of 0.52 with respect to the index obtained in the present Study. While studies in the years 2005 and 2009 in months with high levels of precipitation (> 400 mm/month), showed a difference in the pollution index 0.32 and 0.22, respectively, with the current study, these differences can be attributed to the works for updating the system of aqueduct and sewage from the last few years, as well as to monitoring in conditions of dry season.

**Key words:** Tributary, water quality, water pollution, dumping wastewater, contamination index by organic matter (ICOMO).

## Introducción

El deterioro del medio ambiente y sus consecuentes efectos negativos en la calidad de vida, son producto de la acelerada tasa de crecimiento poblacional (Salazar, 2015). La falta de planeación territorial, requerida para afrontar este crecimiento desmesurado ha ocasionado la aparición de asentamientos urbanos que carecen de conexión a los sistemas de alcantarillado municipales, llevando a estas comunidades a conducir sus aguas negras directamente en los cauces de cuerpos de agua aledaños (Salazar, 2015). Los vertimientos directos son la mayor amenaza al recurso hídrico por la introducción incontrolada de contaminantes, ya sean de origen doméstico, comercial e industrial; provocando un impacto a corto y largo plazo sobre la fuente receptora. Estas descargas generan problemas ambientales como la alteración en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua, con el consecuente efecto sobre la salud pública. (Monforte & Cantú, 2009).

Estos contaminantes en general son introducidos en los afluentes y no directamente en los ríos de mayor orden, como sucede para el drenaje Caño Grande que se localiza en el municipio de Villavicencio, cuyo cauce recorre el sector Suroccidente del centro urbano, con una longitud aproximada de 8,7 km, desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Ocoa (ver figura 1). En su trayecto atraviesa parte de la comuna 8 del municipio, colindando con asentamientos urbanos en sus dos márgenes, donde recibe dos tipos de vertimientos directos, (i) los recolectados por el sistema de alcantarillado de la comuna 8 y (ii) los provenientes directamente de las viviendas no conectadas. Por otra parte, los residuos sólidos que se disponen a lo largo de la zona de ronda también generan aportes líquidos por lixiviación y escorrentía.

En la red de drenajes de la microcuenca caño Grande, la información sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas por efecto de la presión antrópica es escasa; la corporación para el desarrollo sostenible del área de manejo especial la Macarena “Cormacarena” realizó monitoreos únicamente en los años 2005, 2006 y 2009, direccionada por el plan de manejo y ordenamiento de la cuenca del Río Guatiquía. Esta brecha de información y el incremento poblacional de los barrios colindantes a este cuerpo hídrico -pertenecientes a la comuna 8 de Villavicencio-, que ejercen presión directa, llevó a la presente investigación a plantear como objeto la evaluación del impacto

de los vertimientos de origen doméstico, sobre la calidad del agua en el afluente caño Grande, aplicando el índice de contaminación por material orgánico (ICOMO) y finalizando con un análisis comparativo de estudios previos. Este índice analiza la contaminación por materia orgánica (MO), la cual consiste en millares de componentes, como partículas macroscópicas, coloides o macromoléculas disueltas que pueden causar color, olor, sabor, el desarrollo de microorganismos patógenos o implicar la presencia de materia no biodegradable (Ramirez & Restrepo, 1997).

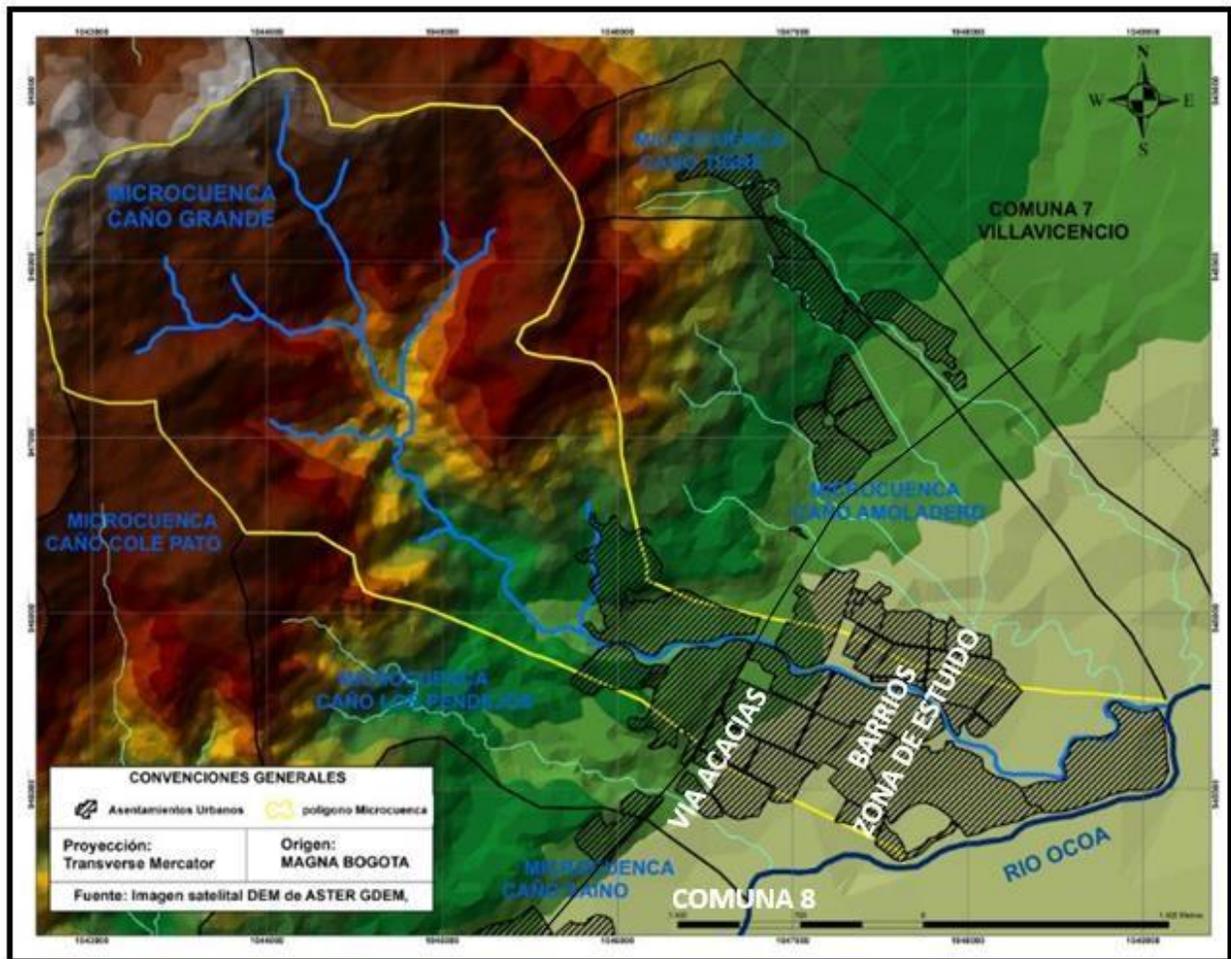


Figura 1. Fragmento mapa microcuenca y perfil de elevación caño Grande (ver apéndice C), por Aguilar S & Solano G, 2018.

## **1. Planteamiento del problema**

### **1.1 Descripción del problema**

La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico del año 2010, establece objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción para el manejo del recurso hídrico en el país (IDEAM, 2015). Sin embargo, en Villavicencio, municipio que carece de articulación entre el ordenamiento territorial y su tasa de crecimiento poblacional del 2.7% anual (DANE, 2010), esta Política no es aplicada de manera eficiente (Ortiz & Rodríguez, 2014), entre otros efectos, deja como resultado la desconexión de asentamientos urbanos al sistema de alcantarillado municipal, generando claras afectaciones en la calidad ambiental de los principales afluentes que atraviesan el municipio, entre los que se encuentran caño Buque, caño la Cuerera, caño Tigre, caño Los Pendejos, caño Maizaro, Caño la Unión, caños Negros y caño Grande (Gonzales M. , 2014); los cuales son las principales fuentes receptoras de aguas residuales domésticas.

Particularmente en la Comuna 8, una de las más grandes del municipio con aproximadamente 110000 habitantes (Contreras, 2018), la empresa de acueducto y alcantarillado de Villavicencio E.S.P –EAAV- realiza la recolección de aguas residuales en algunos de los barrios que se encuentran conectados al sistema de alcantarillado. Estas aguas posteriormente son vertidas sin previo tratamiento en diversos afluentes (Alcaldía Villavicencio, 2018); por otra parte, la población que no se encuentra interconectada a los sistemas de alcantarillado realiza vertimientos directos, suponiendo la existencia de puntos de aporte no identificados e ilegales que deterioran gradualmente la calidad del recurso hídrico.

Este escenario se presenta en la microcuenca caño Grande, la cual posee una importancia estratégica para el municipio, puesto que, abastece al sistema de acueducto municipal y a dos acueductos comunales que surten de agua a aproximadamente 30 barrios de la comuna 8 (Alcaldía Municipal de Villavicencio, 2015). Sin embargo, a pesar de la elevada importancia, este cuerpo hídrico no cuenta con una evaluación sistemática de las condiciones de calidad de agua y si, con numerosos puntos de vertido sobre su cauce.

En el plan de manejo y ordenamiento de la cuenca del río Guatiquía se cuantificó la afectación por vertimientos de aguas residuales sobre los principales afluentes mediante el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO); caño Grande como afluente de importancia del río Ocoa y este a su vez del río Guatiquía, fue monitoreado durante los años 2005, 2006 y 2009, mostrando índices de contaminación por materia orgánica entre mala y pésima (CORMACARENA, 2010). No obstante, el cuerpo de agua caño Grande no cuenta con información actualizada que permita la correcta toma de decisiones en relación a la gestión integral del recurso hídrico. Esta falta de gestión y las condiciones de contaminación de la microcuenca han repercutido en inconformidades que la comunidad manifestó frente a las instituciones encargadas de la administración del recurso hídrico.

Alrededor de la microcuenca los asentamientos urbanos y ocupaciones legales han tenido un aumento, con una cobertura adicional de 17 zonas de uso residencial entre los años 2010 y 2017 evidenciado a través de imágenes satelitales (Google Earth, 2018) (ver apéndice A & B)-, y son limitadas las acciones por parte de las entidades responsables. Estas dos realidades conllevan al aporte de vertimientos de tipo doméstico que generan un impacto sobre el contenido de materia orgánica del afluente, En tal sentido, es clara la necesidad de generar estudios alrededor del cuerpo hídrico que permitan dar cuenta de su estado actual y sean base para la toma de decisiones. Desde esta premisa, la presente investigación plantea como formulación en torno al problema: ¿Qué grado de afectación cuantificado mediante el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) presenta actualmente el afluente caño Grande?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general.**

Evaluar el impacto de vertimientos de aguas residuales domésticas en la microcuenca caño Grande, mediante la aplicación del Índice de contaminación (ICOMO) y el análisis multitemporal de estudios previos.

### 1.2.2 Objetivos específicos.

- Estimar las cargas contaminantes por materia orgánica que son aportadas a Caño Grande a través de recolección de información primaria y revisión de información secundaria.
- Determinar el grado de contaminación por materia orgánica de Caño Grande mediante el cálculo del índice ICOMO.
- Analizar el comportamiento multitemporal del índice de contaminación con respecto a resultados de estudios previos.

### 1.3 Justificación

El problema antes mencionado requiere ser abordado por la comunidad académica, con el fin de obtener información actualizada, base para la administración y gestión del cuerpo de agua caño Grande, el cual es de gran importancia para el municipio, por ser uno de los principales afluentes del río Ocoa, aportando un caudal promedio de  $0.82 \text{ m}^3/\text{s}$ , ubicándolo en el cuarto puesto en aporte volumétrico entre todos los 11 cauces que desembocan en el Ocoa (CORMACARENA, 2010). También es uno de los 6 puntos de captación de agua superficial de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio (EAAV) para el abastecimiento municipal, junto con la quebrada la Honda, río Guatiquía, caño Maizaro, caño Buque y Caño Blanco, suministrando por si solo el servicio de agua a más de 6000 habitantes de la comuna 8 (EAAV, 2014).

La comunidad circundante a caño Grande ha manifestado en reuniones sostenidas con la asociación de juntas de acción comunales (ASOJUNTAS), la urgencia de implementar monitoreos sistemáticos, a un cauce que muestra claras señales de deterioro en la calidad de sus aguas. Reflejando el nivel de importancia que tiene este afluente desde el componente social del municipio. Lo cual justifica desde las dimensiones sociales, económicas y ambientales, la evaluación del impacto de los vertimientos sobre este cuerpo de agua.

La situación específica de contaminación por materia orgánica en la <sup>1</sup>microcuenca caño Grande puede ser evaluada de forma cualitativa y cuantitativa, mediante la aplicación de un índice de contaminación (ICO); índice que se caracteriza por ser una valiosa herramienta de fácil determinación, siendo de gran utilidad en la identificación de la calidad de las fuentes hídricas superficiales. El índice ICOMO evalúa los diferentes efectos de la contaminación orgánica, analizando el comportamiento de dos variables fisicoquímicas (DBO5 y Oxígeno disuelto) y una microbiológica (Coliformes totales), que relacionan diferentes efectos ocasionados en estos procesos de contaminación (Ramírez & Restrepo, 1997), de una forma simple y económica. Desde este precepto se hará uso del índice para evaluar el estado de la microcuenca por efectos del aporte de vertimientos.

### 1.4 Alcance

Espacialmente el estudio se desarrolló en la microcuenca caño Grande (Ver apéndice C), que se localiza en el municipio de Villavicencio, al norte del departamento del Meta. El tramo de estudio comprende 4.9 km de longitud, entre las coordenadas planas Magna Colombia Bogotá X: 1045168 y Y: 946405 y X: 1048810 y Y: 945492, iniciando en el punto de captación del acueducto municipal, atravesando la comuna 8, hasta 30m antes de la desembocadura de caño Amoladero y 300m de su confluencia con el río Ocoa (Ver Figura 2), el cual recibe múltiples vertimientos de aguas residuales domésticas de los barrios o asentamientos colindantes.



Figura 2. Perfil elevación afluente caño Grande. Adoptado de “Google Earth, 2018”, por Aguilar S & Solano G, 2018.

<sup>1</sup> Los apartados específicos del estudio donde se haga referencia a microcuenca se estará expresando específicamente el tramo de estudio comprendido entre las coordenadas planas Magna Colombia Bogotá X: 1045168 y Y: 946405 y X: 1048810 y Y: 945492.

El estudio se desarrolló en un periodo de 8 meses, comprendidos entre los meses de diciembre de 2017 y julio de 2018, a fin de abarcar periodos de precipitación altos, superiores a 400mm /mes. Se espera que los resultados sirvan de soporte a las autoridades ambientales y a la academia, quienes en un esfuerzo conjunto pueden abordar la problemática de contaminación del recurso hídrico superficial por vertimientos domésticos y por supuesto, a la población colindante que se especifica en la tabla 1.

Tabla 1.

*Barrios comuna 8 colindantes con caño Grande.*

<b>BARRIOS COLINDANTES CON CAÑO GRANDE</b>		
<b>MARGEN IZQUIERDA</b>	<b>MARGEN DERECHA</b>	
Villa Sonia	Villa Lorena	Divino Niño
Montecarlo Alto	Playa Rica	Margaritas
Caño Grande	Catumare	San Jorge 1,2 y 3
Rochela	Nuevo Horizonte	Santillana

*Nota:* \*Barrios pertenecientes a la comuna 8. Adaptado de “Alcaldía Municipal de Villavicencio, 2015”, por Aguilar S & Solano G, 2018.

La investigación se enfocará en el índice de contaminación del agua (ICOMO), teniendo en cuenta los parámetros fisicoquímicos como pH, oxígeno disuelto, conductividad, temperatura, DBO5 y microbiológicos como coliformes totales, estos parámetros están ligados al método de cálculo del índice y a la presencia de materia orgánica en los cuerpos de agua (Ramirez & Restrepo, 1997). Para efectos de la presente investigación se entenderá como un análisis multitemporal a la evaluación del estado actual del índice en relación a estudios previos, de forma comparativa (años 2005, 2006 y 2009).

Debido al comportamiento climático bimodal que se presenta en la zona de estudio, se realizaron los muestreos únicamente en temporada de lluvia. La época de lluvias se definió en los meses de abril, junio y julio del 2018, siguiendo lo establecido por el IDEAM (2017) que determina un rango que categoriza la temporada seca con precipitaciones menores a 100 mm/mes y para la temporada de lluvias precipitaciones mayores a 400mm/mes.

## 2. Antecedentes y marco referencial

### 2.1 Antecedentes

La presencia de altas concentraciones de material orgánico en los cuerpos de agua es una problemática social y ambiental en aumento (IDEAM, 2015), por esto internacionalmente se han realizado estudios para identificar el estado de las fuentes hídricas por medio de índices de calidad del agua como el ICA.

En la cuenca del río Amajac en México, receptor de vertimientos domésticos se encontró que el 59% de su cauce poseía un índice ICA de mala calidad, el 29% muestra una calidad media y el 12% se encuentra altamente contaminado, encontrando que los parámetros de oxígeno disuelto y coliformes fecales, son los que más influyen en el cálculo del índice (Alvarez & Rubiños, 2006). De igual forma en Ecuador en los ríos Ozogoché, Pichauña y Pomacocho los resultados del índice ICA reflejan una buena calidad del agua, pero en este caso los parámetros de mayor impacto en la evaluación fueron los sólidos totales y los coliformes fecales (Coello & Ormazá, 2013). La relevancia de estos estudios frente al presente trabajo radica en que soporta que los vertimientos domésticos afectan la calidad de los cuerpos de agua, así como la relación existente entre las variables medidas y el valor final del índice.

Por otra parte, el índice de contaminación por materia orgánica ICOMO no muestra antecedentes internacionales ya que fue formulado por Ramírez y Restrepo (1997) en Colombia, por lo que es ampliamente usado a nivel nacional y regional. Estos estudios se han enfocado en cuerpos de agua receptores de grandes cantidades de vertimientos de aguas residuales. En el departamento del Cauca, la subcuenca Zanjón Oscuro presentó niveles de contaminación muy altos en el 2006 (ICOMO 0.6 a 1.0), impulsando a las instituciones a realizar monitoreos sistemáticos en este cuerpo de agua (Samboni & Reyes, 2011), de igual manera en Bahía Solano se encontró un índice ICOMO de 0.54 a 0.63, concluyendo que los problemas de contaminación eran generados por el desarrollo de las actividades humanas, sugiriendo la necesidad de establecer estrategias y

métodos que contrarresten el impacto de los vertimientos de aguas residuales en el recurso hídrico del ecosistema estratégico de Bahía Solano (Valverde & Edison, 2015).

