

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CAÑO MAIZARO A PARTIR DE  
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS Y APLICACIÓN DE ÍNDICES  
DE CONTAMINACIÓN EN UN PERIODO DE 4 MESES.



FREDY ALBERTO HERNÁNDEZ CASAS

CLAUDIA PAOLA PÁEZ CÁRDENAS



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SEDE VILLAVICENCIO

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

VILLAVICENCIO

2018

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL CAÑO MAIZARO A PARTIR DE  
PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS, MICROBIOLÓGICOS Y APLICACIÓN DE ÍNDICES  
DE CONTAMINACIÓN EN UN PERIODO DE 4 MESES.

FREDY ALBERTO HERNÁNDEZ CASAS

CLAUDIA PAOLA PÁEZ CÁRDENAS

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

Director

CHRISTIAN JOSÉ ROJAS REINA

PhD. Ingeniero Químico

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SEDE VILLAVICENCIO

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

VILLAVICENCIO

2018

**Autoridades académicas**

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

Rector General

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

Vicerrector Académico General

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

Rector Sede Villavicencio

**P. FERNANDO CAJICÁ GAMBOA, O.P.**

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

**JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN**

Secretaria de División Sede Villavicencio

**YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN**

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

## **Dedicatoria**

Doy gracias a DIOS por darme la vida, la sabiduría y la oportunidad de terminar mi carrera.

A la fe de mi madre, por su apoyo incondicional en la vida para ser una persona de bien y luchar para lograr todos mis propósitos. Madre, recibe este triunfo como muestra de mi agradecimiento.

A la memoria de mi abuelo y tío, estarán orgullosos en cualquier parte que se encuentren.

A mis hermanos, ejemplos a seguir de trabajo y honestidad.

*Fredy Alberto Hernández Casas*

Le doy gracias al ser todopoderoso, por la salud brindada en estos años de mi vida, por la sabiduría, la paciencia y objetividad.

Este espacio es tan importante para mí, es donde dedico todo mi esfuerzo, mi tiempo y mi persistencia en este proceso a personas especiales y estas personas son mis padres, Doris Emilia Cárdenas y José Rubiel Páez, los cuales son el motor de mi vida y han sido constructores de lo que soy, me han permitido crecer como ser humano, mujer y profesional, por esos esfuerzos que nunca fueron intermitentes.

Mi trabajo, es dedicado también a una mujer especial, maravillosa, increíble, mágica e importante y esa es mi abuela materna que está en los cielos, mi bella Rosa Acosta, la mujer que estuvo siempre ahí. Por su puesto que también a mi viejo Olivo, mi viejito te amo, mi abuelito bello.

Le agradezco a mi familia, mis abuelos paternos Olga González, Rafael Páez, a mis tíos por ser mi bella familia que Dios me dio y que soy feliz.

A mis hermanos Marcela, Manuel, Carolina y Jesús que me han acompañado a lo largo de mi carrera y me han apoyado en cada paso, por eso y más, gracias. Los amo son mis piezas de vida.

*Claudia Paola Páez Cárdenas*

## **Agradecimientos**

A mi asesor el PhD. Christian José Rojas Reina por haber confiado en nosotros para la realización de este Proyecto. También por sus recomendaciones, asesoramiento, consejos, apoyo, compañía, conocimiento, etc., que siempre fueron de gran validez en nuestro desarrollo personal y profesional.

A la coordinadora de Laboratorios de la USTA, la Microbióloga Diana Carolina Méndez y a todo el personal perteneciente a laboratorios, por su colaboración y apoyo en la realización de la parte experimental, muchas gracias por toda la ayuda brindada, por las molestias causadas; lo mucho que nos han ayudado y apoyado en este largo proceso, muchas gracias y que Dios los bendiga siempre.

A mis queridos amigos Julian y Darwin que nos han apoyado en este proceso y a todos mis compañeros y amigos de clases y a todas aquellas personas que de alguna u otra manera contribuyeron a la realización de la investigación.

Por último y no menos importante, a los Profesores que nos han visto crecer como persona, y gracias a sus conocimientos hoy podemos sentirnos dichosos y contentos.

*Fredy Alberto Hernández Casas*

*Claudia Paola Páez Cárdenas*

## Contenido

	Pág.
Resumen .....	12
Abstract .....	13
Introducción.....	14
1. Zona de estudio .....	15
1.1 Descripción del Problema.....	15
1.1.1 Formulación de la pregunta problema. ....	16
2. Objetivos.....	17
2.1. Objetivo general .....	17
2.1.1. Objetivos específicos. ....	17
3. Justificación .....	18
4. Alcance .....	19
5. Antecedentes .....	21
6. Marco referencial .....	24
6.1. Marco teórico.....	24
6.1.1. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS).....	25
6.1.2. Índice de contaminación tráfico (ICOTRO). ....	25
6.1.4. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI).....	26
6.1.5. Microbiológico. ....	27
6.2. Marco legal.....	27
7. Metodología .....	31
7.1. Fase I: Diagnóstico y establecimiento de directrices de desarrollo .....	31
7.2. Fase II: Método de recolección de muestra.....	33

7.3.	Fase III: Frecuencia de muestreo, selección y ejecución de ICO's y relación de Variables .....	34
7.4.	Fase IV: Manejo y recolección de las muestras en puntos seleccionados tanto los In situ y Ex situ .....	34
7.5.	Fase V: Determinación de métodos y ejecución de los Parámetros Fisicoquímicos y Microbiológicos .....	35
7.6.	Fase VI: Resultados y Análisis de Resultados.....	36
7.6.1.	Concentración de iones de hidrógeno (pH).....	36
7.6.2.	Conductividad.....	38
	<i>Nota:</i> Valores estadísticos obtenidos en cada uno de los puntos analizados para el parámetro conductividad, por Hernandez F., Paez P., 2018. ....	39
7.6.3.	Temperatura.....	39
7.6.4.	Oxígeno Disuelto. ....	40
7.6.5.	Saturación de Oxígeno. ....	43
7.6.6.	Alcalinidad Total. ....	45
7.6.7.	Dureza Total. ....	48
7.6.8.	Nitratos.....	50
7.6.9.	Nitritos.....	52
7.6.10.	Fósforo Total.....	55
7.6.12.	Sólidos sedimentables.....	58
7.6.14.	Demanda Biológica de Oxígeno. ....	62
7.6.16.	Índices de contaminación ICO's. ....	69
9.	Recomendaciones y discusiones .....	77
11.	Bibliografía .....	81