Más cerca de la región de estudio, el río Botello en Facatativá señaló un índice por contaminación orgánica muy alto de 0.83 a 1.0 entre los años 2014 a 2016, recomendando a las instituciones responsables el control y caracterización de los vertimientos, con el fin de poder ejercer mayor regulación sobre esta fuente hídrica (Gonzales, 2017).

En el departamento del Meta CORMACARENA adelantó estudios en diferentes fuentes hídricas superficiales receptoras de vertimientos domésticos, de los municipios de su jurisdicción, como Restrepo, Granada y Villavicencio, mostrando en las microcuencas caño Iriqué y Sibano de Granada un índice ICOMO de 0.9 y 0.6, Río Upin y caño Caraño de Restrepo con ICOMO de 0.7 y 0.9, y el río Ocoa en Villavicencio con un índice ICOMO de 0.6; estas microcuencas poseen el mayor deterioro en la calidad de sus aguas a causa de los vertimientos domésticos (CORMACARENA, 2011).

Específicamente sobre el afluente de estudio, el cual, fue incluido dentro del plan de ordenamiento de la cuenca del río Guatiquía por CORMACARENA, junto con otros afluentes del río Ocoa, el índice ICOMO mostró un resultado de 0.7 en época de alta pluviosidad (CORMACARENA, 2010). Este índice también fue cuantificado en los años 2005 (en condiciones de baja precipitación) y 2006 (en condiciones de alta precipitación). La comparación de estos resultados en el cuerpo de agua de interés se muestra en la Tabla 2, en la que se observa un índice de contaminación por materia orgánica de calidad pésima (0.8) para el año 2005, calidad que se repite en el año 2006 con un valor en el índice mayor (1.0 - valor máximo) y que disminuye en la medición del año 2009 a calidad media (0.7).

Tabla 2.

*Índice ICOMO de los años 2009, 2006 y 2005 en caño Grande.*

Fuente	Lugar de Muestreo	Valor ICOMO		
		Promedio *BP 2005	Promedio **AP 2006	Promedio **AP 2009
Caño Grade	Aguas Arriba Vertimientos	0.8	1.0	0.7

*Nota:* \*BP: Baja pluviosidad en el año de medición \*\*AP: Alta pluviosidad en el año de medición. ■ Calidad Pésima (>0.8-1), ■ mala (>0.6-0.8) ■ Media (>0.4-0.6) ■ Buena (>0.2-0.4) ■ Muy Buena (0-0.2). Adaptado de “Cormacarena, 2010”, por Aguilar S & Solano G, 2018.

De acuerdo con los estudios expuestos anteriormente, es evidente que la problemática de contaminación por vertimientos domésticos es a escala mundial, si bien internacionalmente se utilizan otras metodologías como el ICA, esta problemática es afrontada y monitoreada sistemáticamente, mostrando la relación existente entre los índices de calidad de agua o contaminación con variables tales como, precipitación, presencia de vertimientos domésticos, asentamientos urbanos, entre otros.

Para efectos de este estudio se decidió trabajar sobre el cuerpo hídrico caño Grande usando el índice ICOMO, el cual fue formulado en Colombia, como se mencionó anteriormente, tanto por el fácil manejo de la metodología de cálculo del índice, como por la importancia del cuerpo de agua de estudio para el municipio desde los aspectos económicos, sociales y ambientales.

## 2.2 Marco teórico

El agua es un recurso natural esencial para la vida, y es necesario en todos los campos de acción para el hombre como: la producción de alimentos, en la salud, la industria, el medio de transporte, entre otros; siendo un bien de consumo para la vida de todos los seres vivos y la sostenibilidad de los ecosistemas de la tierra. Este recurso al formar parte de todos los procesos naturales y humanos, ha tenido impactos que lo han modificado en un recurso vulnerable y escaso (en calidad). El agua al ser contaminada consta de una clasificación, que es denominada como Aguas Residuales (AR) (Mejía, 2005).

### **2.2.1 Aguas residuales**

Las aguas residuales son aquellas que sus propiedades naturales presentan alteraciones producto de la intervención que realiza el hombre, además la disposición de sus aguas requiere de algún tratamiento, antes de ser reusadas o vertidas a un cuerpo de agua natural. Existen diferentes clasificaciones de las aguas residuales de tipo: industrial, municipal y doméstico. En el caso de las aguas residuales domésticas estas se caracterizan por la presencia de residuos líquidos de origen residencial y comercial que suelen contener gran cantidad de materia orgánica (OEFA, 2014).

Por otra parte, el inapropiado manejo de las aguas residuales de tipo doméstico representa la mayor fuente de contaminación para los cuerpos de agua, en el cual sus residuos domésticos son vertidos sobre las diferentes fuentes hídricas a través de un sistema de alcantarillado, o en otros casos son liberados directamente sobre los ríos sin ningún tipo de control o pre tratamiento, como lo dispone la ley (Yana, 2014).

### **2.2.2 Tipos de vertimientos**

El agua al tener diferentes usos es susceptible de ser alterada, en este caso la contaminación procedente de vertimientos de aguas residuales domésticas sobre el cuerpo de agua receptor provoca un impacto a corto y largo plazo. Por otra parte, estos vertimientos se caracterizan por ser de tipo puntual y no puntual:

Para el caso de los vertimientos puntuales son aquellas aguas contaminadas que se descargan en un lugar específico al afluente, a través de sistema de alcantarillas o tuberías.

Por el contrario, los vertimientos no puntuales son los que presentan dificultad al momento de reconocer el sitio de la descarga (Segura, 2007).

### **2.2.3 Contaminación por materia orgánica.**

Se presenta contaminación por materia orgánica después de haber sido vertidas las aguas residuales domésticas a un cuerpo de agua, donde por medio de procesos químicos en presencia de oxígeno en el agua se procede a la descomposición de los compuestos orgánicos, de tal forma que se puede presentar tóxica para los seres vivos.

Este tipo de contaminación no se presenta únicamente por las aguas residuales domésticas, sino también de aguas residuales industriales, agrícolas y actividades que presentan manipulación de compuestos orgánicos.

Los compuestos orgánicos están básicamente desarrollados por composiciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, en algunas situaciones se presenta el nitrógeno, azufre, calcio, magnesio, fósforo, hierro, entre otros (Yana, 2014).

“Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son:

- Proteínas (40-60%)
- Hidratos de carbono (25-50%)
- Grasas y aceites (10%)” (García & López, 1985).

#### **2.2.4 Índice de calidad (ICA).**

Internacionalmente es ampliamente utilizado el índice de calidad (ICA), su aplicación permite establecer el estado actual en condiciones de calidad que un recurso hídrico presenta, esta valoración se hace por medio de la integración de varios parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, para cada caso en especial.

El ICA se calcula mediante la integración de las ponderaciones de los parámetros a través de diferentes ecuaciones matemáticas; finalmente valora por medio de la expresión numérica entre 0 y 1, o 0 y 100, el grado de calidad que presenta un afluente, registrando el indicador de calidad de manera fácil y ágil (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

#### **2.2.5 Índices de contaminación (ICO).**

Ramírez y Viña (1997), desarrollaron índices de contaminación (ICO) que son ampliamente utilizados a nivel nacional y regional en Colombia, actualmente existen nueve ICO entre los cuales se destacan el ICO por materia orgánica (ICOMO), por mineralización (ICOMI), por sólidos (ICOSUS) y contaminación trófica (ICOTRO). Los diferentes índices de contaminación abarcan una problemática específica para cada caso de estudio.

### 2.2.5.1 Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).

Para evaluar la contaminación por materia orgánica de un afluente mediante la aplicación del ICOMO, se requieren de dos parámetros físico-químicos y un microbiológico, que abarcan este tipo de contaminación, los cuales son: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), porcentaje de saturación del Oxígeno Disuelto y Coliformes Totales, que en conjunto evidencian la contaminación orgánica (Valverde & Edison, 2015).

La fórmula general para el cálculo es:

$$ICOMO = \frac{1}{3} [I_{DBO5} + I_{Coliformes\ Totales} + I_{\%Oxigeno}]$$

Las siguientes condiciones se tendrán en cuenta para cada parámetro de ser su caso:

Para el caso de la Demanda Bioquímica de Oxígeno:

- DBO5 > 30 mg/L tendrá un valor de IDBO5 = 1 □ DBO5 < 2 mg/L tendrá un valor de IDBO5 = 0

Para los Coliformes Totales:

- Coliformes Totales > 20000 NMP/100ml tendrá un valor de I Coliformes Totales = 1
- Coliformes Totales < 500 NMP/100ml tendrá un valor de I Coliformes Totales = 0 Por último el % de saturación del Oxígeno Disuelto:
- % Oxígeno > 100% tendrán un valor de I %Oxígeno = 0

En el caso que no se cumplan las condiciones expresadas anteriormente, se realizaran los cálculos para cada parámetro individualmente como se presenta a continuación:

$$I_{DBO5} = -0.05 + 0.7 * \log_{10} DBO5 \left( \frac{mg}{L} \right)$$

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

$$I_{\%Oxigeno} = 1 - 0.01 * \%Oxigeno$$

Con el resultado final entre la sumatoria de los tres parámetros, se obtiene un valor entre los rangos de 1 y 0, indicando de forma cualitativa el grado de contaminación donde para cada rango se

clasifica por medio de colores, el azul indica calidad Muy buena, verde calidad Buena, amarillo calidad Media, naranja calidad Mala y por último rojo calidad Pésima (ver Tabla 3).

Tabla 3.

*Escala de valores para el índice ICOMO.*

Escala de valores para ICOMO	Grado de contaminación	
	RANGO	Concentración
0-0.2	Muy baja	Muy buena
>0.2-0.4	Baja	Buena
>0.4-0.6	Media	Media
>0.6-0.8	Alta	Mala
>0.8-1.0	Muy alta	Pésima

*Nota:* \*Rango de valores para cada una de las concentraciones e indicadores que miden el grado de contaminación para el ICOMO. Adoptado de “CORMACARENA, 2010”, por Aguilar S & Solano G, 2018.

## 2.3 Marco conceptual

### 2.3.1 Contaminación del agua

Es la transformación que presenta la calidad del agua en sus propiedades originales, dejándola en un estado inapropiado y peligroso para su uso, aportando así impactos negativos al medio que lo rodea (Morán, 2014).

### 2.3.2 Materia orgánica (MO)

La materia orgánica proviene de restos de plantas, animales y residuos humanos, estos componentes orgánicos en exceso agotan el oxígeno presente en el agua, dejándola con aspecto turbio y olor semejante al huevo podrido (Ácido sulfhídrico) (Avecillas, 2014).

### **2.3.3 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)**

La DBO es la cantidad de oxígeno necesaria consumida por microorganismos en condiciones aerobias para descomponer la materia orgánica que se presenta en un cuerpo de agua. Es un método indirecto, el valor se expresa en (mg/L) y normalmente se utiliza un análisis de 5 días a una temperatura de 20°C (Avecillas, 2014).

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

Es otro método que permite medir indirectamente la cantidad de oxígeno expresado en (mg/L) consumido para transformar la materia orgánica por medios químicos, presente en una muestra de agua tanto natural como residual (Yana, 2014).

### **2.3.5 Coliformes totales**

Los coliformes totales son un grupo de géneros bacterianas, formadas por bacilos gram negativos, anaerobios facultativos, no esporulantes con características comunes que se encuentran con frecuencia en el medio ambiente: en el suelo, en superficies de aguas dulces, como también en las heces de animales y humanos (IDEAM, 2007c), razón por la que son empleados como bioindicadores de contaminación por materia fecal.

### **2.3.6 Oxígeno disuelto.**

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno presente en el agua y es fundamental para la respiración de los microorganismos y organismos acuáticos (IDEAM, 2004).

### **2.3.7 Potencial de hidrogeno (pH).**

Expresa la actividad del ion hidrógeno [H<sup>+</sup>] que se presenta en el agua, permite indicar por medio de una escala logarítmica la cantidad ácida o alcalina de una solución acuosa, los valores van en un rango de 0 a 14 (IDEAM, 2007e).

### **2.3.8 Conductividad.**

La conductividad eléctrica es la capacidad que posee el agua para transportar la corriente eléctrica. Se expresa en la mayoría de los casos como  $\mu\text{S}/\text{cm}$  = microsiemens por centímetro (IDEAM, 2006).

### **2.3.9 Temperatura**

Mide el nivel térmico que un cuerpo de agua posee y contribuye en la variación del comportamiento de algunos parámetros físico-químicos y biológicos (Babativa & Caicedo, 2018).

## **2.4 Marco legal**

El índice ICOMO en Colombia es contemplado únicamente en la política nacional para la gestión integral del recurso hídrico, como una herramienta de articulación entre los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción para el manejo de la oferta hídrica del país (ver Tabla 4). Por lo cual, para efectos de este trabajo no se realiza una comparación frente a la normativa nacional, esto debido a que los parámetros evaluados en el estudio no fueron suficientes para determinar desde la norma (Decreto 1594 de 1984) los potenciales usos del agua en las estaciones de muestreo, por otra parte, en los objetivos no se planteó realizar una evaluación de los vertimientos sino una identificación del número y ubicación de estos, impidiendo la comparación de la normativa (Resolución 0631 del 2015) que establece los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público; no obstante, es importante dar contexto legal a la ejecución del proyecto, que establece una normativa de carácter ambiental en términos de su importancia para el recurso hídrico (ver tabla 5).

Tabla 4.

*Descripción marco legal estratégico de la política nacional para la gestión integral del recurso hídrico (PNGIRH).*

OBJETIVOS	ESTRATEGIAS
<p><b>1. OFERTA: Conservar los ecosistemas y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua para el país.</b></p>	<p>1.2 Planificación: Esta estrategia se orienta a establecer lineamientos específicos a nivel de la cuenca hidrográfica (aguas superficiales, subterráneas y marinas costeras), para orientar la gestión y el uso sostenible del agua.</p> <p>1.3 Conservación: Se orienta a la restauración y preservación de los ecosistemas considerados clave para la regulación de la oferta hídrica.</p>
<p><b>3. CALIDAD: Mejorar la calidad y minimizar la contaminación del recurso hídrico.</b></p>	<p>3.1 Ordenamiento y reglamentación de usos del recurso: Esta estrategia se orienta a la implementación de la ordenación de las cuencas hidrográficas, entendida como la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna; incluye además, el registro de usuarios y la reglamentación de las aguas.</p> <p>3.2 Reducción de la contaminación del recurso hídrico: Esta estrategia se orienta a combatir las principales causas y fuentes de contaminación del recurso hídrico mediante acciones preventivas y correctivas, priorizando acciones sobre los diferentes tipos de contaminación de acuerdo con las particularidades del problema en cada región del país.</p> <p>3.3 Monitoreo, seguimiento y evaluación de la calidad del agua: Esta estrategia se orienta a mejorar las prácticas y herramientas de monitoreo y seguimiento del recurso hídrico, como medio para realizar una gestión eficiente del agua y medir el logro de los objetivos y metas de la Política Nacional para la GIRH.</p>

*Nota:* \*Adoptado de “IDEAM, 2015”, por Aguilar S & Solano G, 2018.

Tabla 4.

*Continuación.*

OBJETIVOS	ESTRATEGIAS
<b>4. RIESGO: Desarrollar la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad del agua.</b>	4.1 Generación y divulgación de información y conocimiento sobre riesgos que afecten la oferta y disponibilidad hídrica: Esta estrategia se orienta a mejorar el conocimiento acerca de las causas y efectos de los principales riesgos que afectan la oferta y disponibilidad del recurso hídrico para los diferentes usos, así como, a brindar información a los usuarios del agua acerca de cómo prevenirlos, manejarlos y restablecer las condiciones normales.

*Nota:* \*Adoptado de “IDEAM, 2015”, por Aguilar S & Solano G, 2018.

Tabla 5. *Descripción marco legal normativo a tener en cuenta en el desarrollo del estudio de investigación.*

Normativa	Artículo	Descripción
<b>Constitución política de 1991</b>	Art. 79	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La Ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.
	Art. 80	El estado deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental.
	Art. 95	Son deberes de la persona y del ciudadano proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano.

*Nota:* Adoptado de “MINAMBIENTE, 2018”, por Aguilar S & Solano G, 2018.

Tabla 5.

*Continuación.*

<b>Normativa</b>	<b>Artículo</b>	<b>Descripción</b>
	Art. 80	Las aguas son de dominios públicos, inalienables e imprescriptibles.
<b>Decreto 2811 de 1974</b>	Art. 86	Derecho a utilizar las aguas de dominio público para satisfacer sus necesidades elementales, siempre que con ello no cause perjuicios a terceros.
Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.	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.
<b>Decreto 1541 de 1978</b>	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 e otros usos.
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.		

*Nota:* Adoptado de "MINAMBIENTE, 2018", por Aguilar S & Solano G, 2018.

### 3. Metodología

La metodología empleada para el presente estudio contempla tres fases generales, que inician desde la recolección de información primaria y revisión de información secundaria, reconocimiento de la zona de estudio e identificación de las estaciones de muestreo y puntos de vertido, caracterización del agua, evaluación de las condiciones de contaminación y finaliza con el análisis de resultados y espacialización de la información (Ver figura 3 - Esquema metodológico).

La investigación de tipo cuantitativa no introdujo cambios o manipulación de las variables de estudio, con el fin de no alterar la información en relación a la evaluación del impacto de vertimientos de aguas residuales domésticas en el afluente caño Grande a través del índice de contaminación ICOMO.

#### 3.1 Hipótesis

*“El estado de la calidad del agua en relación al contenido de materia orgánica del afluente caño Grande, está determinado por el aporte de los vertimientos domésticos en la zona de estudio”*

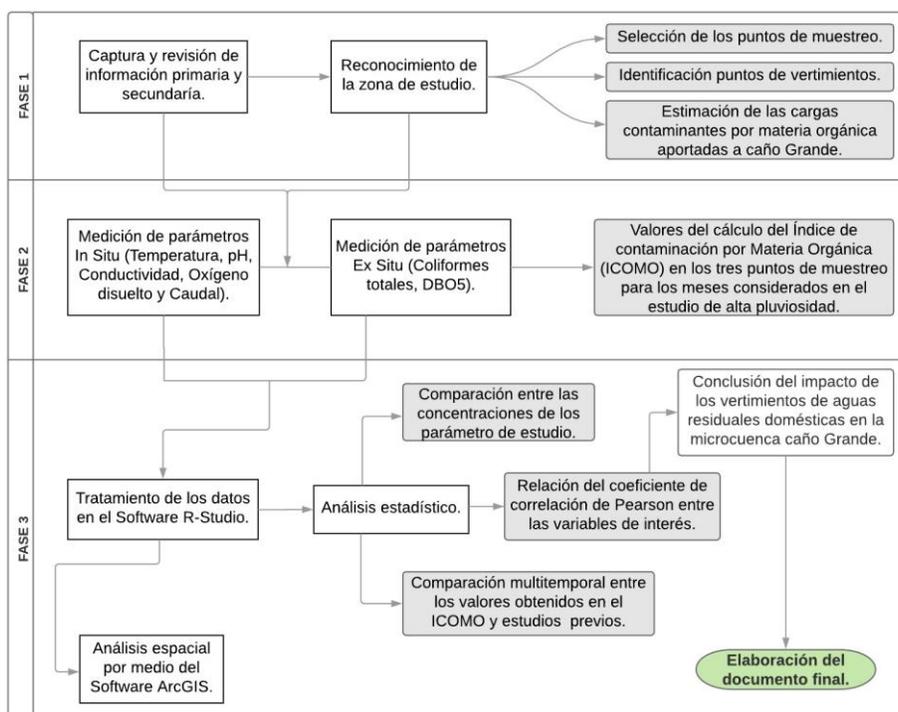


Figura 3. Esquema metodológico, por Aguilar S & Solano G, 2018.

### 3.2 Variables de estudio.

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos monitoreados se escogieron de acuerdo a la exigencia de la metodología de cálculo para el índice ICOMO, además de otros parámetros que pueden reflejar concentraciones de materia orgánica en el recurso hídrico. Se requirió de un laboratorio que realizó el análisis de muestras bajo las metodologías aprobadas por el IDEAM, para la cuantificación de Coliformes totales y DBO5, como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6.

*Metodologías y unidades de análisis.*

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Unidades</b>
Coliformes totales	*SM 9223B	NMP/100ml
Conductividad	**Celdas de medición IDS para conductividad	μS/cm
DBO5	*SM 521OB – SM4500 OG	mg/L
Oxígeno disuelto	**Sensor óptico IDS	mg/L
pH	**Electrodos IDS	[H+]
Temperatura	**Sensor temperatura	°C
Caudal	***Sensor electromagnético	M <sup>3</sup> /s

*Nota:* \* Medición ex-situ \*\*Medición in-situ Multiparámetro Wtw 3630. \*\*\*Caudalímetro HAHC, por Aguilar S & Solano G, 2018.

El laboratorio escogido para los análisis ex-situ requeridos fue TECNOAMBIENTAL S.A.S, acreditado por el IDEAM. Además de las variables contenidas en la tabla 6, el presente estudio requirió de información tal como, precipitaciones mes zona de estudio y caudal del afluente.

### 3.3 Muestras

#### 3.3.1 Tamaño de la muestra

El presente estudio fue realizado bajo condiciones de precipitación entre 186 mm/año y 500 mm/año (es decir, no contempla temporada seca), a través de 4 muestreos de los 2 parámetros

exsitu (DBO<sub>5</sub> - Coliformes Totales) y 4 mediciones de los parámetros in-situ, en cada estación (Caudal, Temperatura, pH, Oxígeno disuelto, Conductividad).

### 3.3.2 Jornadas de muestreo

La toma de datos in-situ y la recolección de muestras simples, se realizó en 4 momentos entre noviembre de 2017 y julio de 2018, entre las 11:30am y la 12:30 pm, horario en el cual se produce la mayor cantidad de aguas residuales en el día (ver figura 4) (Rojas & Ardila, 2018). Las jornadas de monitoreo se realizaron en los meses con mayores precipitaciones (IDEAM, 2018), evitando los días de lluvia, para prevenir la dilución de los contaminantes, debido al aumento de caudal.

En el caso de las muestras compuestas (DBO<sub>5</sub>) se tomaron alícuotas a las siguientes franjas horarias: (i) 6:00 a.m. – 6:45 a.m.; (ii) 11:30am - la 12:30pm y (ii) 4:30 p.m. – 5:30 p.m. Las franjas se seleccionan por considerarse como aquellas de mayor aporte volumétrico y por condiciones de seguridad del equipo de trabajo, considerando las particularidades sociales de la zona de estudio. La composición de la muestra se ejecutó siguiendo los lineamientos de la NTCISO 5667-1 (ICONTEC, 2002)

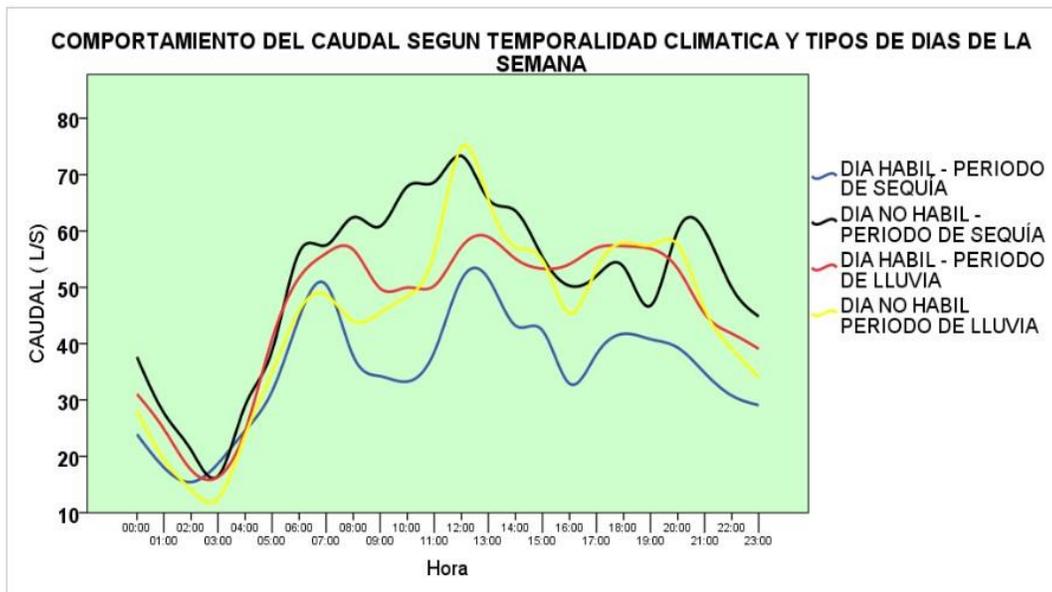


Figura 4. Comportamiento caudal aguas residuales. Adoptado de “Rojas & Ardila, 2018”, por Aguilar S & Solano G, 2018.

### 3.3.3 Toma de muestras

Se realizó la toma de muestras siguiendo el procedimiento propuesto por el IDEAM (2015), en el protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. Adicionalmente, se tuvieron en cuenta lineamientos establecidos en la NTC-ISO 5667-06 (ICONTEC, 1996) que establece la guía de muestreo de aguas de ríos y corrientes.

La toma de datos in-situ se realizó por medio del equipo Multiparámetro Wtw 3630 facilitado por el laboratorio de la Universidad Santo Tomás de Villavencio, debidamente calibrado antes de cada uso. En campo los electrodos de medición se mantuvieron protegidos y fueron lavados correctamente luego de cada uso. Los datos fueron tomados en la margen derecha, izquierda y centro del afluente, para determinar la variación espacial de los datos y determinar el valor promedio en el punto de monitoreo.

Las muestras recolectadas fueron debidamente rotuladas, conservadas a temperatura máxima de 4°C y transportadas en neveras de poli estireno expandido (icopor), siguiendo los lineamientos de la norma técnica colombiana NTC-ISO 5667-3 (ICONTEC, 2004). Para la DBO5 se utilizaron frascos plásticos de polipropileno de 2000 ml de capacidad (IDEAM, 2007a) los cuales se purgaron con agua del afluente (3 o 4 veces), previo a proceder a la toma de muestra; mientras que para los coliformes totales se utilizó un recipiente de vidrio (previamente esterilizado) con una capacidad no menor a 100ml con preservante (tiosulfato de sodio y/o EDTA) en caso de requerirlo (IDEAM, 2007c) (ver figura 5). Los recipientes de muestreo fueron entregados por el Laboratorio acreditado, sellados y en una bolsa ziploc para evitar la contaminación de la muestra con agentes externos.

Las muestras se entregaron con hojas de campo debidamente diligenciadas, incluyendo localización del punto de muestreo, tipo de muestra, fecha y hora de recolección (ver apéndice D).



Figura 5. Nevera para el transporte y refrigeración de muestras, por Aguilar S & Solano G, 2018.

### 3.4 Área de estudio

La zona de estudio se encuentra en la parte urbana del municipio de Villavicencio, más específicamente en la comuna 8 (Ver apéndice E); se destaca por la captación de agua para abastecer 2 acueductos comunales y el acueducto perteneciente a la EAAV, además, por el desarrollo de la actividad extractora de arenas de las empresas Los Capachos y La Josefina. La zona de estudio se caracteriza por tener condiciones climáticas de precipitación entre 400 mm/año a 600 mm/año, con temperaturas que oscilan entre 24°C y 26°C (IDEAM, 2018).

#### 3.4.1 Estaciones de muestreo

La selección de las estaciones de muestreo se realizó por medio del levantamiento de información cartográfica, retroalimentación de la comunidad (ASOJUNTAS) y reconocimiento en campo realizado en el mes de octubre de 2017. Los puntos de muestreo fueron establecidos a partir 4 criterios de selección: (i) puntos de fácil acceso, (ii) que dieran cobertura en la parte alta, media y baja de la microcuenca, (iii) que se garantizara un punto para caracterizar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del afluente con baja alteración antrópica (representada por la presencia de viviendas en la zona de ronda hídrica del afluente) y (iv) tener zonas de aportes

considerables de vertimientos (con un punto medio en relación a la cantidad de aporte de vertimientos). Con base en lo anterior, se determinaron tres estaciones de muestreo (ver figura 6).



Figura 6. Perfil elevación tramo de estudio afluente caño Grande. Adoptado de “Google Earth, 2018”, por Aguilar S & Solano G, 2018.

La estación uno (ver figura 7) está ubicada en las coordenadas X: 1045168 y Y: 946405, curso alto del afluente a 518 msnm, en esta zona la empresa de acueducto municipal realiza la captación del recurso hídrico para su tratamiento y posterior distribución. Este punto cumple con las características de bajo aporte de contaminación de carácter antrópico y de fácil accesibilidad; en este sentido la estación uno da cuenta de las condiciones de calidad de agua de caño Grande antes de recibir los aportes de aguas residuales domésticas por los barrios de la comuna 8.



Figura 7. Estación de muestreo 1, por Aguilar S & Solano G, 2018.

La segunda estación (ver figura 8) se encuentra en las coordenadas X: 1045769 y Y: 945856, curso medio del afluente a 450 msnm, debajo del puente ubicado en la carrera 48s con 22 sur vía

Acacias, esta zona se caracteriza por la presencia de residuos sólidos (ver figura 9). Además, recibe el 47.8 % de los vertimientos de aguas residuales según la información recolectada en campo.



*Figura 8. Estación de muestreo 2, por Aguilar S & Solano G, 2018.*



*Figura 9. Residuos sólidos rivera caño Grande estación 2, por Aguilar S & Solano G, 2018.*

La tercera estación (ver figura 10) se sitúa en las coordenadas X: 1048810 y Y: 945492, curso bajo del afluente a 411 msnm, 20 metros antes de la desembocadura de caño Amoladero en caño Grande, que se localiza 300 metros antes de la desembocadura en el río Ocoa, en esta zona el caño ha recibido el 100% de los vertimientos de las aguas residuales de los barrios aledaños.



Figura 10. Estación de muestreo 3, por Aguilar S & Solano G, 2018.

La distribución espacial de los puntos de monitoreo se observa en el apéndice E; los puntos de muestreo se encuentran direccionados por los parámetros establecidos en la NTC-ISO 5667-1 (ICONTEC, 2002) , -secciones 1, 2 y 3-; que establece las directrices para el diseño de planes de muestreo.

### 3.5 Captura de información en el área de estudio

Se realizaron cinco visitas de campo en el área de estudio, con acompañamiento de la policía ambiental entre el 25 de octubre del 2017 y el 18 de julio del 2018, para la recolección de muestras ex-situ y la medición de parámetros in-situ, además de la identificación de los puntos de vertimiento directos de aguas residuales domésticas sobre el afluente, georreferenciando cada uno de ellos, por medio del GPS Garmin 64S (ver figura 11). La información se registró en el formato denominado: “Identificación de vertimientos de Aguas Residuales Domésticas al afluente Caño Grande” (ver tabla 7).

Tabla 7.

*Identificación de vertimientos de aguas residuales domésticas.*

Vertimiento Numero	Coordenadas Planas		Nota
	Magna Sirgas		
	Este	Norte	

*Nota:* \*Formato identificación de vertimientos, por Aguilar S & Solano G, 2018.

Se realizaron entrevistas y encuestas a los líderes de las juntas de acción comunal de cada barrio para determinar la población, percepción y recomendaciones sobre la microcuenca de estudio (ver apéndice F- encuesta lideres juntas de acción comunal).



Figura 11. Georeferenciación vertimientos GPS garmin 64s, por Aguilar S & Solano G, 2018.

### 3.5.1 Medición de caudal

La determinación del caudal del afluente de estudio, se realizó dividiendo en varias subsecciones la sección transversal en donde se ubica cada una de las estaciones, en la parte superior se dejan marcas longitudinalmente iguales, para medir la velocidad del agua en la vertical con el Caudalímetro Hach (ver figura 12) suministrado por el laboratorio de la universidad Santo Tomás. La velocidad promedio del agua en cada subsección, es el promedio de las velocidades en las verticales que encierran la subsección (ver figura 13).



Figura 12. Medición de caudal estación 1, por Aguilar S & Solano G, 2018.

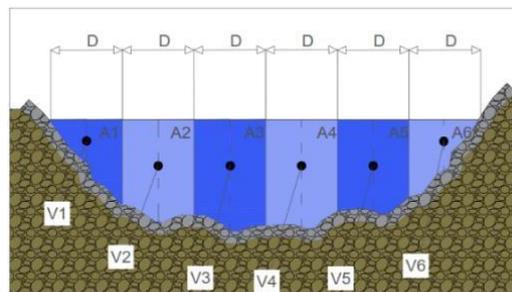


Figura 13. Sección transversal en el punto del aforo, por Aguilar S & Solano G, 2018.

Como se muestra en las figuras 14 y 15, la sección transversal del río fue medida con una cinta métrica, para subdividir equitativamente la longitud transversal del cauce, de esta forma se ubicó el caudalímetro con el fin de establecer la velocidad de cada sección, estimando así el caudal.



*Figura 14. Medición de caudal estación 2, por Aguilar S & Solano G, 2018.*



*Figura 15. Medición de caudal estación 3, por Aguilar S & Solano G, 2018.*

## **3.6 Tratamiento de los datos**

### **3.6.1 Manejo estadístico**

La información recopilada en campo y la suministrada por el laboratorio fue procesada en el Software R-Studio versión 3.3, con la finalidad de identificar los parámetros más influyentes en el resultado final del índice ICOMO, además de, observar las interacciones entre los diferentes

parámetros de interés. A través del mismo se generaron análisis estadísticos tales como, coeficientes de correlación (Pearson), medidas de tendencia central, análisis gráfico, entre otros. Se hizo uso del comando `chart.Correlation` de la librería “PerformanceAnalytics”.

### 3.6.2 Estimación de la carga volumétrica

Se realizó la estimación de la carga volumétrica suponiendo que el agua potable entrante a cada vivienda sale como un vertimiento, teniendo como base la dotación neta máxima de agua potable en 140 L/día x persona establecida con las alturas promedio sobre el nivel del mar en el RAS 2017 (Resolución 0330, 2017), en relación con la cantidad de habitantes de los barrios aledaños a la fuente hídrica de estudio. De esta manera se estableció una proporción de la carga volumétrica total de aguas residuales, contra el caudal de afluente.

$$Carga\ volumetrica = C * N$$

Carga volumétrica = Aproximación de la carga contaminante que entra al afluente.

D = Contribución de aguas residuales por persona según el RAS 2017.

N= Número de habitantes de los barrios próximos al afluente.

### 3.6.3 Determinación del índice de contaminación

Se realizó el procedimiento de cálculo para el índice ICOMO en cada una de las estaciones, determinando el resultado promedio entre las diferentes fechas de muestreo. La comparación entre los resultados obtenidos se desarrolló tomando la estación 1 como el blanco de los datos –al ser un punto sin aporte evidente de vertidos domésticos-. El resultado final del índice fue el valor ponderado de las tres estaciones, el cual se contrastó con los valores obtenidos por los estudios previos.

### 3.6.4 Análisis espacial.

A partir de la recolección de información primaria y secundaria se realizaron mapas temáticos (ver tabla 8), mediante el uso del software ArcGIS (10.2.2), que permitieron identificar y/o georreferenciar los diferentes factores que influyen en la calidad del agua de la microcuenca.

Tabla 8.

*Mapas temáticos área de estudio.*

<b>Mapa</b>	<b>Apéndice</b>
<b>Microcuenca y perfil de elevación caño Grande</b>	C
<b>Zonificación zona de estudio y sistema de soporte ambiental urbano</b>	E
<b>Mapa alcantarillado y vertimientos aguas residuales</b>	I
<b>calidad del agua índice ICOMO microcuenca caño Grande 14-12-2017</b>	L
<b>calidad del agua índice ICOMO microcuenca caño Grande 16-04-2018</b>	M
<b>calidad del agua índice ICOMO microcuenca caño Grande 13-06-2018</b>	N
<b>calidad del agua índice ICOMO microcuenca caño Grande 13-07-2018</b>	O

*Nota:* \*Los mapas temáticos son presentados como anexos en formato PDF, por Aguilar S & Solano G, 2018.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1 Identificación de los puntos de vertimiento

Los puntos de vertimientos fueron identificados como producto de la revisión de información secundaria (EAAV, 2014) y reconocimiento directo en campo. Fue posible identificar a lo largo del margen del afluente, en el tramo de estudio un total de 92 puntos de vertimiento directo, como se muestra en el apéndice G (Tabla de Coordenadas Vertimientos de Aguas Residuales).