## Listado de Figuras

<i>Figura 1.</i> Ubicación de la zona de estudio .....	20
<i>Figura 2.</i> Ubicación y zonas aledañas del Caño Maizaro.....	32
<i>Figura 3.</i> Método de recolección de muestra en diagrama en bloque para cada Punto de Muestreo, elaborado a partir del software libre Lucydchart. ....	33
<i>Figura 4.</i> Escala de pH.....	36
<i>Figura 5.</i> Resultados del comportamiento del PH en los 5 puntos durante el periodo de estudio. ....	37
<i>Figura 6.</i> Resultados del comportamiento de la Conductividad en el periodo de estudio.....	38
<i>Figura 7.</i> Resultados del comportamiento de la Temperatura en los 5 puntos durante el periodo de estudio. ....	39
<i>Figura 8.</i> Precipitación de lluvia mensual promedio Villavicencio .....	41
<i>Figura 9.</i> Resultados del comportamiento del Oxígeno Disuelto en los 5 puntos durante el periodo de estudio.....	41
<i>Figura 10.</i> La temperatura promedio por hora, codificada por colores en bandas. Las áreas sombreadas superpuestas indican la noche y el crepúsculo civil.....	42
<i>Figura 11.</i> Resultados del comportamiento de la Saturación de Oxígeno los puntos durante el periodo de estudio. ....	44
<i>Figura 12.</i> Resultados de Alcalinidad Total.....	46
<i>Figura 13.</i> Resultados de Dureza Total. ....	48
<i>Figura 14.</i> Resultados de Nitratos. ....	51
<i>Figura 15.</i> Resultados de Nitritos.....	53
<i>Figura 16.</i> Resultados Fosforo Total. ....	56
<i>Figura 17.</i> Resultados Sólidos Totales. ....	57
<i>Figura 18.</i> Resultados Sólidos Sedimentables. ....	59
<i>Figura 19.</i> Muestra de agua en una fecha respectiva y el reactivo Colilert.....	65
<i>Figura 20.</i> Resultados de población estimada promedio 4 fechas.....	67

## Listado de Tablas

Tabla 1. Significancia de los índices de Contaminación ICOs.....	25
Tabla 2. Normatividad legal vigente para Colombia .....	28
Tabla 3. Fechas de muestreos en campo y ejecución en laboratorio. ....	31
Tabla 4. Ubicación de cada punto seleccionado. ....	31
Tabla 5. Parámetros y métodos de muestreo usados en el laboratorio. ....	35
Tabla 6. Resultados estadística descriptiva básica de pH. ....	37
Tabla 7. Resultados estadística descriptiva básica de Temperatura. ....	40
Tabla 8. Rangos y clasificación del Oxígeno Disuelto. ....	42
Tabla 9. Resultados estadística descriptiva básica del OD.....	43
Tabla 10. Nivel de clasificación del porcentaje de saturación.....	44
Tabla 11. Resultados estadística descriptiva básica de Saturación de Oxígeno. ....	45
Tabla 12. Características Químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana. ....	46
Tabla 13. Rangos de Alcalinidad. ....	47
Tabla 14. Resultados estadística descriptiva básica de Alcalinidad Total. ....	47
Tabla 15. Características Químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana. ....	49
Tabla 16. Resultados estadística descriptiva básica de Dureza Total. ....	50
Tabla 17. Características Químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana. ....	50
Tabla 18. Resultados estadística descriptiva básica de Nitratos. ....	52
Tabla 19. Características Químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana. ....	53
Tabla 20. Resultados estadística descriptiva básica de Nitritos. ....	54
Tabla 21. Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana .....	55
Tabla 22. Resultados estadística descriptiva básica de Fósforo Total.....	56
Tabla 23. Resultados estadística descriptiva básica de Sólidos Totales. ....	58
Tabla 24. Resultados estadística descriptiva básica de Sólidos Sedimentables. ....	60
Tabla 25. Resultados de la DQO.....	60
Tabla 26. Resultados estadística descriptiva básica de DQO.....	61
Tabla 27. Valor máximo permisible de DQO de vertimientos y para plantas potabilizadoras. ....	62
Tabla 28. Resultados del cálculo de la DBO en el Caño Maizaro.....	62
Tabla 29. Resultados estadística descriptiva básica de DBO. ....	63

Tabla 30. Parámetros de interpretación de resultados de Demanda Biológica de Oxígeno en aguas superficiales. ....	63
Tabla 31. Resultados de cada semana de estudio con la técnica de Colilert. ....	66
Tabla 32. Características Microbiológicas. ....	67
Tabla 33. Resultados NMP Promedio de 4 fechas. ....	67
Tabla 34. Grados de contaminación del agua. ....	69
Tabla 35. Clasificación del cuerpo de agua según concentración de P total. ....	70
Tabla 36. Resultados del índice de contaminación por mineralización. ....	70
Tabla 37. Resultados del índice de contaminación por pH. ....	72
Tabla 38. Resultados del índice de contaminación por sólidos suspendidos. ....	73
Tabla 39. Resultados del índice de contaminación trófico. ....	74

## **Listado de Ecuaciones**

Ecuación 1: Índice de contaminación por ICOSUS.....	24
Ecuación 2: Índice de contaminación por pH.....	25
Ecuación 3: Índice de contaminación por ICOMI .....	25
Ecuación 4: Índice de contaminación por ICOMI-Conductividad .....	25
Ecuación 5: Índice de contaminación por ICOMI-Dureza.....	26
Ecuación 6: Índice de contaminación por ICOMI-Alcalinidad.....	26