Este número significativo de vertimientos identificados a lo largo del cauce, todos de tipo doméstico, son un factor que aporta a la problemática actual del afluente caño grande y la comunidad adyacente. La distribución de los vertimientos se aprecia en el apéndice H, Mapa redes alcantarillado y vertimientos aguas residuales. A partir del plano de redes del sistema de

alcantarillado (ver apéndice I), se identificaron 33 barrios en las cercanías de caño Grande, de los cuales 14 realizan algún tipo de vertimiento de aguas residuales al afluente, ya que presentan una conexión parcial o nula al sistema de recolección de aguas residuales. En la tabla 9 se muestra dicha identificación, que permitió estimar que el 42% de los barrios cercanos al afluente, se encuentran parcialmente o no conectados al sistema de alcantarillado; esta situación amplía la frontera de la problemática desde lo ambiental, hasta el ámbito social y político, como consecuencia del rápido crecimiento de los centros urbanos ocurrido sin el adecuado suministro de infraestructura urbana y de servicios, ligado a factores sociales, económicos y políticos, que tienden a ser predominantes al determinar quién tiene acceso a ellos (Satterthwaite, 1993).

Tabla 9.

*Barrios colindantes con caño Grande que realizan vertimientos de aguas residuales.*

<b>Barrios que realizan vertimientos de aguas residuales a caño Grande</b>			
<b>*conexión Parcial</b>		<b>**conexión Nula</b>	
PLAYA RICA	SAN JORGE 1,2 & 3	MARGARITAS	VILLA LORENA
MONTECARLO ALTO	VILLA UNIÓN	CAÑO GRANDE	VILLA SONIA
CATUMARE	NUEVO HORIZONTE	ROCHELA	NUEVO AMANECER
SANTILLANA	DIVINO NIÑO		

*Nota:* \*Algunas áreas del barrio cuentan con sistema de alcantarillado municipal. \*\* Ningún área del barrio cuenta con sistema de alcantarillado municipal, por Aguilar S & Solano G, 2018.

De acuerdo a la identificación de campo, los barrios Villa Lorena, Playa Rica, Catumare, Santillana, San Jorge 1, 2 y 3, Villa Unión, Nuevo Horizonte, Divino Niño, Margaritas (margen derecha) y los barrios Villa Sonia, Montecarlo Alto, Caño Grande, Rochela y Nuevo Amanecer de la margen izquierda, presentan vertimientos al afluente. Esto confirma lo manifestado por los líderes sociales de la comuna 8 en las reuniones y entrevistas de las que fueron participes (ver figura 16); esta situación requiere de la adopción de medidas por parte de las instituciones encargadas de la administración de los recursos ambientales, con el fin de mitigar la afectación actual en la microcuenca Caño Grande.



Figura 16. Reunión asociación juntas de acciones comunales (ASOJUNTAS) comuna 8, por Aguilar S & Solano G, 2018.

#### 4.2 Estimación de la carga volumétrica

A partir de las encuestas realizadas a los líderes de la comunidad y la información secundaria de los reportes de la alcaldía municipal (Alcaldía Municipal de Villavicencio, 2015), se estimó una población de 18651 (ver apéndice J) personas en los 14 barrios aledaños al afluente, que carecen de conexión con el sistema de alcantarillado o que su conectividad es parcial, por lo que fueron tomadas en cuenta para la estimación del volumen de agua residual que se genera diariamente, tal como se muestra en la ecuación a continuación :

$$Carga\ volumetrica = C * N$$

$$Carga\ volumétrica = 140 \frac{L}{dia * Persona} * 18651\ Personas = 2.611.140 \frac{L}{dia} = 0.030 \frac{m^3}{s}$$

La carga volumétrica de aguas residuales domésticas que llega al cuerpo de agua, tiene un caudal 9.3 veces menor al caudal mínimo registrado en campo ( $0.28\ m^3/s$ ) para el afluente. Esta diferencia genera que los contaminantes orgánicos provenientes de los vertimientos domésticos se diluyan hasta el punto de ser difícilmente detectables por los métodos usados en el laboratorio contratado.

### 4.3 Análisis de resultados

En la tabla 10 se presentan los datos recopilados en las pruebas in-situ y ex-situ, correspondientes a las diferentes fechas de muestreo.

Tabla 10.

*Resultados in-situ y ex-situ.*

Fecha	Estación	Coliformes Totales (NMP/100ml)	DBO5 (mg/l)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Oxígeno Disuelto (mg/L)	pH (unidades de pH)	Temperatura del agua (°C)	Conductividad (µS/cm)
14 de diciembre de 2017	1	15531	<5	0.3	7.4	7.9	24.3	232
	2	24196	<5	0.39	6.6	7.85	26.1	210
	3	24196	<5	0.37	6.3	7.57	29.2	230
16 de abril de 2018	1	15531	<5	0.35	8.06	8.1	23	356.67
	2	24196	7	0.45	7.47	7.66	24.07	338.67
	3	24196	7	0.41	6.48	7.38	26.84	348.33
13 de junio de 2018	1	24196	<5	0.28	8.26	7.7	22.13	187.53
	2	24196	<5	0.39	8.14	7.57	22.43	186.33
	3	24196	<5	0.4	7.72	7.27	22.83	194.37
13 de julio de 2018	1	2420	<5	0.7	8.35	8.13	21.3	189.2
	2	4839	<5	1.7	8.09	7.97	21.9	173
	3	24196	<5	1.15	7.53	7.57	24.27	190.6

*Nota:* Los resultados que contiene el signo < son reportados por el laboratorio con el número mínimo detectable por el método de análisis, por Aguilar S & Solano G, 2018.

#### 4.3.1 Resultados ex situ

##### 4.3.1.1 Coliformes totales

La estación 1 presenta los registros más bajos de coliformes totales, por la inexistencia de puntos de vertimientos en la zona, lo cual se confirmó con el mapa de la red de alcantarillado (Apéndice I) y las visitas de reconocimiento en campo. La presencia de coliformes totales en esta estación, se atribuyen a los procesos de arrastre y escorrentía de los diferentes materiales superficiales presentes en suelo, que de acuerdo con el IDEAM (2007c), los coliformes no solamente son generados por el vertido de aguas domésticas si no por el aporte de materia fecal de otros animales.

Las estaciones 2 y 3, presentan registros idénticos de coliformes totales a excepción del día 13 de julio de 2018, donde el aumento drástico de caudal para la estación 2 (0.96 m<sup>3</sup>/s por encima del valor medio de la estación), disminuyó la presencia de coliformes totales, lo cual se puede atribuir al efecto de dilución (Montes & Navarro, 2013).

Los resultados de coliformes totales obtenidos el 13 de julio del 2018, en el cual se presentaron condiciones de caudal más altos, son congruente con lo que se espera de comportamiento del afluente, con un valor más bajo de contaminantes en la estación 1 (ubicación previa a los vertimientos), aumento en la estación 2 (punto posterior al 45% de los vertimientos identificados) y registro superior en la estación 3 (estación posterior a todos los vertimientos), tal como se muestra en la figura 17.

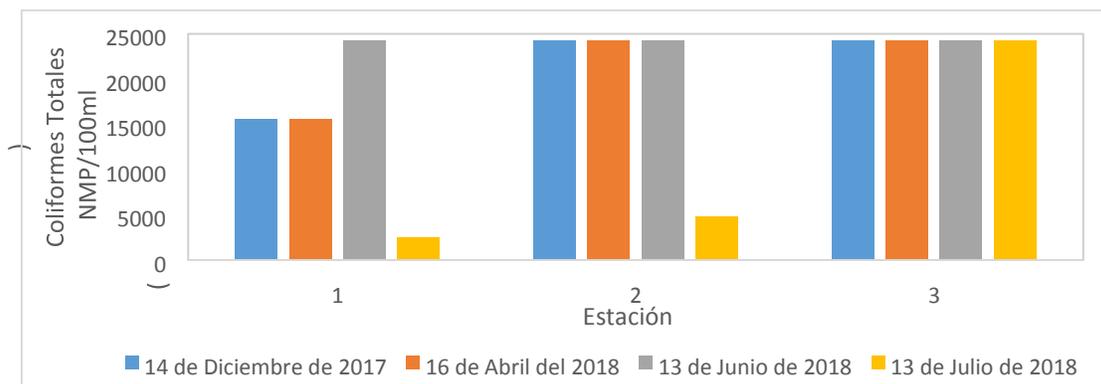


Figura 17. Concentración de coliformes totales en el afluente, por Aguilar S & Solano G, 2018.

#### 4.3.1.2 DBO5

En el caso de la Demanda Biológica de Oxígeno, uno de los parámetros indispensables para el cálculo del ICOMO, presenta reportes de laboratorio que señalan que se encuentra por debajo del mínimo detectable por el método de cuantificación en el 83,3% de las muestras analizadas, mostrando un valor constante para la mayor parte del tramo de estudio, a excepción de la medición realizada en abril del 2018.

Los resultados para la estación 1 fueron iguales en los diferentes muestreos realizados, en todos los casos los valores registrados se encuentran por debajo del límite de detección del método (<5 mg/L), en la estación 2 y 3, se encontró un valor atípico donde se observa un aumento de DBO5

(7 mg/L), que según Webb (2007) puede atribuirse al efecto que tiene el incremento de la temperatura del aire sobre la calidad del agua en Hidrosistemas superficiales, para los cuales se ha demostrado una relación directa con la demanda bioquímica de oxígeno (citado en Montes & Navarro, 2013). El comportamiento de la DBO<sub>5</sub> a lo largo del tramo de estudio para los diferentes monitoreos se muestra en la figura 18.

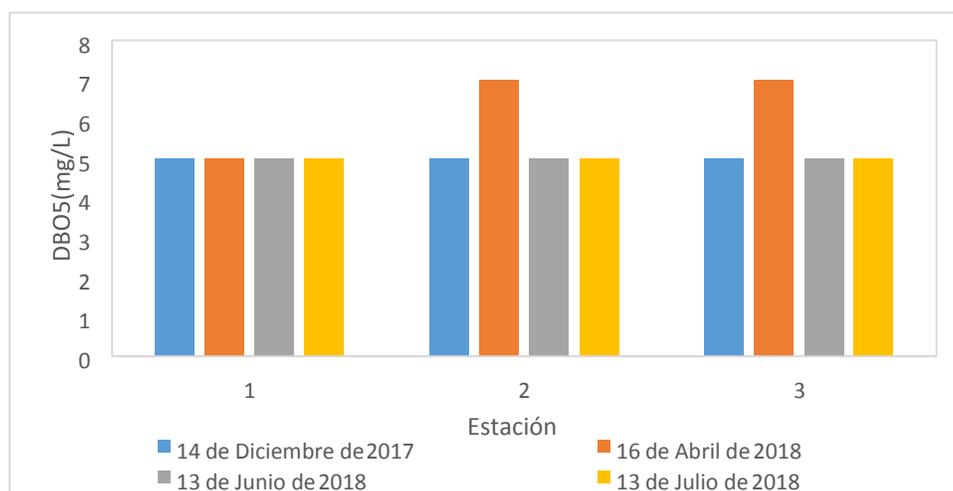


Figura 18. Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno, por Aguilar S & Solano G, 2018.

### 4.3.2 Resultados in situ y precipitaciones

Como se mencionó previamente la dilución o concentración de los compuestos disueltos, pueden modificar las condiciones de calidad del recurso hídrico, por el efecto que tienen sobre aumento/disminución en los sólidos suspendidos, erosión del suelo y transporte de sedimentos (Xia, 2010). Los fenómenos de dilución o concentración están directamente relacionados con el volumen de agua que se transporta. En el periodo que comprende el presente estudio los caudales presentan variaciones, efecto de los cambios en las precipitaciones como se muestra en la tabla 11. Tabla 11.

*Precipitaciones medias mensuales en el tiempo de estudio.*

MES	PRECIPITACIÓN
	PROMEDIO MENSUAL (mm)
Diciembre (2017)	186.3
Abril (2018)	427.4
Junio (2018)	610.5
Julio (2018)	545.7

Nota: Precipitaciones medias mensuales. Adoptado de “IDEAM, 2018”, por Aguilar S & Solano G, 2018.

#### 4.3.2.1 caudales

En la figura 19 se presenta el comportamiento de los caudales en la zona de estudio. En las estaciones 1 y 3 las variaciones en los diferentes días de monitoreo se atribuyen a las precipitaciones. La estación 2 presenta los mayores caudales en promedio, debido a la confluencia con el afluente caño Villa Lorena y el punto de vertimiento número 44 del barrio Playa Rica (ver apéndice G).

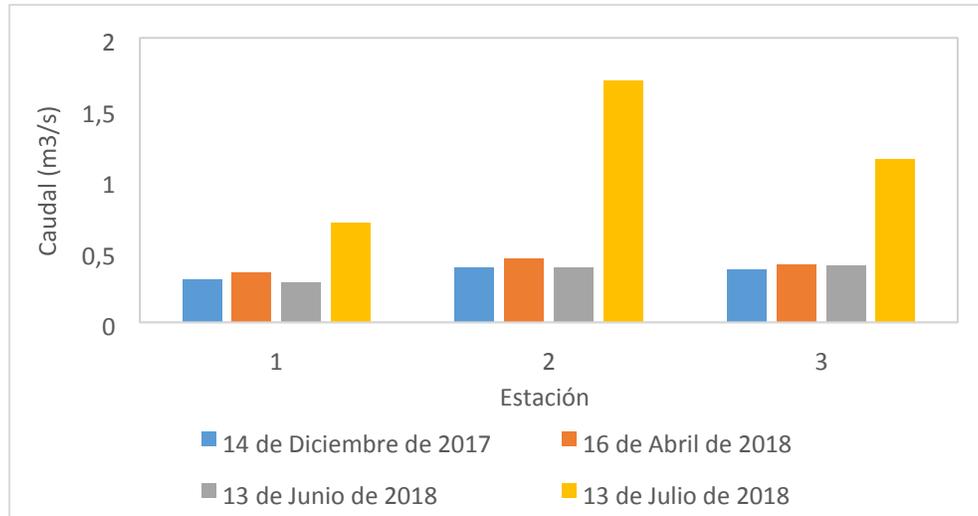


Figura 19. Comportamiento de los caudales en el afluente, por Aguilar S & Solano G, 2018.

#### 4.3.2.2 oxígeno disuelto

Los valores de oxígeno disuelto presentan una disminución a lo largo de las estaciones de muestreo, debido al aumento de contaminación por material orgánico, razón por la cual el oxígeno presente en el medio es menor (Montalvo & Garcia, 2008), presentando los mayores valores en la estación 1 (ver figura 20). Adicionalmente se muestra un aumento del oxígeno disuelto en el cuerpo de agua a través de las fechas de muestreo, acorde a la disminución de la temperatura en estas mismas fechas, dicho comportamiento se justifica con lo mencionado por Bates (2008) “Se sabe que incrementos en la temperatura del agua llevan a la consecuente reducción del contenido de OD” (citado por Montes & Navarro, 2013). Esta disminución también puede asociarse al consumo de oxígeno de los microorganismos degradadores de material orgánico, el cual presenta un aumento en promedio de 34.2% entre las estaciones (Peña, 2006).

Sin embargo, los valores obtenidos en los diferentes puntos de muestreo señalan un valor promedio de 7.5 mg/l, este valor se encuentra dentro del rango de bajo impacto para la calidad del recurso hídrico superficial (Posada & José, 2000).



Figura 20. Comportamiento del oxígeno disuelto, por Aguilar S & Solano G, 2018.

#### 4.3.2.3 pH

Los valores presentados en la figura 21, muestran un valor promedio de pH alcalino ( $pH = 8$ ) en la estación 1, con tendencia a la neutralidad en las estaciones 2 y 3, asociado a los vertimientos domésticos, que en estudios de caracterización de parámetros fisicoquímicos presentan valores de pH entre 6.43 y 7.07 (Bruce & Carreño, 2014), por lo que se atribuye esta disminución del pH a los vertimientos de aguas residuales domésticas, evidenciados después de la estación 1.

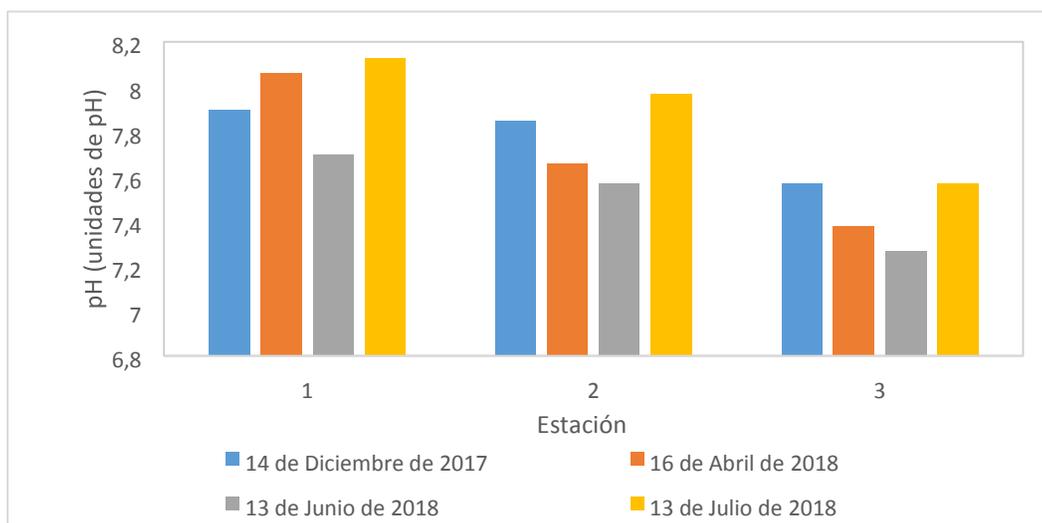


Figura 21. Comportamiento del ph, por Aguilar S & Solano G, 2018.

#### 4.3.2.4 Temperatura

La temperatura de las aguas superficiales está directamente influenciada por la temperatura del aire (Drago, 1984). Se observa un aumento de temperatura a lo largo de las estaciones (ver figura 22), que se atribuye al cambio en la altitud de los diferentes puntos de monitoreo (Chávez & Jaramillo, 1998), así como a la disminución de la presencia de vegetación sobre la rivera.

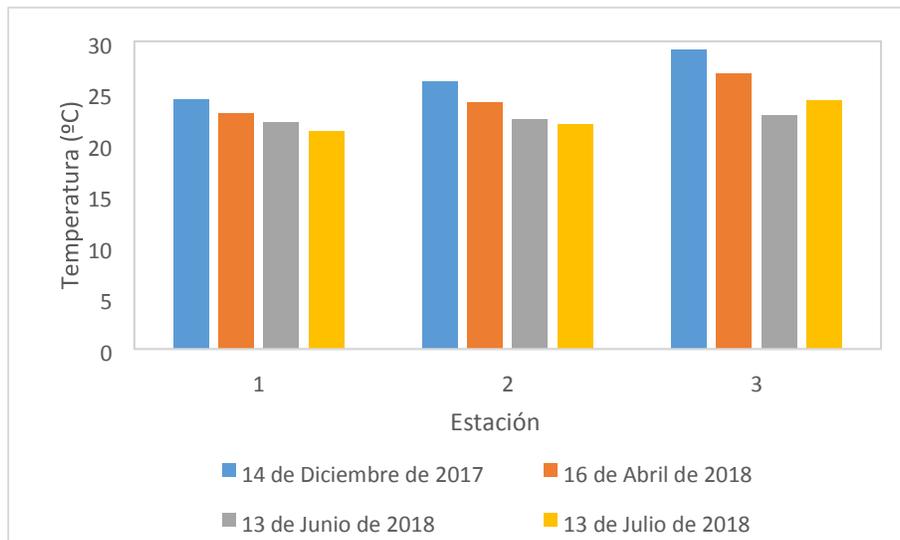


Figura 22. Comportamiento de la temperatura, por Aguilar S & Solano G, 2018.

#### 4.3.3 Cálculo del índice ICOMO

Los resultados fueron calculados según la formulación realizada por Ramírez y Restrepo (1997), para ilustrar el procedimiento se tomaron los valores de la tabla 10 para la estación 1 el día 14 de diciembre de 2017:

Inicialmente se calculan los índices de cada parámetro:

$$I_{DBO5} = -0.05 + 0.7 * \log_{10} DBO5 \left( \frac{mg}{L} \right)$$

$$I_{DBO5} = -0.05 + 0.07 * \log_{10} 5 \left( \frac{mg}{l} \right) = 0.44$$

$$I_{Coliformes\ Totales} = -1.44 + 0.56 * \log_{10} Coliformes\ Totales \left( \frac{NMP}{100ml} \right)$$

$$I_{Coliformes\ Totales} = -1.44 + 0.56 * \log_{10} 15531 \left( \frac{NMP}{100ml} \right) = 0.91$$

En los casos donde los coliformes totales exceden los 20000 NMP/100ml, en valor del índice será directamente 1.

Para el caso del oxígeno disuelto (OD), en primer lugar, se calcula el porcentaje de OD en relación a la saturación de oxígeno en agua.

$$\% \text{ Oxígeno} = \frac{\text{Oxígeno Disuelto} \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right)}{\text{Saturación de Oxígeno en Agua} \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right)}$$

$$\% \text{ Oxígeno} = \frac{7.4}{8.51} = 86.96\%$$

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

$$I_{\% \text{ Oxígeno}} = 1 - 0.01 * 86.96\% = 0.13$$

Finalmente se realiza el cálculo del índice ICOMO, relacionando los resultados de los índices individuales:

$$ICOMO = \frac{1}{3} [I_{DBO5} + I_{\text{Coliformes Totales}} + I_{\% \text{ Oxígeno}}]$$

$$ICOMO = \frac{1}{3} (0.44 + 0.91 + 0.13) = 0.49$$

Este mismo procedimiento se realizó para cada estación de muestreo en cada uno de los días analizados. El cálculo del índice de contaminación por materia orgánica ICOMO en el tramo de estudio, muestra un aumento progresivo de 0.05 entre las estaciones, obteniendo el valor más bajo en la estación 1 (ver tabla 12), ubicación que es tomada como blanco del análisis de los datos, dado la ausencia de vertimientos domésticos, según lo corroborado en el plano del sistema de alcantarillado y las visitas de campo en la zona de estudio.

Tabla 12.

*Resultados del cálculo del índice ICOMO.*

Estación	Fecha	% Oxígeno Disuelto	***I Coliformes Totales	***I DBO5	***I % Oxígeno Disuelto	ICOMO	Indicador
1	2017/12/14	86.96	0.91	0.44	0.13	0.49	Media
	2018/04/16	94.71	0.91	0.44	0.05	0.47	Media
	2018/06/13	97.06	1.00	0.44	0.03	0.49	Media
	2018/07/13	98.12	0.45	0.44	0.02	*0.30	Buena
2	2017/12/14	77.56	1.00	0.44	0.22	0.55	Media
	2018/04/16	87.78	1.00	0.54	0.12	0.55	Media
	2018/06/13	95.65	1.00	0.44	0.04	0.49	Media
	2018/07/13	95.06	0.62	0.44	0.05	0.37	Buena
3	2017/12/14	74.03	1.00	0.44	0.26	0.57	Media
	2018/04/16	76.15	1.00	0.54	0.24	**0.59	Media
	2018/06/13	90.72	1.00	0.44	0.09	0.51	Media
	2018/07/13	88.48	1.00	0.44	0.12	0.52	Media

*Nota:* Valores correspondientes al cálculo del Índice ICOMO para los diferentes días de muestreo y sus respectivas estaciones. \* Valor más bajo registrado que corresponde a calidad Buena, \*\* Valor más elevado registrado que corresponde a calidad Media, \*\*\*I = Índice. ■ Calidad Pésima (>0.8-1), ■ mala (>0.6-0.8) ■ Media (>0.4-0.6) \*■ Buena (>0.2-0.4) ■ Muy Buena (0-0.2), por Aguilar S & Solano G, 2018.

Si bien cualitativamente el indicador de contaminación se encuentra entre media y buena, desde los resultados cuantitativos es evidente el aumento de índice a lo largo de las estaciones, información que denota la degradación de la calidad del agua de la microcuenca caño Grande, por efecto del aporte de materia orgánica de los vertimientos domésticos que llegan directamente al cauce. Los valores medios por estación de muestreo también dan evidencia de la contaminación del cauce (ver tabla 13).

Tabla 13.

*Promedio resultados del cálculo del índice ICOMO.*

Estación	Promedio ICOMO
1	0.43
2	0.49
3	0.54

Nota: ■ Calidad Pésima (>0.8-1) ■ mala (>0.6-0.8) ■ Media (>0.4-0.6) ■ Buena (>0.2-0.4) ■ Muy Buena (0-0.2), por Aguilar S & Solano G, 2018.

La figura 23 permite identificar que los resultados del índice para la fecha 13 de julio son en promedio 0.09 más bajos que en las demás fechas de monitoreo, como resultado del aumento en los caudales para esta fecha, produciendo una disminución de la concentración de coliformes totales.

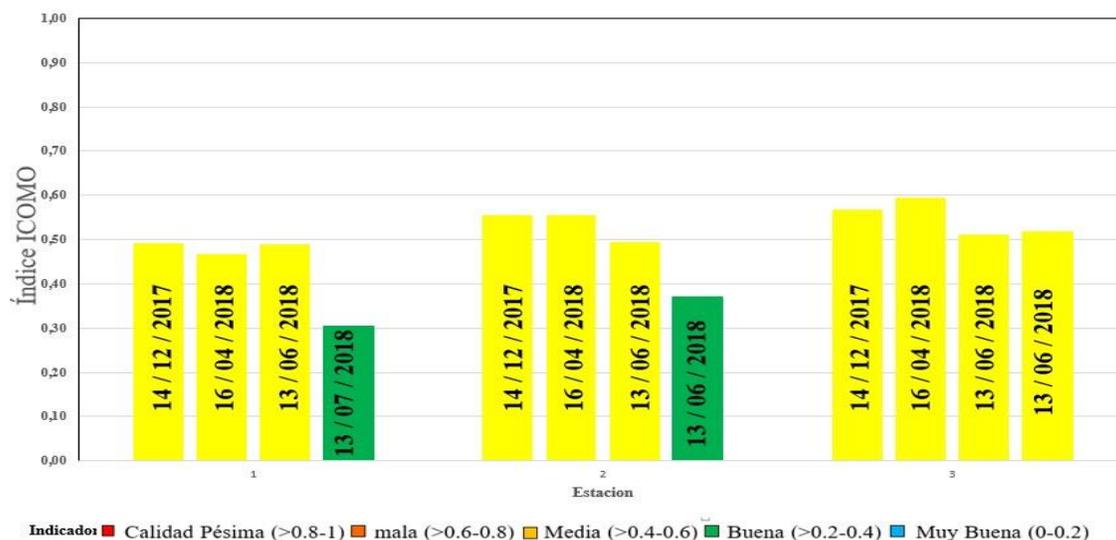


Figura 23. Índice ICOMO en las diferentes estaciones y fechas de muestreo, por Aguilar S & Solano G, 2018.

#### 4.4 Correlación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

La correlación entre los diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de interés, se realizó por medio de la correlación de Pearson, la cual indica la forma en que las dos variables fluctúan conjuntamente, este coeficiente calcula la intensidad y dirección de la correlación lineal, sin descartar correlaciones no lineales, fluctuando de 1 a -1, siendo 1 y -1 la representación de

asociación perfecta entre las variables, proporcionalmente o inversamente proporcional; cuando no existe correlación el valor del coeficiente es 0 (Fallas, 2012). Si bien los procesos de interacción entre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos no son lineales, la limitante en el número de datos recolectados permite el uso de un modelo como el de Pearson. Todos los cálculos fueron realizados en el software Rstudio (3.3) con las líneas de código presentes en el apéndice L, este procedimiento arrojó como resultado los valores de correlación de la tabla 14.

Tabla 14.

*Resultados de la correlación de pearson entre los parámetros evaluados.*

Correlación de Pearson							
Parámetros	Coliformes Totales (NMP/100ml)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	**O.D (mg/L)	pH	**T. H <sub>2</sub> O (°C)	Conductividad (µs/cm)
<b>Coliformes Totales</b>	1	0,282	-0,533*	-0,5	-0,773*	0,519	0,202
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/l)</b>		1	-0,157	-0,362	-0,348	0,285	0,719*
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>			1	0,263	0,241	-0,3	-0,377
<b>**O.D (mg/l)</b>				1	0,408	-0,966*	-0,318
<b>pH</b>					1	-0,384	-0,036
<b>**T. H<sub>2</sub>O (°C)</b>						1	0,326
<b>Conductividad (µs/cm)</b>							1

*Nota:* \* Correlación significativa. \*\*T.H<sub>2</sub>O = temperatura del agua y O.D = oxígeno disuelto, por Aguilar S & Solano G, 2018.

Los coeficientes señalados en la tabla 14 representan las correlaciones estadísticamente más significativas por el método de Pearson, estas correlaciones se deben a procesos fenomenológicos, que son abordados a continuación.

El valor de correlación más significativo es el presentado en la figura 24, entre la temperatura y el oxígeno disuelto (2P= -0.97), esta relación es inversamente proporcional, este fenómeno es

<sup>2</sup> Pearson

resultado de la disminución del grado de saturación de oxígeno en agua a altas temperaturas con presión constante (Chávez & Jaramillo, 1998).

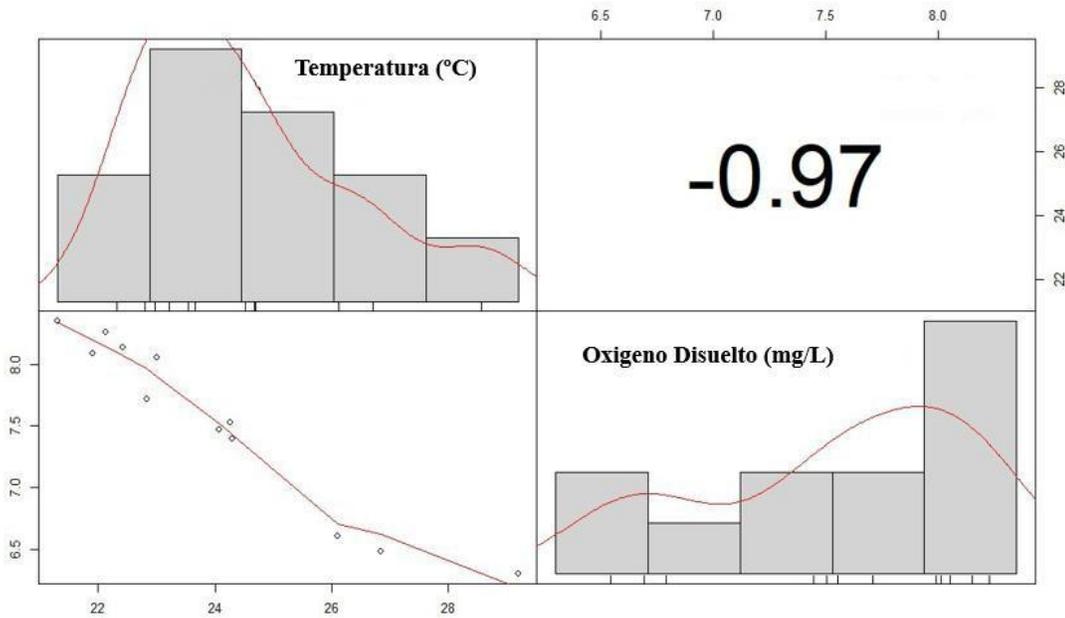


Figura 24. Correlación temperatura-oxígeno disuelto método de pearson, por Aguilar S & Solano G, 2018.

El pH y los coliformes totales muestran una correlación inversamente proporcional y una distribución de los datos donde los coliformes totales se encuentran entre 17500 NMP/100ml hasta 25000 NMP/100mL, mientras que el pH se encuentra entre 7.5 y 7.8 (ver figura 25). La correlación entre los datos establece que en medios con pH neutro la cantidad de coliformes totales aumenta, soportado en la teoría que los coliformes poseen mayor resistencia a la irradiación solar en condiciones de pH próximas a la neutralidad, dado que incrementa la termoestabilidad de sus proteínas en su punto isoeléctrico, que generalmente se encuentra a pH neutro (Caceda, 2016).

Lo anterior sin desconocer que la presencia de mayor número de aportes de origen doméstico a medida que se avanza en el tramo de estudio, tiene efectos de incremento en la densidad poblacional de coliformes totales.

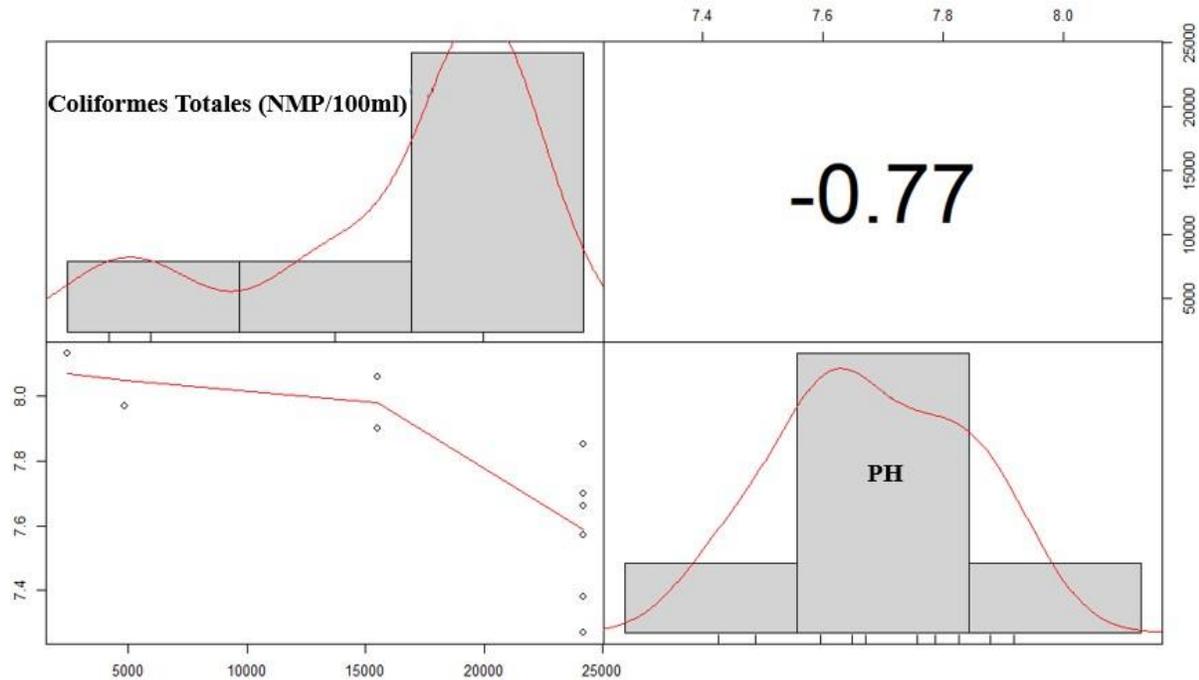


Figura 25. Correlación coliformes totales-ph método de pearson, por Aguilar S & Solano G, 2018.

La figura 26 presenta la correlación entre los valores de conductividad eléctrica y DBO5 ( $r^2=0.72$ ), fenomenológicamente esta proporcionalidad está relacionada con los sólidos disueltos, que son todas las sales inorgánicas como calcio, magnesio, potasio, sodio y materia orgánica disuelta (WHO, 1996). Entre la conductividad y los sólidos disueltos existe una relación directamente proporcional, debido a que los sólidos disueltos son parte de los materiales que conducen la electricidad dentro de los cuerpos de agua (Olivero & Mercado, 2013). En presencia de vertimientos domésticos como es el caso del afluente de estudio, la materia orgánica aportada antrópicamente se encuentra principalmente disuelta o en suspensión, aumentando la conductividad y la demanda bioquímica de oxígeno.

---

<sup>3</sup> Pearson

---

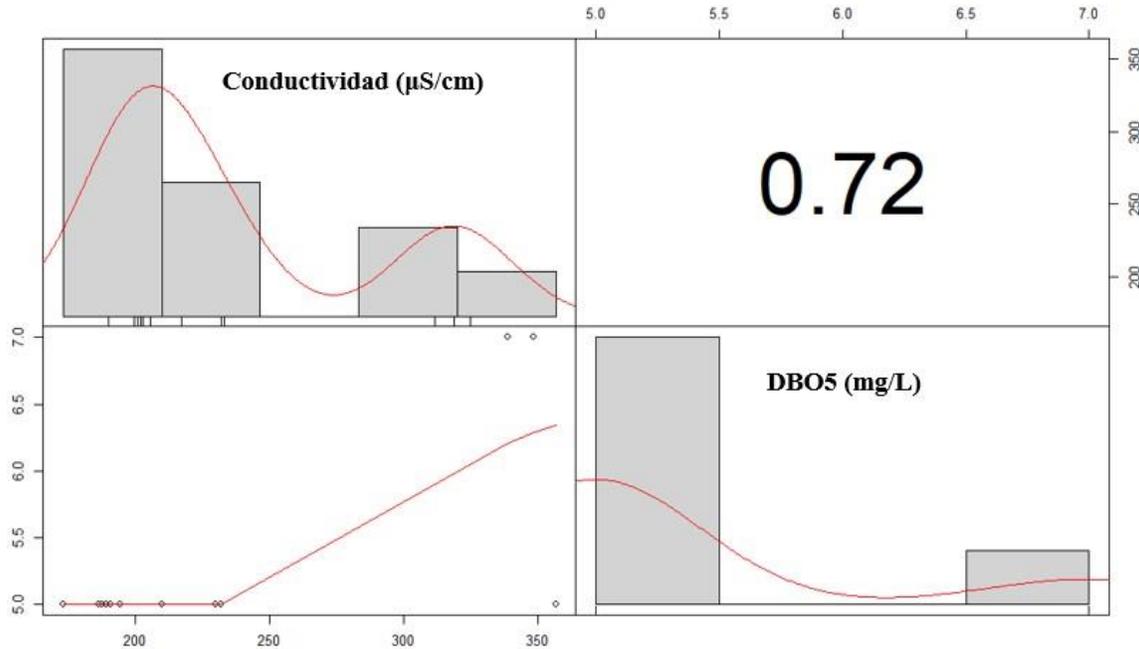


Figura 26. Correlación conductividad-DBO5 método de pearson, por Aguilar S & Solano G, 2018.