## Resumen

Las fuentes de agua superficiales están expuestas al deterioro debido a la presencia de contaminantes de origen natural y antropogénico y por ende se ha generado la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad del agua de los mismos, consecuentemente se realizó un estudio en el caño Maizaro en Villavicencio, Meta. El trabajo se desarrolló desde septiembre del 2017 a octubre del 2018 en época de transición de Temporada seca a temporada de lluvias. Este proceso se evaluó a través de la aplicación del modelo de *Ramírez et al., 1997*, denominado Índices de Contaminación del Agua (ICO's), los cuales incorporan variables fisicoquímicas (pH, temperatura, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, conductividad, alcalinidad total, dureza total, nitratos, nitritos, fosforo total, sólidos totales, sólidos sedimentables, DBO y DQO); en la parte microbiológica se evaluó presencia o ausencia de coliformes totales y *Escherichia coli* con metodología colilert.

Como primer paso, se analizaron los parámetros fisicoquímicos a través de la comparación con la Resolución 2115 del 2007 y la Resolución 0631 del 2015, así como también la aplicación de estadística descriptiva a través del software IBM SPSS. Como segundo paso, se realizó la agrupación y ejecución de los índices de contaminación, para ello se desarrollaron cuatro índices, Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS), Índice de Contaminación Trófica (ICOTRO), el Índice para el pH (ICOpH) e Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI). Se planificó un muestreo cada 15 días, con toma de 5 muestras en los cinco puntos seleccionados en las fechas señaladas durante 4 meses. Los resultados obtenidos en laboratorio se analizaron empleando la herramienta informática ICATEST V 1.0 que tiene como finalidad facilitar el diagnóstico de la calidad de agua en fuentes hídricas en Colombia.

Los valores obtenidos por los índices en cuanto a pH y a sólidos suspendidos no se reportan ningún tipo de contaminación debido a que los valores del ICOpH son menores a 0,2 para todas las fechas y los valores de ICOSUS es de 0. Para el índice de contaminación trófica presentó una característica de eutrofia y por último para el índice ICOMI se obtuvo variabilidad baja y media presentando contaminación por mineralización.

**Palabras clave:** ICO's, ICATEST, Calidad.

### Abstract

The superficial sources of water are exposed to the deterioration due to the presence of pollutants of natural origin and antropogénico and for ende there has been generated the need to quantify and evaluate the quality of the water of the same ones, consistently a study was realized in the river Maizaro in Villavicencio, Meta. The work was developed from September 2017 to October, 2018 in epoch of summer transition to winter. This process was evaluated across the application of the model of Ramirez et to., 1997, named Indexes of Pollution of the Water (ICO's), which incorporate variables physicochemical (pH, temperature, oxygen disuelto, saturation of oxygen, conductivity, total alkalinity, total hardness, nitrates, nitrites, I phosphate total, solid total, solid sedimentables, DBO and DQO); in the microbiological part presence or absence was evaluated of coliformes total and Escherichia coli with methodology colilert.

As the first step, the physicochemical parameters were analyzed across the comparison by the Resolution 2115 of 2007 and the Resolution 0631 of 2015, as well as also the application of descriptive statistics across the software IBM SPSS. As the second step, there was realized the group and execution of the indexes of pollution, developed four indexes, Index of Pollution for Solid ICOSUS, Index of Pollution Trófico (ICOTRO), the Index for the pH (ICOpH) and Index of Pollution by Mineralization (ICOMI). A sampling was planned every 15 days, with the taking of 5 samples in the five points selected in the dates indicated for 4 months. The results obtained in laboratory were analyzed using the IT tool ICATEST V 1.0 that has as purpose facilitate the diagnosis of the water quality in water sources in Colombia. The values obtained by the indexes as for pH and to solid suspended no type of pollution is brought due to the fact that the values of the ICOpH are minor to 0,2 for all the dates and ICOSUS's values is of 0. For the index of pollution trófica present a characteristic of eutrofia and finally for the index ICOMI obtuvo low variability and a half presenting pollution by mineralization.

**Keywords:**ICO's, ICATEST, Quality.

## Introducción

El agua es un recurso natural único y escaso, fundamental para el desarrollo, abastecimiento de comunidades y la vida misma (Yunes, 2017); sin embargo, en las últimas décadas con el auge de la industria, urbanización, globalización y los vertimientos incontrolados de aguas residuales a cuerpos de agua superficiales, han alterado la estructura y calidad de este (Fernández, 2012), deteriorando significativamente la vida de todos los seres vivos que dependen de ella (Yunes, 2017).

Las causas de contaminación hídrica pueden ser de origen natural o artificial; sea por constituyentes contaminantes que a través del ciclo del agua contienen sustancias orgánicas, minerales, microorganismos, etc., o por sustancias provenientes de desechos líquidos y sólidos de origen antrópico (Baptista, S.f).

En este contexto, se ha hecho imperativo realizar estudios que permitan determinar la calidad de los cuerpos de agua, empleando los Índices de Contaminación del Agua (ICOs), los cuales logran simplificar en una expresión numérica características positivas o negativas de esta (Ramírez, Restrepo, & Viña, 1997). Los ICOs, generalmente se establecen como herramienta útil y necesaria para educar a la comunidad y proveer información técnica, con base en datos científicos acerca de la calidad de un cuerpo de agua, clasificándolo en escala de: Excelente, Bueno, Aceptable y Pobre (Fernández & Solano, 2005).

La realización de este proyecto, tiene como objeto evaluar la calidad del agua del Caño Maizaro en 5 puntos seleccionados en las zonas respectivas por la facilidad de acceso, distancias similares y sitios estratégicos, esto mediante la aplicación de cuatro índices de contaminación: ICOSUS (sólidos suspendidos), ICOTRO (tráfico), ICOMI (Mineralización) e ICOPH (biótico), teniendo en cuenta la transición de temporada seca a temporada de lluvias evaluando los parámetros fisicoquímicos y microbiológico de la fuente hídrica; permitiendo establecer estrategias respecto al manejo del recurso y la recuperación de la misma.

## 1. Zona de estudio

### 1.1 Descripción del Problema

El crecimiento de la población y el desarrollo acelerado de la civilización sin control, ni planeación, ha evidenciado un alto grado de afectación y degradación en los recursos naturales colombianos, especialmente en cuerpos hídricos como ríos, caños y quebradas (García, 2014), causa del incremento del uso del agua para casi todas las actividades antrópicas (Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua, S.f ).

La alteración de la calidad del agua, se ha establecido como una problemática ambiental, social y económica. Anualmente se registran millones de muertes a causa de enfermedades transmitidas por agua con altas cargas contaminantes de microorganismos patógenos, coliformes, proliferación de vectores infecciosos, generación de malos olores, sustancias químicas, nutrientes vegetales inorgánicos; generalmente fósforo (P) y nitrógeno (N); sólidos suspendidos, material y compuestos orgánicos, principalmente en lugares de pobreza extrema y con la consecuente afectación al medio ambiente. (CBD, 2010; Binder, 2002), sin antes mencionar la proliferación de vectores infecciosos y la generaciones de malos olores (García, 2014).

Lo anterior hace evidente la ausencia de alternativas y prácticas de gestión que realicen un tratamiento oportuno a estos cuerpos de agua y eviten a su vez inundaciones y deslizamientos, provocados por asentamientos urbanos informales y la incorrecta disposición de residuos sólidos de dichas poblaciones (García, 2014).

En el Municipio de Villavicencio, Meta se encuentra la cuenca del Caño Maizaro con un área de 526,9 m<sup>2</sup> y una longitud de 12,2 Km (Ramírez & Reina, 1990; INGEOMINAS, 2001), resaltándose como uno de los cuerpos hídricos de mayor importancia en el Municipio Villavicencio, ya que atraviesa prácticamente toda la ciudad además de servir como fuente de abastecimiento de agua. El nacimiento del caño Maizaro se ubica en la vereda de El Carmen sobre la vía Bogotá por el primer túnel, en su curso entra al casco urbano rodeado en su mayoría de asentamientos urbanos formales e informales, centros educativos, moteles, centro comerciales entre otras. En las zonas medias su recorrido pasa por el puente Maizaro por Unicentro donde se

ubica el punto de muestreo 2, luego pasa por el parque de la vida Cofrem siendo este el punto 3, pasando por el CAI de Catama desde luego siendo este el punto 4 y por último el camino ganadero el cual se ubica como último punto de muestreo hasta desembocar en el Ocoa atravesando los barrios San Diego y 13 de Mayo, ver en Anexo 1 y 2. (Calderón, 2017); motivo por el cual es fuente principal de descargas de aguas negras y residuos sólidos, afectando su calidad.

Son diversas las problemáticas que se desprenden de la contaminación del Caño Maizaro: reducción del suministro de agua dulce y riesgos en la salud para las poblaciones asentadas, teniendo en cuenta que es fuente de captación y abastecimiento para la ciudad, además del impacto negativo sobre la vida acuática y la desaparición del valor estético (ONU, S.f), no obstante, las descargas de agua contaminada superan la capacidad de auto regeneración del cuerpo de agua, causando deterioro progresivo (Blanes & de la Quintana, 2010).

### **1.1.1 Formulación de la pregunta problema.**

Las posibles alternativas de tratamiento y manejo de las aguas contaminadas, depende de su composición fisicoquímica y microbiológica; siendo estas indispensables para tomar cualquier decisión y estrategia que minimice los impactos directos e indirectos que a ella se adjuntan.

Durante esta investigación, se propuso determinar el estado actual de la calidad del agua del Caño Maizaro (Villavicencio, Meta), mediante parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y la aplicación de los índices de contaminación (ICOs), teniendo presente la transición de las temporalidades y la posible incidencia del casco urbano y los asentamientos informales en las laderas del cuerpo de agua.

Respecto a lo anterior, se seleccionaron 5 puntos a lo largo del Caño, para la toma de muestras compuestas en hábitats de remansos, rápidos y vegetación de la orilla. Suponiendo una posible variación en la calidad del agua a lo largo de su recorrido, se determinaron los siguientes índices, ICOSUS (sólidos suspendidos), ICOTRO (tráfico), ICOPH (biótico) e ICOMI (Mineralización) a partir de la ejecución de los parámetros fisicoquímicos en un periodo de transición de la época de Temporada seca a temporada de lluvias en el Departamento del Meta, y se planteó la siguiente pregunta problema:

¿Cómo varían los parámetros fisicoquímicos y microbiológico del agua en los 5 puntos en el periodo de transición de latemporada seca a temporada de lluvias durante un periodo de 4 meses?

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar la calidad del agua tomando como base parámetros fisicoquímicos, microbiológico y la aplicación de índices de contaminación en el periodo de 4 meses y así realizar posibles recomendaciones para el manejo del recurso hídrico.

#### **2.1.1. Objetivos específicos.**

- Cuantificar, comparar y evaluar los parámetros fisicoquímicos y microbiológico seleccionados en 5 Puntos durante 4 meses en un periodo de transición de temporada seca a temporada de lluvias.
- Analizar los niveles de afectación de la calidad del agua a través del uso de los índices de contaminación ICOSUS, ICOTRO, ICOpH e ICOMI, así como también su relación con variables ambientales.
- Realizar propuestas de manejo del Caño Maizaro para el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico.

### 3. Justificación

En la actualidad, el recurso hídrico se encuentra netamente afectado por el crecimiento demográfico, relacionado a los vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales en cuerpos de agua superficial, el consumo masivo y las altas concentraciones de asentamientos humanos en zonas geográficamente no aptas para vivir; lo cual, ha creado limitaciones frente a su disponibilidad debido a la contaminación (Senior, S.f; Segura, 2007).