Los coliformes totales y el caudal de la microcuenca de estudio presentan una correlación estadísticamente significativa e inversamente proporcional ( $r = -0.53$ ), como muestra la figura 27. Esta relación es congruente con el efecto de la dilución sobre la densidad poblacional de los microorganismos en estudio, mediado por las condiciones de precipitación (Xia, 2010), que predominó como alta pluviosidad en los tres últimos muestreos ( $>427$  mm/mes), tal como se presenta en la tabla 11. La distribución de los datos muestra que los caudales se encuentran entre 0.2 y 0.5 m<sup>3</sup>/s, mientras que la regresión indica un comportamiento decreciente entre los datos.

---

<sup>4</sup> Pearson

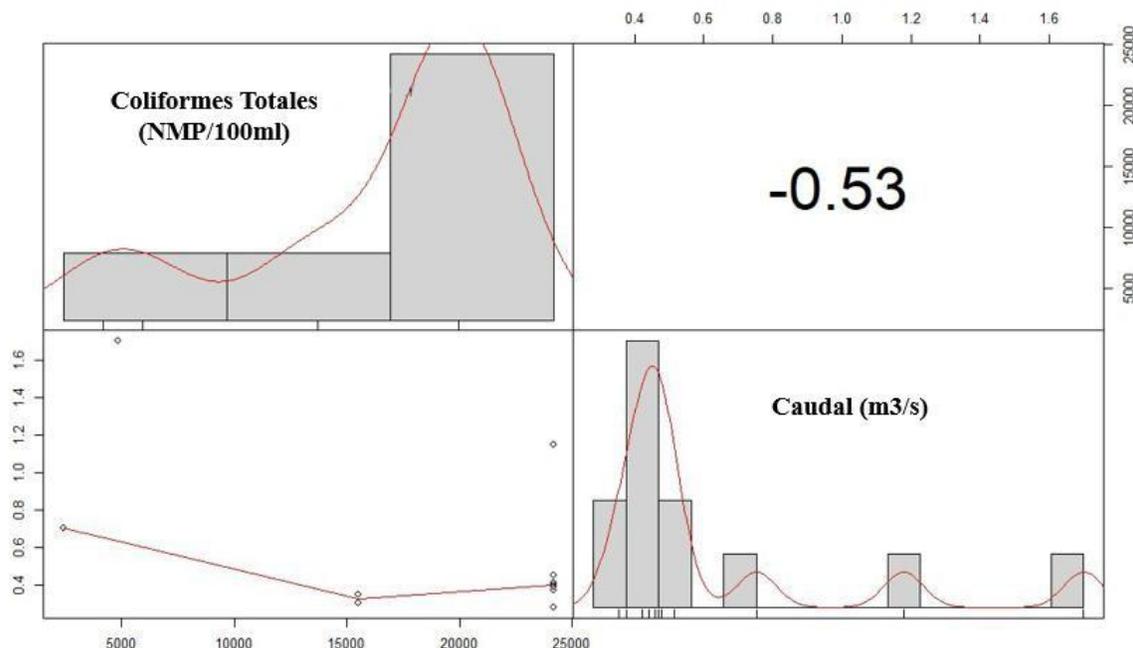


Figura 27. Correlación coliformes totales-caudal método de pearson, por Aguilar S & Solano G, 2018.

#### 4.4 Correlación índice ICOMO y parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Si bien el índice empleado para el presente estudio hace uso de tres variables (5OD, DBO5 y Coliformes Totales), el aporte de información de cada una de estas sobre la cuantificación del índice puede diferir. Para identificar cuál de estas tres variables tiene mayor influencia para el caso de estudio caño Grande, se hizo uso del coeficiente de correlación de Pearson que como ya se mencionó previamente permite evaluar ajustes lineales. Los resultados muestran un orden de mayor a menor significancia, de Coliformes Totales (0.92) > Oxígeno Disuelto (-0.75) > Demanda Bioquímica de Oxígeno (0.46).

La disminución en los coliformes totales afecta proporcionalmente el valor del índice ICOMO, dada su alta correlación (ver figura 28), esto se evidencia en la comparación entre los resultados obtenidos en las estaciones 1 y 3, donde la estación 1 presenta en promedio, la menor concentración microbiana, obteniendo el índice ICOMO más bajo, mientras que la estación 3 presenta el mayor promedio de densidad poblacional de coliformes totales, también obtiene el índice más alto. El

---

<sup>5</sup> Oxígeno disuelto

método de cálculo establece el índice más alto para concentraciones de microorganismos superiores a 20000 NMP/100ml, lo cual se presentó en el 66.6% de los datos recolectados, corroborando que este parámetro presenta el mayor efecto sobre el índice ICOMO, para este caso de estudio.

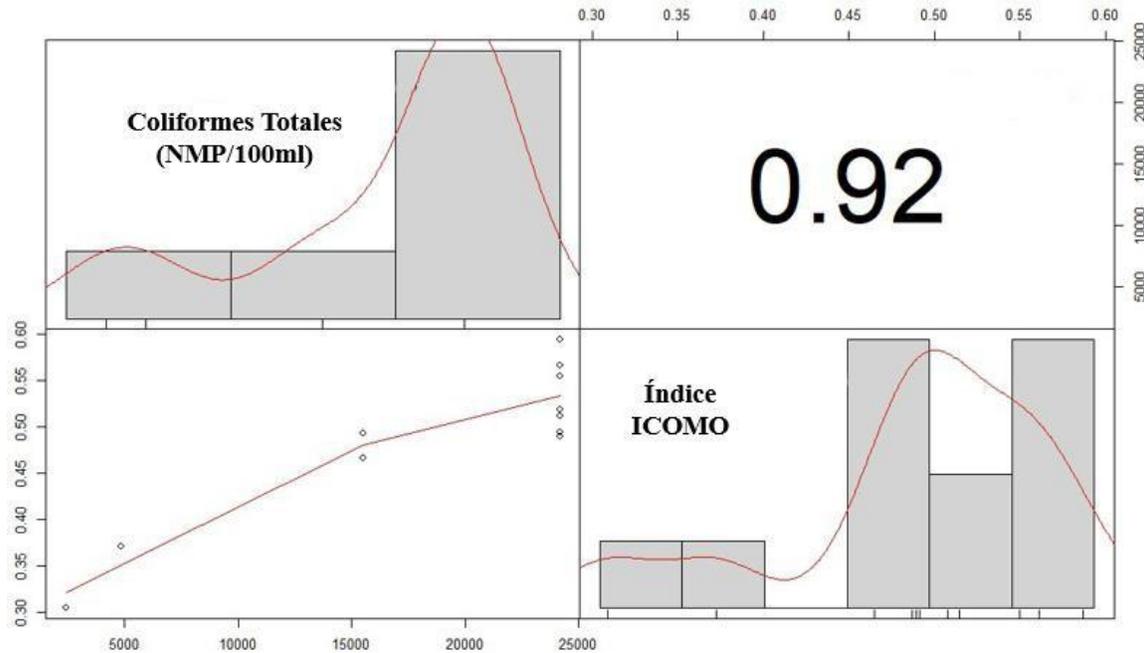


Figura 28. Correlación coliformes totales -índice ICOMO-pearson, por Aguilar S & Solano G, 2018.

El oxígeno disuelto en la fuente de estudio, es inversamente proporcional a valor del índice ICOMO, como se observa en la figura 29. La disminución del oxígeno disuelto se asocia a las bacterias aeróbicas que descomponen materia orgánica, consumiendo el oxígeno de los cuerpos de agua (Sardiñas & Chiroles, 2006), por consiguiente, una disminución en el oxígeno disuelto resultará en un índice de contaminación por materia orgánica mucho más elevado.

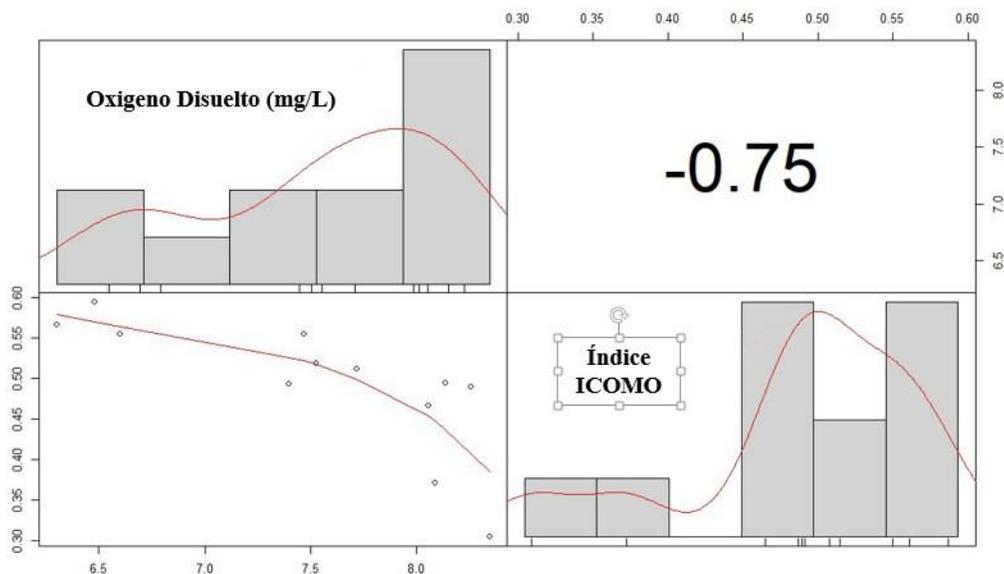


Figura 29. Correlación oxígeno disuelto - índice ICOMO-pearson, por Aguilar S & Solano G, 2018.

Para el caso de estudio el valor de DBO5 no presenta una correlación significativa con respecto al ICOMO (ver figura 30), señalando que, para este caso particular, los resultados no fueron significativos, debido a que el 83% de los datos se encuentran por debajo del límite de detección del método, mientras que los coliformes totales presentaron la mayor correlación con el índice ICOMO, siendo la variable con el mayor peso en los cálculos finales.

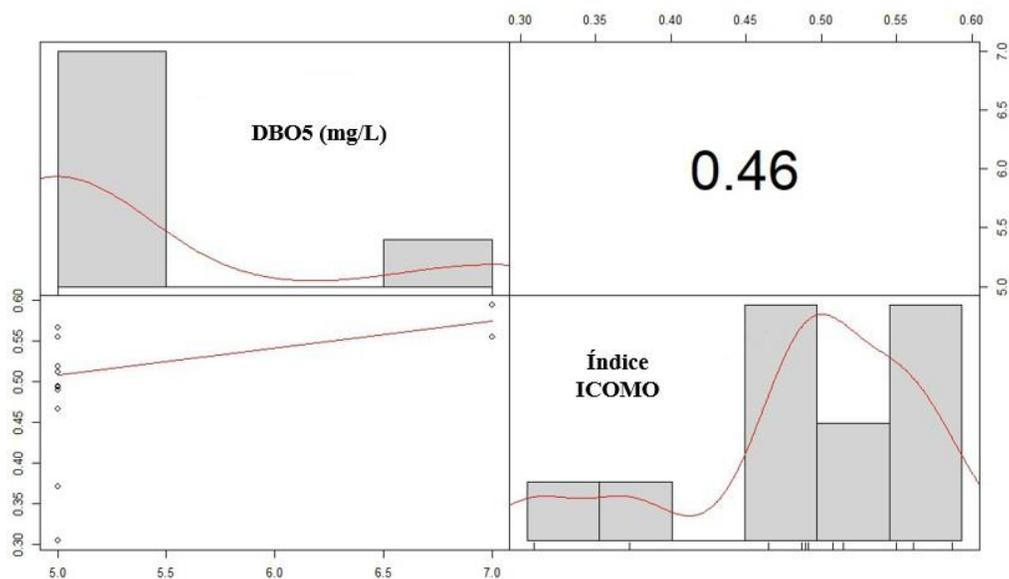


Figura 30. Correlación DBO5 - índice ICOMO método de pearson, por Aguilar S & Solano G, 2018.

#### 4.5 Representación espacial índice ICOMO

La distribución espacial del índice ICOMO a lo largo de la zona de estudio de la microcuenca se realizó para cada una de las fechas de monitoreo teniendo en cuenta los valores de los puntos de monitoreo, estos mapas se presentan en el apéndice I, M, N, Y O.

#### 4.6 Comparación multitemporal del índice ICOMO

La comparación del índice ICOMO resultado de este estudio se realizó con el valor promedio entre las 3 estaciones, contra los resultados de los estudios en años pasados, tanto en época de alta pluviosidad como de baja pluviosidad (ver Tabla 15).

Tabla 15. *Comparación multitemporal del índice ICOMO.*

Lugar de Muestreo	Año	Temporada	Índice ICOMO
caño Grande (Aguas Arriba de los Vertimientos)	2005	*AP	0.8
	2006	**BP	1
	2009	*AP	0.7
	2018	*AP	0.48

*Nota:* \*Alta pluviosidad. \*\*Baja pluviosidad. Valores del Índice ICOMO para los años 2005, 2006 y 2009 correspondientes a caño Grande, Adoptado de “CORMACARENA, 2010”; para el año 2018 calculado para el estudio presente, por Aguilar S & Solano G, 2018.

Los resultados muestran que en la época de baja pluviosidad del 2006 el índice ICOMO presenta el valor máximo posible, mientras que en las épocas de alta pluviosidad del 2005 y 2009, los valores son 0.1 y 0.2 más bajos, lo que confirma que las lluvias tienen un impacto sobre la calidad de las fuentes hídricas por dilución, aumento de los sólidos suspendidos, erosión del suelo y transporte de sedimentos (Montes & Navarro, 2013). En el presente estudio el índice ICOMO presentó una disminución de 0.52 frente a lo registrado la temporada seca del 2006, resultado de las lluvias que afecta las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas por dilución y al boletín de prensa N° 1978 del 27 de febrero de 2017 por parte de la gobernación del Meta, informando que a partir del mes de marzo del 2017 entro en funcionamiento el colector Ocoa que se une al interceptor

caño Grande, con el fin de recolectar las aguas residuales generadas en parte de la comuna 8, y verter provisionalmente al río Ocoa. A esta obra se le atribuye el mejoramiento en la calidad del cuerpo de agua objeto de estudio, no obstante, caño Grande aun presenta 92 vertimientos domésticos directos.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

Después de haber determinado la carga volumétrica aportada a la microcuenca caño Grande por los 18651 habitantes que se estima están parcialmente o no conectados al sistema de alcantarillado (información obtenida a través de cartografía y encuestas realizadas a los líderes comunales), se concluyó que el flujo volumétrico de vertimientos es 9,3 veces más bajo en relación con el caudal del afluente; esta amplia diferencia se asocia con la época de niveles de precipitación alta presentada en los meses de estudio, lo que causa un aumento en el caudal del afluente que permite una mayor capacidad de dilución de los contaminantes aportados por las aguas residuales domésticas, por lo cual, se sugiere realizar estudios en la temporada de baja pluviosidad, donde el efecto del volumen de contaminantes aportados en relación a la capacidad de asimilación del afluente pueda verse afectado por el bajo caudal transportado, en tanto, mostrar una afectación superior de contaminación por materia orgánica, evidenciada en valores del ICOMO más elevados.

Las correlaciones entre las variables de estudio fueron significativas entre temperatura y oxígeno disuelto (-0.966), pH y coliformes totales (-0.773), conductividad eléctrica y DBO5 (0.719), caudal y coliformes totales (-0.533), esto es congruente con la fenomenología y otros estudios relacionados. Específicamente para el aporte de las variables sobre el índice de contaminación ICOMO los coliformes totales presentaron la mayor significancia (0.92) en este caso de estudio, toda vez que en el 66.6% de los datos se encuentran sobre el límite máximo (20000 NMP/100ml) que contempla la fórmula de cálculo del índice de coliformes totales, otorgando el valor máximo por contaminación de esta variable, por otra parte el DBO5 estuvo por debajo del límite detectable por el método de cuantificación del laboratorio (<5 mg/l) en el 83.3% de los casos, estableciéndose como la variable menos significativa (0.46) en el cálculo del ICOMO.

El índice ICOMO presento una tendencia de aumento del 0.05 entre las estaciones, evidenciando una contaminación por materia orgánica a medida que los vertimientos llegan directamente al cauce de estudio. Caño Grande presenta actualmente un índice de contaminación por materia orgánica ICOMO promedio de 0.48 en la zona de estudio, mostrando un grado de

afectación medio, concluyendo que los resultados obtenidos, señalan un deterioro en la calidad de las aguas de la microcuenca, relacionado con la materia orgánica aportada por los vertimientos domésticos directos, toda vez que la carga microbiana aumenta a medida que los vertimientos se concentran, confirmando así la hipótesis formulada.

Actualmente no existen estrategias para el mejoramiento en el monitoreo y seguimiento del recurso hídrico de la microcuenca caño Grande, incumpliendo con uno de los objetivos de la política nacional para la gestión integral del recurso hídrico, ya que no se presentan evaluaciones del estado del afluente desde el año 2009, mostrando deficiencias en la gestión realizada por parte de las instituciones ambientales.

Se comprobó que la obra del colector del río Ocoa, finalizada en el año 2017 logró disminuir la carga contaminante de la microcuenca caño Grande, comparando los índices ICOMO de los años anteriores a este estudio, donde sus valores clasificaban esta fuente hídrica con calidad mala en temporada de alta pluviosidad y pésima en temporada de baja pluviosidad, mientras que el estudio realizado arrojó una clasificación por índice ICOMO de calidad media. Esto acorde al objetivo de la política nacional de gestión del recurso hídrico que pretende minimizar la contaminación, no obstante, esta medida es temporal, ya que los vertimientos recolectados están siendo dirigidos provisionalmente al río Ocoa, hasta tanto no sea construida la planta de tratamiento de agua residual PTAR Ocoa-Guatiagua.

Se sugiere realizar estudios posteriores aumentando la zona de estudio a todo el cauce de la microcuenca caño Grande, desde su nacimiento a la desembocadura en el río Ocoa, aumentando las estaciones de muestreo, con el fin de identificar las zonas de mayor aporte de contaminantes orgánicos sobre la fuente hídrica y una evaluación sistemática de carácter anual, que permita identificar temporalmente los cambios de la calidad del recurso hídrico. Adicionalmente se requiere una caracterización fisicoquímica y microbiológica de los vertimientos domésticos sobre el cuerpo de agua.

Considerando que aunque no hace parte del alcance de este estudio, el realizar capacitaciones, diseños o metodologías que aborden directamente la problemática, se plantean ciertas sugerencias

que permitan desde el punto de vista de la ingeniería, encontrar caminos que mitiguen el impacto actual de los vertimientos en el afluente de estudio.

Se deben ampliar las obras civiles que se encargan de recolectar los vertimientos domésticos generados en la comuna 8, esto con el fin de lograr cumplir uno de los requisitos que el gobierno nacional establece (plan de saneamiento y manejo de vertimientos -PSMV- ejecutado en un 80%), para el aporte de recursos en la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de Villavicencio. Teniendo en cuenta que al 12 junio de 2018 la sala de prensa de la alcaldía manifestó que el plan de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV) se encuentra en un 74% (Camargo, 2018).

Para lograr cumplir con lo establecido por el gobierno nacional, se debe trabajar en la eliminación de los puntos de vertimientos que se hacen en los caños de la ciudad (como el afluente de estudio caño Grande), canalizando las aguas residuales hacia un solo punto de vertimiento.

Por otra parte, es requerida una capacitación a los líderes de juntas de acción comunales (ASOJUNTAS) para el correcto desarrollo de una veeduría ciudadana sobre los puntos de vertimiento ilegales, asentamientos urbanos y disposición de residuos sólidos sobre el afluente, involucrando a Cormacarena y las dependencias pertinentes de la alcaldía y gobernación.

## Bibliografía

- Alcaldía Municipal de Villavicencio. (2015). *Plan de Ordenamiento Territorial Municipal de Villavicencio*. Villavicencio. Retrieved from [http://www.villavicencio.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionyControl/POT\\_2015\\_Componente%20General%20POT.pdf](http://www.villavicencio.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionyControl/POT_2015_Componente%20General%20POT.pdf)
- Alcaldía de Villavicencio. (02 de febrero de 2018). *Gobierno nacional ratificó compromiso para ejecutar el proyecto de la planta de tratamiento de aguas residuales*. Villavicencio. Obtenido de <http://www.villavicencio.gov.co/NuestraAlcaldia/SalaDePrensa/Paginas/Gobierno-nacional-ratific%C3%B3-compromiso-para-ejecutar-el-proyecto-de-la-Planta-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales.aspx>
- Álvarez, A., & Rubiños, J. (2006). Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: diagnóstico y predicción. *Revista internacional de Botánica experimental*, 71-83. Retrieved from [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S185156572006000100007](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185156572006000100007)
- Avecillas, L. A. (2014). *Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil*. Obtenido de Caracterización físico químico del Estero Salado entre el puente de la avenida Kennedy y el Puente 5 de junio efectuado en el período agosto - octubre del año 2012: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/3502/1/1093.pdf>
- Babativa, I. A., & Caicedo, J. C. (2018). *Evaluación de la presencia y distribución de los metales pesados Cromo, Níquel y Plomo en el río Ocoa, en la zona comprendida entre la desembocadura del Caño Maizaro hasta el puente Murujuy, municipio de Villavicencio - Meta*. Tesis de pregrado. Recuperado el 2018, de <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12075/2018ivonbarativa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bates, B. (2008). *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC Secretariat, 210pp. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-change-water-en.pdf>
- Bruce, R., & Carreño, M. (2014). *Diagnóstico Actual Del Manejo De Vertimientos Domésticos Generados En La Sede Usme De La Universidad Antonio Nariño, A Partir De La Verificación De Métodos Normalizados Para El Análisis De Calidad De Agua En El Laboratorio De Ingeniería Ambiental*. Tesis de posgrado. Bogotá: Universidad Santo Tomás. Retrieved from <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/940/Diagnostico%20actual%20del>

%20manejo%20de%20vertimientos%20domesticos%20generados%20en%20la%20sede%20Usme%20de%20la%20universidad%20Antonio%20Narino.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Caceda, M. (2016). *Coliformes Totales, Termotolerantes y Escherichia Coli en relación a la Temperatura, pH y Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Playa de Puerto Malabrigo*. Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo. Retrieved from <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9040/Caceda%20Sanchez%2c%20Miriam%20Elizabel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Camargo, O. (12 de 06 de 2018). *Así va el proceso para que Villavicencio tenga planta de tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de Tiempo de Noticias: <http://tiempodenoticias.com.co/asi-va-el-proceso-para-que-villavicencio-tenga-planta-detratamiento-de-aguas-residuales/>

Chávez, B., & Jaramillo, A. (1998). Regionalización de la temperatura del aire en Colombia. *Cenicafé*, 49(3), 224-230. Retrieved from <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/860/1/arc%2049%283%29224-230.pdf>

Coello, J., & Ormaza, R. (2013). Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoche, Pichahuiña y Pomacocho-Parque nacional Sangay Ecuador. *Revista del instituto de investigación (RIIGEO)*, 15(30), 66-71. Retrieved from <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11281>

Contreras, H. (20 de 08 de 2018). Presidente Aso-juntas Comuna 8. (S. Aguilar, & G. Solano, Entrevistadores) Villavicencio, Meta, Colombia.

CORMACARENA. (2010). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Guatiquía*. Villavicencio. Retrieved from [http://www.cormacarena.gov.co/contenidovin.php?tp=13&contenido\\_in=100&titulo=PO MCA%20R%CDO%20GUATIQUE%20CDA](http://www.cormacarena.gov.co/contenidovin.php?tp=13&contenido_in=100&titulo=PO MCA%20R%CDO%20GUATIQUE%20CDA)

CORMACARENA. (2011). *Determinación de índice de contaminación por materia orgánica ICOMO*. Villavicencio-Meta: CORMACARENA. Retrieved from <http://www.cormacarena.gov.co/>

DANE. (2010). *Proyecciones Nacionales y Departamentales de población 2005-2020*. Bogota, Colombia. Retrieved from [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06\\_20/7Proyecciones\\_poblacion.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/7Proyecciones_poblacion.pdf)

Drago, E. (1984). Estudios Limnológicos en una Sección Transversal del Tramo Medio del Río Parana. *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral*, 79-92. Retrieved from <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/publicaciones/index.php/Natura/article/.../5147>

- EAAV. (2014). *Informe Anual de Gestión 2014*. Villavicencio, Meta. Retrieved from <http://www.eaav.gov.co/Empresa/Informes/Informe%20Gesti%C3%B3n%20T%C3%A9cnica%202014.pdf>
- Fallas, J. (2012). *Correlación Lineal, Midiendo la Relación Entre Dos Variables*. Universidad Para La Cooperación Internacional. Retrieved from [http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/Xlstat\\_analisis\\_estadistico\\_con\\_excel\\_2010.pdf](http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/Xlstat_analisis_estadistico_con_excel_2010.pdf)
- García, E., & López, P. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Retrieved from <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/CLORACION.pdf>
- Gonzales. (2017). *Evaluación de los indicadores de calidad ICA e ICOMO del río Botello ubicado en el municipio de Facatativá*. Tesis de pregrado. Bogotá D.C: UNAD. Retrieved from <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/13563>
- Gonzales, M. (2014). *Evaluación de la situación actual de las fuentes de vertimientos en la ciudad de Villavicencio-meta en función del desarrollo de una propuesta de sostenibilidad ambiental de factores relacionados con la salud pública en poblaciones aledañas*. Competitividad Económica Ambiental, Universidad Distrital, 5-10. Retrieved from <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/bsa/article/view/9348/10544>
- Google Earth. (2018). (7.3.2.591)[software]. Obtenido de <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>
- ICONTEC. (1996). *NTC ISO 5667-6. Guía para el muestreo de aguas de ríos y corrientes*. Retrieved from <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC-ISO5667-6.pdf>
- ICONTEC. (2002). *NTC ISO 5667-1. DIRECTRICES PARA EL DISEÑO DE PROGRAMAS DE MUESTREO*. Retrieved from <https://edoc.site/ntc-iso-5667-01-1995-directrices-para-el-diseño-de-planos-de-muestreo-pdf-pdf-free.html>
- ICONTEC. (2004). *NTC ISO 5667-3. Directrices para la Preservación y Manejo de las Muestras*. Retrieved from <http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000140e3b67e5121/NTC-ISO%205667-03-2004.%20Directrices%20para%20la%20preservacion%20y%20manejo%20de%20muestras.pdf>
- IDEAM. (2004). *Determinación de oxígeno disuelto por el método yodométrico modificación de azida*. Bogotá. Retrieved from

- <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Ox%C3%ADgeno+Disuelto+M%C3%A9todo+Winkler.pdf/e2c95674-b399-4f85-b19e-a3a19b801dbf>
- IDEAM. (2006). Conductividad eléctrica por el método electrométrico en aguas. Bogotá. Retrieved from: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>
- IDEAM. (2007a). *Demanda Bioquímica De Oxígeno 5 Días, Incubación Y Electrometría*. Bogotá. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>
- IDEAM. (2007b). *Demanda Química De Oxígeno Por Reflujo Cerrado Y Volumetría*. Bogotá. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>
- IDEAM. (2007c). *Determinación De Escherichia Coli Y Coliformes Totales En Agua Por El Método De Filtración Por Membrana En Agar Chromocult*. Bogotá. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+E.coli+en+Agua+Filtraci%C3%B3n+por+Membrana.pdf/5414795c-370e-48ef-9818-ec54a0f01174>
- IDEAM. (2007e). *Ph EN AGUA POR ELECTROMETRIA*. Bogotá. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/pH+en+agua+por+Electrometr%C3%ADa.pdf/ec53b64e-91eb-44c1-befe-41fcfccdff1>
- IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá D.C, Colombia: 496 Paginas. Retrieved from [http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset\\_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/estudio-nacional-del-agua-informacion-para-latoma-de-decisiones](http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/estudio-nacional-del-agua-informacion-para-latoma-de-decisiones)
- IDEAM. (2018). Boletín Climatológico. Obtenido de [http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologico-mensual/-/document\\_library\\_display/xYvIPc4uxk1Y/view/71473013?\\_110\\_INSTANCE\\_xYvIPc4uxk1Y\\_redirect=http%3A%2F%2Fwww.ideam.gov.co%2Fweb%2Ftiempo-y-clima%2Fclimatologico-mensual%3Fp\\_p\\_id%3D110\\_INSTANCE](http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologico-mensual/-/document_library_display/xYvIPc4uxk1Y/view/71473013?_110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y_redirect=http%3A%2F%2Fwww.ideam.gov.co%2Fweb%2Ftiempo-y-clima%2Fclimatologico-mensual%3Fp_p_id%3D110_INSTANCE)
- Mejía, M. (2005). *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*. Obtenido de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0602e/A0602e.pdf>
- MINAMBIENTE. (2018). *Ministerio de ambiente y desarrollo sustentable*. Obtenido de Minambiente: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/resoluciones>
- Monforte, G., & Cantú, P. (2009). Escenario del Agua en México. *Culcyt//Recursos Hídricos, N°*

- 30, 31-40. Retrieved from <http://revistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/356/336>
- Montalvo, J., & García, L. (2008). Oxígeno disuelto y materia orgánica en cuerpos de aguas interiores del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. *Serie Oceanológica, No. 4*, 71-84. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/279446149\\_Oxigeno\\_disuelto\\_y\\_materia\\_organica\\_en\\_cuerpos\\_de\\_aguas\\_interiores\\_del\\_Archipielago\\_Sabana-Camaguey\\_Cuba](https://www.researchgate.net/publication/279446149_Oxigeno_disuelto_y_materia_organica_en_cuerpos_de_aguas_interiores_del_Archipielago_Sabana-Camaguey_Cuba)
- Morán, F. (2014). *Evaluación ambiental de la calidad del agua del río Santa Rosa y lineamientos para un plan ambiental*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/11616/1/TESIS%20DE%20GRADO%20%28INTRODUCCI%C3%93N%29.pdf>
- OEFA. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Lima: Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental. Retrieved from [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
- Olivero, R., & Mercado, I. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción + Limpia, Vol 8, N° 1*, 19-27. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S190904552013000100003](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S190904552013000100003)
- Ortiz, M., & Rodríguez, J. (2014). Aplicación de la legislación ambiental y territorial en municipios capitales: Estudio de caso Villavicencio (Colombia). *Revista Orinoquia, 18*, 130-148. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v18n2/v18n2a11.pdf>
- Peña, O. (2006). Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). *Higiene y Sanidad Ambiental, 6*, 202-206. Retrieved from [http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51015aa031684\\_Hig.Sanid.Ambient.6.202206\(2006\).pdf](http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51015aa031684_Hig.Sanid.Ambient.6.202206(2006).pdf)
- POSADA G., J. A., & ROLDAN P., G. a. (2000). Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Rev. biol. trop, 48*, 59-70. Retrieved from <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/18151>
- Ramírez, A., & Restrepo, R. (1997). Cuatro Índices De Contaminación Para Caracterización De Aguas Continentales. Formulaciones Y Aplicación. *C.T.F Cienc. Tecnol. Futuro, Vol 1, N°3*, 135-153. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-53831997000100009](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831997000100009)
- Resolución 0330. (2017). *Resolución 0330, Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico - RAS*. Bogotá. Retrieved from

[http://legal.legis.com.co/document?obra=legcol&document=legcol\\_12c6ce75fa364625a48adee57602cea1](http://legal.legis.com.co/document?obra=legcol&document=legcol_12c6ce75fa364625a48adee57602cea1)

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 631. (2015). *Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.* Bogotá. Retrieved from [https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R\\_MADS\\_0631\\_2015.pdf](https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf)
- Rojas, C., & Ardila, P. (2018). Evaluación del Estado del Agua Residual Doméstica, Mediante el Monitoreo y Análisis de Parámetros Físicoquímicos y Microbiológicos Como Insumo para el Diseño.
- Salazar, D. (2015). Estudio del Impacto Ambiental Generado por Vertimientos Proveniente de un Establecimiento Penitenciario de Orden Nacional al Recurso Hidrico. *Universidad Militar Nueva Granada.* Retrieved from <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/6463/1/ARTICULO%20ESPECIALIZACION%20FINAL.pdf>
- Samboni, N., & Reyes, A. (2011). Aplicaciones de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta. *Ingeniería y competitividad*, 13(2), 49-60. <http://www.redalyc.org/pdf/2913/291323530004.pdf>
- Sardiñas, O., & Chiroles, S. (2006). Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). *Higiene y Sanidad Ambiental, Vol 6*, 202-206. Retrieved from <http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/CNI/article/view/218>
- Satterthwaite, D. (1993). Problemas sociales y medioambientales asociados a la urbanización acelerada. *Revista de estudios urbanos regionales*, 7-19. Retrieved from [eure.cl/index.php/eure/article/view/1098/200](http://eure.cl/index.php/eure/article/view/1098/200)
- Segura, L. E. (2007). *Estudio de antecedentes sobre la contaminación hídrica en Colombia.* Obtenido de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/estudio%20de%20antecedentes%20sobre%20la%20contaminaci%C3%B3n%20h%C3%ADdrica.pdf>
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 84-86. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>
- Valverde, A., & Edison, M. (2015). Análisis de la calidad de varios cuerpos de aguas superficiales en Bahía Solano utilizando índices de contaminación. *Investigación, biodiversidad y*

- desarrollo*, 34 (1), 14-21. Retrieved from <http://revistas.utch.edu.co/ojs5/index.php/revinvestigacion/article/view/553/0>
- Webb, B. (2007). Long-Term Changes In River Temperature And The Influence Of Climatic And Hydrological Factors. *Hydrological Processes*, Vol 52, 74-85. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1623/hysj.52.1.74>
- WHO. (1996). *Total dissolved solids in Drinking-water*. Geneva: World Health Organization. Retrieved from [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/tds.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/tds.pdf)
- Xia, J. (2010). Potential Impacts and Challenges of Climate Change on Water Quality and Ecosystem: Case Studies in Representative Rivers in China. *Journal of Resources and Ecology*, Vol 1, N° 1, 31-35. Retrieved from <http://www.jorae.cn/fileup/PDF/2010010104.pdf>
- Yana, E. (2014). *Contaminación por materia orgánica en el río torococha de la ciudad de Juliaca*. Obtenido de Universidad Nacional del Antiplano : [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2402/Yana\\_Neira\\_Evelin\\_Amparo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2402/Yana_Neira_Evelin_Amparo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Apéndices

**Apéndice A: Fotografía satelital septiembre del 2010, áreas sin asentamientos colindantes con caño Grande.**

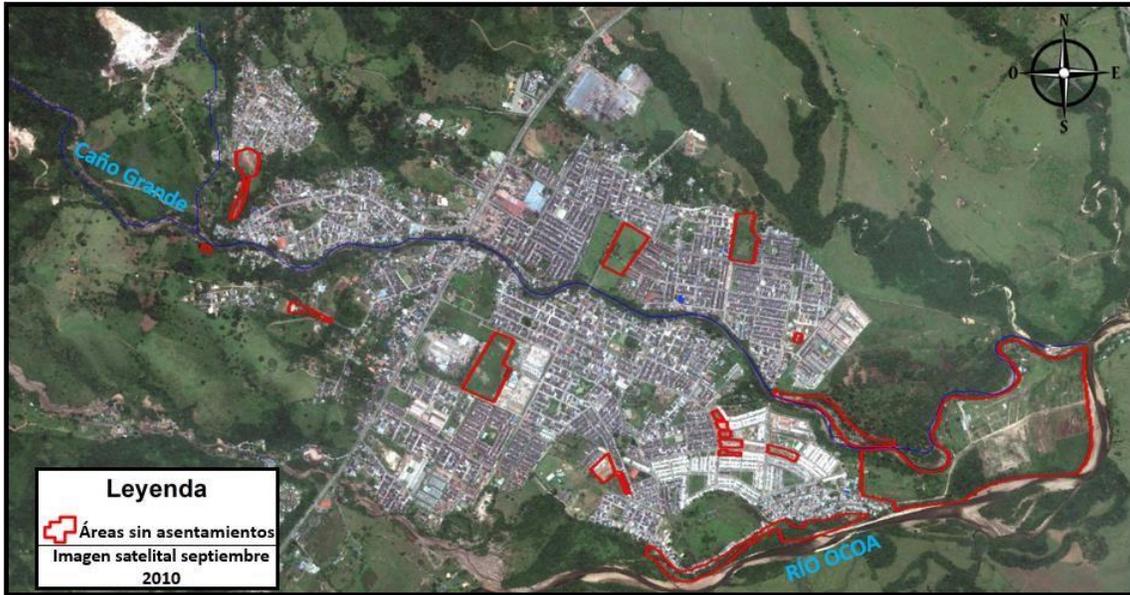


Figura 31. Foto satelital, asentamientos colindantes con caño Grande. Adoptado de “Google Earth, 2018”, por Aguilar S & Solano G, 201.