La producción mundial de aguas residuales es de aproximadamente 1,500 Km<sup>3</sup>; asumiendo que un litro de ellas contamina 8 litros de agua dulce, la carga de contaminación sería de 12,000 Km<sup>3</sup>, (UNESCO, 2003). En este sentido, los cuerpos de agua limpios y abundantes para uso público son más difícil de encontrar, pues en su mayoría todos son fuentes receptoras de vertimientos puntuales y difusos no autorizados, los cuales requieren costosos tratamientos para su posterior consumo o aplicación (Yunes, 2017; Mejía, 2005). No obstante, la falta de ordenamiento y manejo del recurso por parte de las autoridades competentes, ha hecho de este problema ambiental, un conflicto social y económico (Ramírez & Reina, 1990).

Por consiguiente la presente investigación, implica obtener datos reales y confiables mediante un estudio que dé a conocer la calidad del agua del Caño Maizaro, a través de cada parámetro fisicoquímico seleccionado con el fin de interpretarlos y determinar si cumplen o no con la normatividad vigente, conociendo que comportamiento presenta a lo largo del caño en las fechas planteadas teniendo en cuenta la transición de la temporada seca a temporada de lluvias y las causas probables de ese comportamiento, adicionalmente el uso de estos parámetros fisicoquímicos permiten el cálculo de los ICOs, los cuales facilita cuantificar el grado de contaminación de las aguas respecto a su condición general permitiendo identificar el grado de alteración del recurso y de este modo, proponer medidas correctivas y preventivas que, articulados con las autoridades ambientales de la región cumplan con la normatividad ambiental legal vigente para Colombia, estableciendo posibles soluciones al problema de contaminación del Caño, además de mejorar la calidad de vida de las comunidades que se abastecen de este.

## 4. Alcance

### 4.1. Delimitación espacio-temporal

El área de estudio se encuentra ubicada geográficamente entre los 4° 4' 30'' de latitud norte y los 73° 30' 74'' y 73° 30' de longitud oeste del Meridiano de Greenwich. Políticamente pertenece al Municipio de Villavicencio Departamento del Meta, lugar donde se ubica el Caño Maizaro (Ver Figura 1), el cual posee una longitud de 14,2 km (Ramirez & Reina, 1990). Zona donde se desarrolló los procedimientos para determinación de la calidad del agua, esto a partir de una evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en un periodo de 4 meses (marzo a junio) y con esto el cálculo de los ICO's, desde su nacimiento en la parte alta de la vereda del Carmen sobre la vía Bogotá,. Desde este punto el cuerpo hídrico recorre el casco urbano pasando por las comunas 2, 3, 4, 5 y 6 principalmente sobre los barrios y zonas como la Azotea, cancha de baloncesto Villacodem, CAI del barzal, Hospital Servimédicos, Palo Santo, 7 de Agosto, IPS llanos orientales, Multifamiliares el Barzal, Llanogas sede Administrativa, Notaria 4, Cootransmeta, Alkosto, C.C. Unicentro, CAI Maizaro, iglesia de Dios Ministerial de Jesucristo Internacional, motel Zeus, Carcel, Colegio Abraham Lincoln, Colegio Peniel, Colegio Cofrem, barrio Simón Bolívar, condominio Santa Lucía, Popular, parque Cedritos, centro de salud del Recreo, la morgue, CAI de Catama, parque Santa Catalina IV, barrio San Carlos, el Rodeo, Hacienda Llano Alto, Hotel Campanario, Camino ganadero, San Antonio, Reliquia, Liceo Mayor de Villavicencio, Hotel Alcaraban y por último el Colegio Rodolfo Llina hasta su desembocadura en el río Ocoa pasando el barrio San diego y 13 de Mayo (Tomado de Google Maps y Google Earth) Para observar espacialmente algunas de las zonas mencionadas ver Anexo 1 y 2.



## 5. Antecedentes

El constante deterioro de las fuentes de abastecimiento de agua, representa más que un problema ambiental y sanitario, por ello, se ha hecho imperativo instaurar acciones y proponer tratamientos que reduzcan los efectos que se desprenden de esta problemática; la evaluación de la calidad del agua ha sido primordial para desarrollar este tipo de medidas reductoras de contaminación en los cuerpos hídricos (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

En un ámbito internacional, algunos autores han aplicado diferentes metodologías para evaluar el estado de las fuentes hídricas, identificando los principales focos de contaminación y la calidad de la misma.

Por ejemplo, en la frontera de México-Estados Unidos, se desarrolló un estudio que evaluó la calidad del agua del río Hardy, determinando las concentraciones de *Escherichiacolic* como indicador respuesta y parámetros *in-situ* como pH, oxígeno disuelto y temperatura, en quince puntos de muestreo ubicados estratégicamente en fuentes puntuales de descarga de aguas de procedencia doméstica, agrícola y recreativas. Con un análisis de varianza (ANOVA) se analizaron los datos obtenidos, la cual permitió establecer altas concentraciones de *E. coli* en los puntos de muestreo de aguas agrícolas y clasificar la calidad de este cuerpo hídrico como crítica (Romero, *et al.* 2010).

En la mayoría de países de América, los métodos más utilizados para determinar la calidad del agua de sus cuerpos hídricos, han sido los índices de calidad de la Organización para la Salud y Seguridad Pública (NSFWQI).

Soodeet *al* (2011), Coello *et al.* (2013) implementaron el NSFWQI para determinar la calidad del agua de los ríos en Ecuador, evaluando parámetros como pH, turbidez, temperatura, demanda biológica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), nitratos, fosfatos y coliformes, en diferentes puntos de muestreo teniendo en cuenta épocas secas y de lluvia; concluyendo finalmente que para el caso de Irán la calidad del agua del cuerpo en estudio se encontraba altamente contaminada principalmente por efluentes de la acuicultura en la mayoría de los puntos de muestreo; en Ecuador todos los cuerpos hídricos presentaron buena calidad, resaltando la variación de los parámetros en temporadas de menos precipitación .

La Laguna de Yuriria en Guanajuato, México (2013) fue sometida a un estudio de evaluación referente a la calidad del agua a través de técnicas multivariadas aplicando los índices de calidad

del agua (ICAs) y el análisis de discriminantes (AD), respecto a las características físicas y químicas correspondientes al 2005 (I) y 2009-2010 (II). Se midieron 21 parámetros físico-químicos, los cuales posterior a la aplicación de ICAs y AD, demostró que la laguna presentaba un alto grado de eutrofización con grandes aportes de material orgánico y fecal, además de variaciones temporales en la calidad de esta, estableciendo que durante el periodo II de sequía extrema incrementaron los niveles de nutrientes y sólidos suspendidos y a su vez, tampoco registró un nivel de recuperación en términos de calidad, basados en la temporalidad del estudio.

Para un contexto nacional, a partir de 1997, Ramírez *et al.* abordaron el estudio de ICAs, identificando el grado de contaminación de las principales fuentes hídricas en Colombia mediante un conjunto de índices denominado ICOs (índices de contaminación), resaltando esta metodología superior respecto a las aplicadas en otras partes del mundo, que involucran en un solo parámetro numerosas variables que acarrearán diversos problemas en su interpretación; por ello, a continuación se presentan diferentes investigaciones y estudios realizados con la aplicación de los ICOs.

En el Municipio de Socorro, Santander; Torres (2008), llevó a cabo un estudio donde diagnosticó la calidad del agua de la microcuenca Sancotea (principal fuente de abastecimiento del acueducto de la ciudad), mediante la aplicación de índices de contaminación (ICO) por mineralización (ICOMI), sólidos suspendidos (ICOSUS), materia orgánica (ICOMO), pH (ICOPH) y factores bióticos (ICOBIO); para ello, realizó un monitoreo de variables bióticas, abióticas y fisicoquímicas, encontrando que la parte alta y media de la cuenca estaban altamente y muy contaminadas por coliformes totales, DBO<sub>5</sub> y oxígeno disuelto, este último en altas concentraciones, limitando la capacidad de asimilación de los cuerpos de agua, además de la predominancia de macroinvertebrados en la zona, que indicaron concentraciones de carga orgánica y valores de DBO<sub>5</sub> y DQO altos. Finalmente, el autor relacionó los resultados obtenidos a la intervención antrópica por descarga de aguas negras directas, procedentes de pozos sépticos y actividades agrícolas en su mayoría, logrando evidenciar un proceso de autoregeneración con el transcurso de las épocas de lluvia y sequía.

Por otro lado, Valverde *et al.* (2015), aplicaron los ICOMI, ICOMO e ICOSUS en los cuerpos de agua superficiales de Bahía Solano, Choco, utilizando el protocolo de monitoreo propuesto por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Los resultados obtenidos, arrojaron indiscutiblemente la notable intromisión humana y su fuerte incidencia de contaminación, al parecer por descargas inmensurables de hidrocarburos, vertimientos domésticos

y la presencia de residuos sólidos. En última instancia, los investigadores reconocieron la necesidad de promover estrategias y métodos que logren contrarrestar la contaminación a estos cuerpos de agua, resaltando a su vez la importancia del recurso para el desarrollo vital, especialmente de los ecosistemas estratégicos y destacando los ICOs como una metodología bastante útil que permitió identificar fuentes altamente contaminadas a las cuales se les debe restringir su uso.

En Bogotá, Chavarro & Gélvez (2016), presentaron los resultados obtenidos del estudio de los ICO en la quebrada Fucha, teniendo en cuenta las épocas del año 2015 durante seis muestreos en tres puntos diferentes de la quebrada y los diferentes usos del suelo. Los autores calcularon ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO (tráfico) y analizaron los resultados obtenidos a través de un análisis multivariado que incluyó los niveles de precipitación, como variable regresora, y una ANOVA. A lo largo de todos los puntos de muestreo, se logró determinar contaminación por ICOSUS de media a alta y de ICOMO media, determinando a su vez condiciones eutróficas en la quebrada debido a altas concentraciones de ICOTRO relacionadas a los niveles de precipitación con una correlación del 64% y bajos niveles de ICOMI; por otro lado, determinaron que los usos del suelo no influían en los ICOs, ya que el 78% de la cuenca presentaba la misma cobertura de pastos y cultivos, sin embargo, los contenidos de DBO<sub>5</sub> y DQO demostraron procedencia de aguas servidas por la actividad agrícola como fertilizantes y plaguicidas.

En lo que respecta al objeto de este estudio, el caño Maizaro, se ha establecido a lo largo de los años como fuente hídrica primordial para el abastecimiento de acueductos comunales y conjuntos residenciales en el Municipio de Villavicencio, dado su largo recorrido por el perímetro urbano de la ciudad; varios estudios lograron establecer que este cuerpo hídrico actúa como receptor de aguas residuales domésticas de al menos 72 barrios, sufriendo el influjo de asentamientos informales en áreas de reserva forestal o rondas hídricas, acciones que han primado en la modificación y contaminación del caño, reduciendo su capacidad de autodepuración (García, 2014; Guarín & Herrera, 2018) e incrementan las amenazas por inundaciones y deslizamientos en temporadas de alta pluviosidad por dichos asentamientos, debido la presencia de residuos sólidos que obstruyen el flujo del cauce y el alcantarillado por acumulación (Aguilera, Quintero, & Rojas, 2017).