**Apéndice B: Fotografía satelital octubre del 2017, áreas con nuevos asentamientos colindantes con caño Grande.**

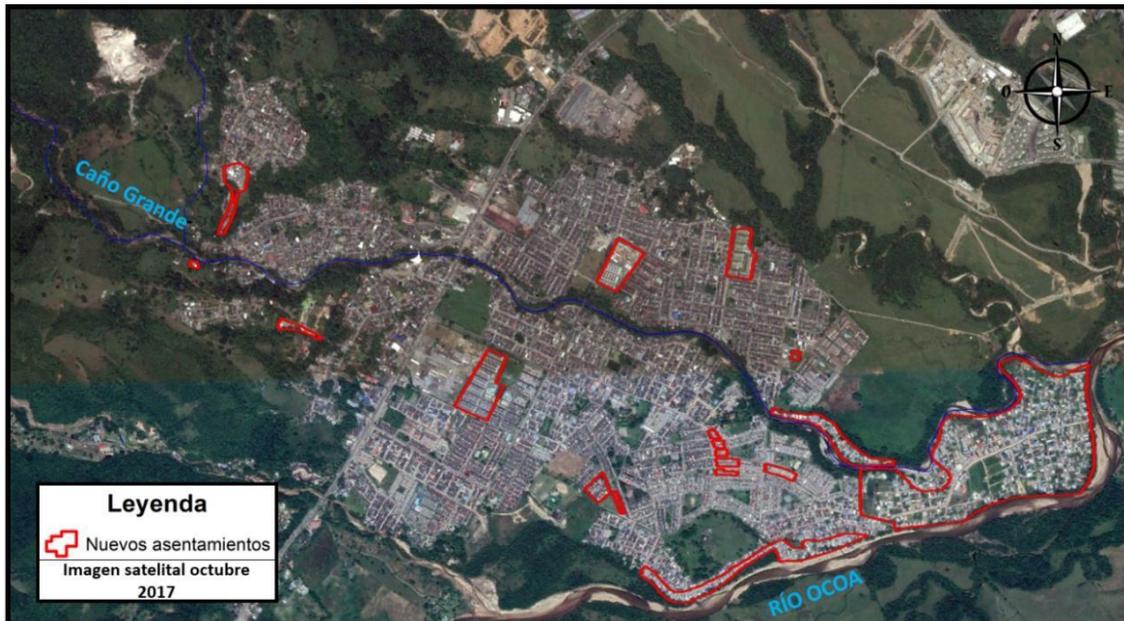


Figura 32. Foto satelital, nuevos asentamientos colindantes con caño Grande. Adoptado de “Google Earth, 2018”, por Aguilar S & Solano G, 2018.

**Apéndice C:** Mapa microcuenca y perfil de elevación caño Grande. Ver anexo CD.

**Apéndice D: Resultado de análisis muestras campo.**





**RESULTADO DE ANÁLISIS**

Página 1 de 1 T.A. 32566

<b>MUESTRA No.</b>	E N°1	<b>Dirección:</b>	No Reporta
<b>Solicitante:</b>	UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS	<b>Teléfonos:</b>	3114587090
<b>Contacto:</b>	Santiago Aguilar	<b>Tipo de muestra:</b>	Puntual
<b>Clase de muestra:</b>	Agua Superficial	<b>Hora de Toma:</b>	12:00
<b>Fecha de toma:</b>	2018/06/13	<b>Municipio:</b>	Villavicencio
<b>Departamento:</b>	Meta	<b>Fuente:</b>	Caño Grande
<b>Vereda/Barrio:</b>	Comuna 8	<b>Lugar de muestreo:</b>	Parte Alta Caño Grande Acueducto Playa Rica
<b>Punto:</b>	Estación 1	<b>Fecha de emisión del reporte:</b>	2018/09/28
<b>Fecha Recepción:</b>	2018/06/13		

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	<5
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO			
Coliformes totales	NMP/100ml	SM 9223 B	24196



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



**LORENA MARTÍNEZ C.**  
Microbióloga

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  
 Prohíbida 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

Figura 33. Resultado análisis laboratorio TECNOAMBIENTAL. Adoptado de “Google Earth, 2018”, por Aguilar S & Solano G, 2018.

**Apéndice E:** Mapa zonificación zona de estudio y sistema de soporte ambiental urbano. Ver anexo CD.

**Apéndice F: Formato encuesta líderes juntas de acción comunal.**

Fecha de encuesta: \_\_\_\_\_  
 Nombre del encuestado: \_\_\_\_\_  
 Área en la que trabaja: \_\_\_\_\_  
 Barrio: \_\_\_\_\_

1. ¿Cuál es el número de población actual correspondiente a su barrio?  
 \_\_\_\_\_
2. ¿Tiene información del censo poblacional de su barrio de años anteriores?  
 Sí\_\_ No\_\_ ¿Cuáles? \_\_\_\_\_
3. ¿Cuenta su barrio con servicio de acueducto y alcantarillado?  
 Sí\_\_ No\_\_
4. ¿Sabe de actividades o proyectos que ha realizado la empresa de acueducto y alcantarillado en los últimos meses en la comuna 8?  
 Sí\_\_ No\_\_ ¿Cuáles? \_\_\_\_\_
5. ¿Qué perspectiva tiene sobre caño Grande?  
 \_\_\_\_\_

Figura 34. Encuesta líderes comunales ASOJUNTAS, por Aguilar S & Solano G, 2018.

**Apéndice G: Tabla coordenadas vertimientos de aguas residuales.**

Tabla 16.

Coordenadas vertimientos de aguas residuales.

NUMERO VERTIMIENTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS		NOTA	NUMERO VERTIMIENTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS		NOTA
	ESTE	Norte			ESTE	Norte	
1	1045683	945892	Vertimiento casa 2"	47	1046834	945831	Vertimiento casa 2"
2	1045837	945866	Caño Villa Lorena	48	1046864	945826	Vertimiento casa 2"
3	1045844	945857	Vertimiento casa 2"	49	1046882	945815	Vertimiento casa 2"
4	1045927	945822	Vertimiento casa 2"	50	1046904	945806	Vertimiento casa 2"
5	1046032	945833	Vertimiento casa 2"	51	1046910	945800	Vertimiento casa 2"
6	1046038	945817	Vertimiento casa 2"	52	1046915	945798	Vertimiento casa 2"
7	1046041	945817	Vertimiento casa 2"	53	1046943	945779	Vertimiento casa 2"
8	1046043	945818	Vertimiento casa 2"	54	1046953	945770	Vertimiento casa 2"
9	1046041	945814	Vertimiento casa 2"	55	1046969	945748	Vertimiento casa 2"

Nota: \*Coordenas a partir de GPS Garmin 64S, por Aguilar S & Solano G, 2018.

Tabla 16.

*Continuación.*

NUMERO VERTIMIENTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS		NOTA	NUMERO VERTIMIENTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS		NOTA
	ESTE	Norte			ESTE	Norte	
10	1046060	945814	Vertimiento casa 2"	56	1046978	945738	Vertimiento casa 2"
11	1046062	945812	Vertimiento casa 2"	57	1046992	945719	Vertimiento casa 2"
12	1046067	945822	Vertimiento casa 2"	58	1047010	945700	Vertimiento casa 2"
13	1046085	945813	Vertimiento casa 2"	59	1047044	945660	Vertimiento casa 2"
14	1046079	945806	Vertimiento casa 2"	60	1047084	945649	Vertimiento casa 2"
15	1046081	945804	Vertimiento casa 2"	61	1047118	945667	Vertimiento casa 2"
16	1046084	945802	Vertimiento casa 2"	62	1047122	945668	Vertimiento casa 2"
17	1046097	945801	Vertimiento casa 2"	63	1047195	945694	Vertimiento casa 2"
18	1046100	945798	Vertimiento casa 2"	64	1047245	945675	Vertimiento casa 2"
19	1046101	945798	Vertimiento casa 2"	65	1047989	945258	Vertimiento casa 2"
20	1046120	945784	Vertimiento casa 2"	66	1048103	945231	Vertimiento casa 2"
21	1046122	945781	Vertimiento casa 2"	67	1048145	945202	Vertimiento casa 2"
22	1046126	945774	Vertimiento casa 2"	68	1048174	945158	Vertimiento casa 2"
23	1046217	945732	Vertimiento casa 2"	69	1048195	945129	Vertimiento casa 2"
24	1046243	945764	Vertimiento casa 2"	70	1048222	945097	Vertimiento casa 2"
25	1046250	945781	Vertimiento casa 2"	71	1048247	945087	Vertimiento casa 2"
26	1046253	945784	Vertimiento casa 2"	72	1048274	945072	Vertimiento casa 2"
27	1046260	945784	Vertimiento casa 2"	73	1048366	945091	Vertimiento casa 2"
28	1046263	945783	Vertimiento casa 2"	74	1048452	945085	Vertimiento casa 2"

*Nota:* \*Coordenas a partir de GPS Garmin 64S, por Aguilar S & Solano G, 2018.

Tabla 16.

Continuación.

NUMERO VERTIMIENTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS		NOTA	NUMERO VERTIMIENTO	COORDENADAS PLANAS MAGNA SIRGAS		NOTA
	ESTE	Norte			ESTE	Norte	
29	1046293	945802	Vertimiento casa 2"	75	1048533	945118	Vertimiento casa 2"
30	1046343	945830	Vertimiento casa 2"	76	1048533	945128	Vertimiento casa 2"
31	1046368	945833	Vertimiento casa 2"	77	1048536	945167	Vertimiento casa 2"
32	1046381	945834	Vertimiento casa 2"	78	1048554	945199	Vertimiento casa 2"
33	1046388	945832	Vertimiento casa 2"	79	1048574	945248	Vertimiento casa 2"
34	1046389	945829	Vertimiento casa 2"	80	1048576	945257	Vertimiento casa 2"
35	1046403	945829	Vertimiento casa 2"	81	1048580	945260	Vertimiento casa 2"
36	1046406	945829	Vertimiento casa 2"	82	1048749	945274	Vertimiento casa 2"
37	1046440	945828	Vertimiento casa 2"	83	1048768	945279	Vertimiento casa 2"
38	1046472	945818	Vertimiento casa 2"	84	1048804	945290	Vertimiento casa 2"
39	1046472	945817	Vertimiento casa 2"	85	1048823	945303	Vertimiento casa 2"
40	1046503	945821	Vertimiento casa 2"	86	1048842	945311	Vertimiento casa 2"
41	1046629	945864	Vertimiento casa 2"	87	1048858	945335	Vertimiento casa 2"
42	1046627	945858	Vertimiento casa 2"	88	1048850	945360	Vertimiento casa 2"
43	1046778	945853	Vertimiento casa 2"	89	1048845	945382	Vertimiento casa 2"
44	1046645	945869	vertimiento aguas residuales barrio Playa rica 6 "	90	1048827	945396	Vertimiento casa 2"
45	1046790	945841	Vertimiento casa 2"	91	1048809	945410	Vertimiento casa 2"
46	1046822	945836	Vertimiento casa 2"	92	1048835	945498	Vertimiento casa 2"

Nota: \*Coordenas a partir de GPS Garmin 64S, por Aguilar S & Solano G, 2018.

**Apéndice H:** Mapa redes alcantarillado y vertimientos aguas residuales. Ver anexo CD.

**Apéndice I:** Plano de redes sistema de alcantarillado por eaav. Ver anexo CD

**Apéndice J: Resultados entrevista a líderes comunales sobre la cantidad de población para los barrios identificados.**

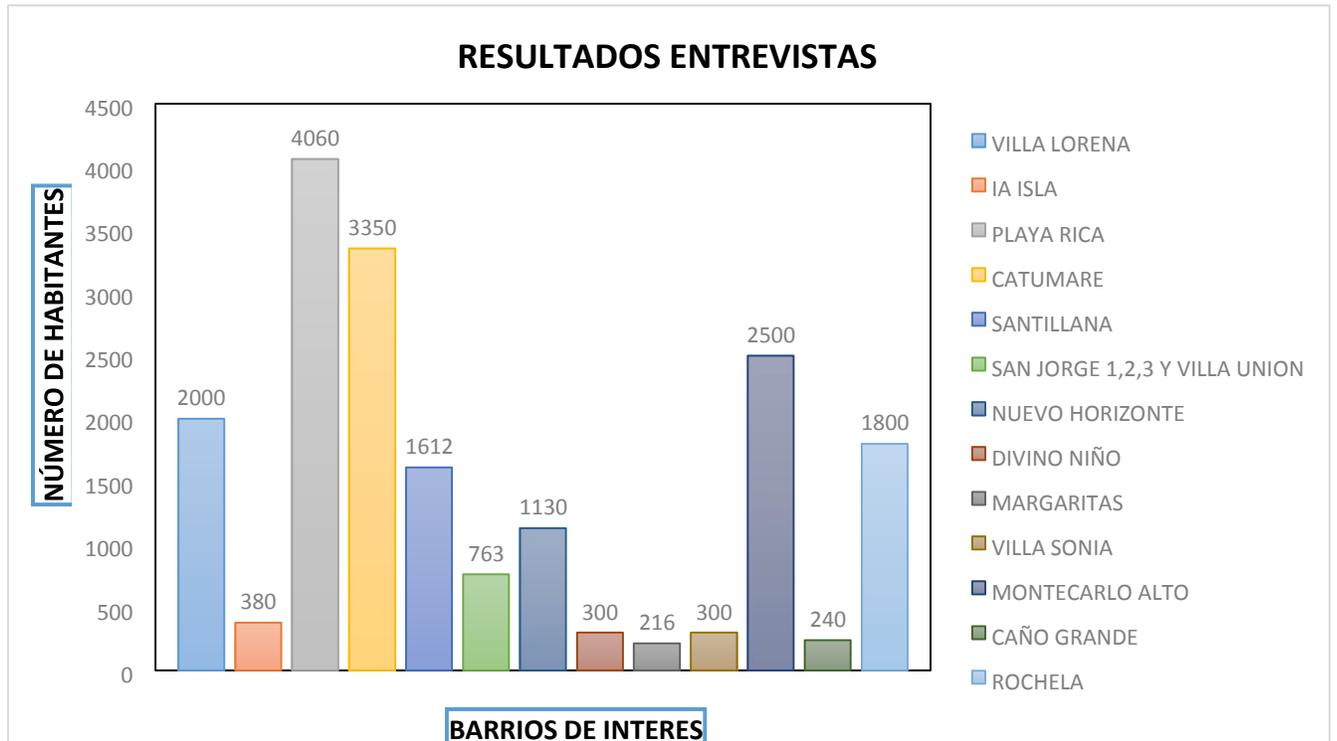


Figura 35. Número de habitantes que aportan aguas residuales al afluente de estudio, por Aguilar S & Solano G, 2018.

**Apéndice K: Líneas de código Rstudio.**

```
knitr::opts_chunk$set(echo = TRUE) load(file
= "C:/Users/user1/Desktop/a.RData")
summary(tesis)

## Coliformes Totales (NMP/100ml) DB05 (mg/L) Caudal (m3/s)
## Min. : 2420 Min. :5.000 Min. :0.2800
## Median :24196 Median :5.000 Median :0.3950
## Mean :19324 Mean :5.333 Mean :0.5742
## Max. :24196 Max. :7.000 Max. :1.7000
## Oxigeno (mg/L) pH Temperatura (°C) Conductividad (µs/cm)
## Min. :6.300 Min. :7.270 Min. :21.30 Min. :173.0
## Median :7.625 Median :7.680 Median :23.54 Median :202.2
## Mean :7.533 Mean :7.719 Mean :24.03 Mean :236.4
## Max. :8.350 Max. :8.130 Max. :29.20 Max. :356.7
cor(tesis)

## Coliformes Totales (NMP/100ml) DB05 (mg/L)
## Coliformes Totales (NMP/100ml) 1.000000 0.2824151
## DB05 (mg/L) 0.2824151 1.0000000
```

```

## Caudal (m3/s) -0.5336456 -0.1575689
## Oxigeno (mg/L) -0.5006358 -0.3620194
## pH -0.7737371 -0.3482267
## Temperatura (°C) 0.5196822 0.2855417
## Conductividad (µs/cm) 0.2028449 0.7192930
## Caudal (m3/s) Oxigeno (mg/L) pH
## Coliformes Totales (NMP/100ml) -0.5336456 -0.5006358 -0.7737371
## DBO5 (mg/L) -0.1575689 -0.3620194 -0.34822672
## Caudal (m3/s) 1.0000000 0.2635465 0.24121202
## Oxigeno (mg/L) 0.2635465 1.0000000 0.40888996
## pH 0.2412120 0.4088900 1.00000000
## Temperatura (°C) -0.3001202 -0.9663702 -0.38496477
## Conductividad (µs/cm) -0.3774900 -0.3181102 -0.03666949
## Temperatura (°C) Conductividad (µs/cm)
## Coliformes Totales (NMP/100ml) 0.5196822 0.20284485
## DBO5 (mg/L) 0.2855417 0.71929301
## Caudal (m3/s) -0.3001202 -0.37749004
## Oxigeno (mg/L) -0.9663702 -0.31811024
## pH -0.3849648 -0.03666949
## Temperatura (°C) 1.0000000 0.32658170 ##
Conductividad (µs/cm) 0.3265817 1.00000000
pairs(tesis)

```

**Apéndice L:** Mapa calidad del agua índice ICOMO microcuenca caño Grande 14-12-2017. Ver anexo CD.

**Apéndice M:** Mapa calidad del agua índice ICOMO microcuenca caño Grande 16-04-2018. Ver anexo CD.

**Apéndice N:** Mapa calidad del agua índice ICOMO microcuenca caño Grande 13-06-2018. Ver anexo CD.

**Apéndice O:** Mapa calidad del agua índice ICOMO microcuenca caño Grande 13-07-2018. Ver anexo CD.