## 6. Marco referencial

### 6.1. Marco teórico

El desarrollo de los índices de contaminación (ICOs) como parte de una metodología que evaluara la calidad de una fuente hídrica, data en Colombia desde 1997. Fundamentados en estudios limnológicos, se llevó a cabo la formulación de estos por parte de la industria petrolera del país, en donde intervino la línea base del Oleoducto de Colombia por parte de Ecopetrol (1993), el monitoreo del campo Cusiana-Cupiagua, del Bloque Piedemonte, del corredor del oleoducto El Porvenir-Vasconia y del Oleoducto Cusiana -Coveñas (1998) por BP Exploration, Ocesa y Ecotest(Ramírez *et al.*, 1997).

Durante la formulación de los ICOs, los autores Ramírez *et al.* intervinieron en diferentes estaciones de sistemas lenticos sobre varios cuerpos loticos, comprendiendo épocas de monitoreo y variables fisicoquímicas y microbiológicas, mediante un Análisis de Componentes Principales (ACP). El desarrollo de éstos índices, permiten la evaluación del nivel de contaminación del agua en relación a un grupo de variable que denotan su condición ambiental (Torres *et al.*, 2009).

Samboni *et al.* (2011) cita a Fernández & Solano (2005), los cuales establecen éstos como una herramienta que consiste en una expresión matemática simple entre 0 y 100 y de 0 a 1, clasificando en diferentes rangos una descripción cualitativa de la calidad del agua.

Fernández *et al.* afirma que es un error comparar el valor de las variables de calidad del agua de cuerpos naturales con los estandares de calidad de agua potable y es por ello que no sirvieron como referencia para la formulación de los ICOs. Por otro lado, establecieron que conjugan las propiedades fundamentales del agua y por ello, son variables que se determinan en cualquier estudio ambiental.

La calificación de la calidad del agua según los resultados arrojados de los índices de contaminación se establece en la Tabla 1 según corresponde.

Tabla 1.

*Significancia de los índices de Contaminación ICOs*

ICO	Grado de contaminación	Escala de color
0 - 0,2	Ninguna	
> 0,2 - 0,4	Baja	
> 0,4 - 0,6	Media	
> 0,6 - 0,8	Alta	
> 0,8 - 1	Muy Alta	

*Nota:* Clasificación de la calidad del agua según su grado de contaminación, por Ramírez *et al.*, 1999.

En la actualidad existen nueve (9) ICOs; a continuación, se relacionan cuatro (4) de ellos, los cuales fueron fundamentales para esta investigación.

### 6.1.1. Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS).

El ICOSUS, se entiende como la concentración de sólidos suspendidos que puede presentar un cuerpo de agua, destacando los niveles de sólidos de alta densidad (González, 2017). La ecuación 1 presenta su fórmula para la determinación del Índice de contaminación por ICOSUS.

$$ICOSUS = -0,02 + 0,0003 \text{ Sólidos suspendidos } \left(\frac{mg}{L}\right)$$

(Ecuación 1) (Ramírez *et al.*, 1999)

Sólidos suspendidos > 340 mg/ L = 1

Sólidos suspendidos < 10 mg/ L = 0

### 6.1.2. Índice de contaminación trófico (ICOTRO).

Este índice, integra la concentración de fósforo total y de nitrógeno, ya que en excesos afectan la calidad de vida acuática. Ramírez *et al.* (1999), estableció que este índice se calcula teniendo como base la concentración de fósforo (P) total en mg / L.

Oligotrofia: < 0,01

Mesotrofia: 0,01 – 0,02

Eutrofia: 0,01-1,00

Hipereutrofia: > 1,00

### 6.1.3. Índice de contaminación por pH (ICOPH).

La determinación del ICOPH, se puede evidenciar en la ecuación 2. La formulación de este índice partió del programa de monitoreo sobre el Bloque Piedemonte en el Casanare, asignando valores de contaminación entre 0 y 1 a escala de pH (Ramírez, *et al.* 1999)

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

(Ecuación 2) (Ramírez *et al.* 1999)

### 6.1.4. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI).

Se expresa en numerosas variables, de las cuales se eligieron: conductividad como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, dureza por cuanto recoge los cationes calcio y magnesio, y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonato y bicarbonatos. Ramírez *et al.* (1997).

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

(Ecuación 3) (Ramírez *et al.* 1997)

Donde:

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

$$I_{Conductividad} = 10^{\text{Log} \cdot I_{Conductividad}}$$

$I_{Conductividad}$  = Índice de contaminación por ICOMI-Conductividad

(Ecuación 4) (Ramírez *et al.* 1997)

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

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

$$I_{Dureza} = 10^{\text{Log} \cdot I_{Dureza}}$$

$I_{Dureza}$  =Índice de contaminación por ICOMI-Dureza

(Ecuación 5) (Ramírez *et al.* 1997)

Durezas mayores a 110 mg/L tienen un índice= 1

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

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

$I_{Alcalinidad}$  =Índice de contaminación por ICOMI-Alcalinidad

(Ecuación 6) (Ramírez *et al.* 1997)

Alcalinidades mayores a 250 mg/L tienen un índice de 1

Alcalinidades menores a 50 mg/L tienen un índice de 0

### 6.1.5. Microbiológico.

En la determinación de esta sección esta dada a partir de la derteminación de la presencia y ausencia de Coliformes totales y fecales, como también microorganismos como *Escherichia colievaluada* en la metodología colilert (Ver en Anexo 14) apoyada en NMP de 4 fechas de estudio.

### 6.2.Marco legal

La normatividad colombiana legal vigente, que se tuvo en cuenta para esta investigación referente al ICO del caño Maizaro, se plantea a continuación en la Tabla 2, constituyendo Decretos, Leyes y Resoluciones que establecen los límites admisibles de vertimientos, protección, conservación de los cuerpos de agua superficial y dictan otras medidas de control en relación a los cuerpos hídricos.

Tabla 2.

*Normatividad legal vigente para Colombia.*

<b>Año</b>	<b>Norma</b>	<b>Aplicación</b>
1991	Constitución política de Colombia	<p>Art. 8. Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la nación.</p> <p>Art 49. Le corresponde al Estado organizar, dirigir y reglamentar la prestación de los servicios de salud y saneamiento ambiental.</p> <p>Art 79: Es deber del estado proteger y conservar las áreas de especial importancia ecológica</p> <p>Art 80. El estado deberá prevenir y controlar factores de deterioro ambiental</p> <p>Art 95. Es deber de los ciudadanos cuidar y proteger los recursos naturales del país y velar por un medio ambiente sano.</p>
1974	Decreto 2811	<p>Art 80. Sin perjuicio de los derechos privados adquiridos con arreglo a la ley, las aguas son de dominio público y son inalienable e imprescriptible, es decir que no puede venderse o cederse de manera legal y que el dominio no se puede pasar o transmitirse de un individuo a otro respectivamente</p> <p>Art 134. El estado deberá promover y fomentar la investigación y análisis de las aguas interiores, con el fin de garantizar la calidad del agua para consumo humano y demás usos.</p> <p>Art 138. Se establecerán zonas de prohibición de descargas de aguas negras, residuales, domesticas, industriales, urbanas o rurales sin tratamiento previo, que sobrepasen las concentraciones admisibles en aguas superficiales.</p>
1978	Decreto 1541	Art 211. Se prohíbe verter residuos sólidos, líquidos o gaseosos que puedan alterar la calidad del agua, causar daño o poner en riesgo la salud huma o el desarrollo de la biota.
1984	Decreto 1594	<p>Art 37 a 50. Criterios de calidad del agua</p> <p>Art 71 a 97. Normas de vertimientos, para control de la contaminación del agua. Art 155. Procedimiento para toma y análisis de muestras.</p>

Tabla 2. (Continuación)

1998	Decreto 475	<p>Normas técnicas de calidad del agua potable</p> <p>Art 4. Las personas que prestan el servicio público de acueducto, son responsables del cumplimiento de las normas de calidad del agua potable garantizándola durante toda época del año en cualquier punto de captación.</p>
2003	Decreto 3100	<p>Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.</p>
2007	Decreto 1321	<p>Por el cual se crea el sistema de Información del Recurso Hídrico “SIRH”.</p>
2007	Decreto 1575	<p>Por el cual se establece el Sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano.</p>
2010	Decreto 3930	<p>Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.</p>
2015	Decreto 1076	<p>Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible y promueve el reúso de las aguas residuales, mediante el aprovechamiento de las aguas, para la conservación y protección de los recursos naturales.</p>
1979	Ley 9	<p>Por la cual se dictan medidas sanitarias.</p> <p>Art 1. Para la protección del medio ambiente, se establecen normas generales y procedimientos necesarios que se adoptara para la regulación, legalización y control de las descargas de residuos y materiales que puedan afectar en la salud humana y las condiciones sanitarias del ambiente.</p> <p>Art 3. Se tendrá control sanitario de los usos del agua procedentes de consumo humano, doméstico, preservación de fauna y flora, agrícola y pecuario, recreativo, industrial y transporte.</p>

Tabla 2. (Continuación)

1986	Ley 79	Por la cual se provee a la conservación del agua y se dictan otras disposiciones.
1993	Ley 99	Ordenamiento ambiental del territorio y la protección prioritaria de la biodiversidad del país y del recurso hídrico, el derecho de los seres humanos a una vida saludable y productiva de conformidad con la naturaleza, además de las pautas ambientales para el ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas. Autoridades ambientales competentes y licencias ambientales.
2007	Resolución 2115	Características físico-químicas y microbiológicas a tener en cuenta para que el recurso hídrico pueda ser apto al consumo humano. Art 5. Características químicas de sustancias que tienen efecto adverso en la salud humana.
2015	Resolución 0631	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. Tiene por objeto reducir y controlar la descarga de sustancias que contaminen los cuerpos de aguas superficiales o del alcantarillado, estableciendo límites máximos permisibles de 56 parámetros.

*Nota:* Normatividad referente al ICO del caño Maizaro Decretos, Leyes y Resoluciones que establecen los límites admisibles de vertimientos, protección, conservación de los cuerpos de agua superficial, Organización Jerárquica según pirámide de Kelsen, por Hernandez F., Paez P., 2018.

## 7. Metodología

Acontinuación el desarrollo de las fases planteadas y desarrolladas en el trancurso del proyecto:

### 7.1. Fase I: Diagnóstico y establecimiento de directrices de desarrollo

Esta fase se realizó en el periodo de septiembre a octubre del 2017, con el fin de conocer la zona de estudio, accesibilidad, puntos críticos, identificación de zonas aledañas y factores determinantes e influyentes en el comportamiento del caño Maizaro desde su nacimiento a su desembocadura. La actividad se realizó en las las fechas y puntos de muestreo presentados en las Tablas 3 y 4, así como en la Figura 2.

Tabla 3.

*Fechas de muestreos en campo y ejecución en laboratorio.*

Fechas de Muestreo	Número de Muestreo
08-Mar-18	1
22-Mar-18	2
05-Abr-18	3
19-Abr-18	4
03-May-18	5
10-May-18	6
31-May-18	7
14-Jun-18	8
21-Jun-18	9

*Nota:* Número de muestreos realizados y fechas de ejecución, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Tabla 4.

*Ubicación de cada punto seleccionado.*

Punto	Ubicación	Coordenadas
1	Primer túnel Vereda del Carmen – Vía Bogotá	4° 8'31.29"N 73°39'37.71"O

Tabla 4. (Continuación)

2	Puente Maizaro – Unicentro	4° 8'34.74"N 73°38'9.20"O
3	Parque de la vida COFREM	4° 8'37.70"N 73°37'14.50"O
4	CAI Catama	4° 8'27.00"N 73°36'7.21"O
5	Camino ganadero – Hotel Campanario	4° 7'48.30"N 73°33'59.79"O

*Nota:* Coordenadas de cada uno de los puntos seleccionados para el muestreo, por Hernandez F., Paez P., 2018.

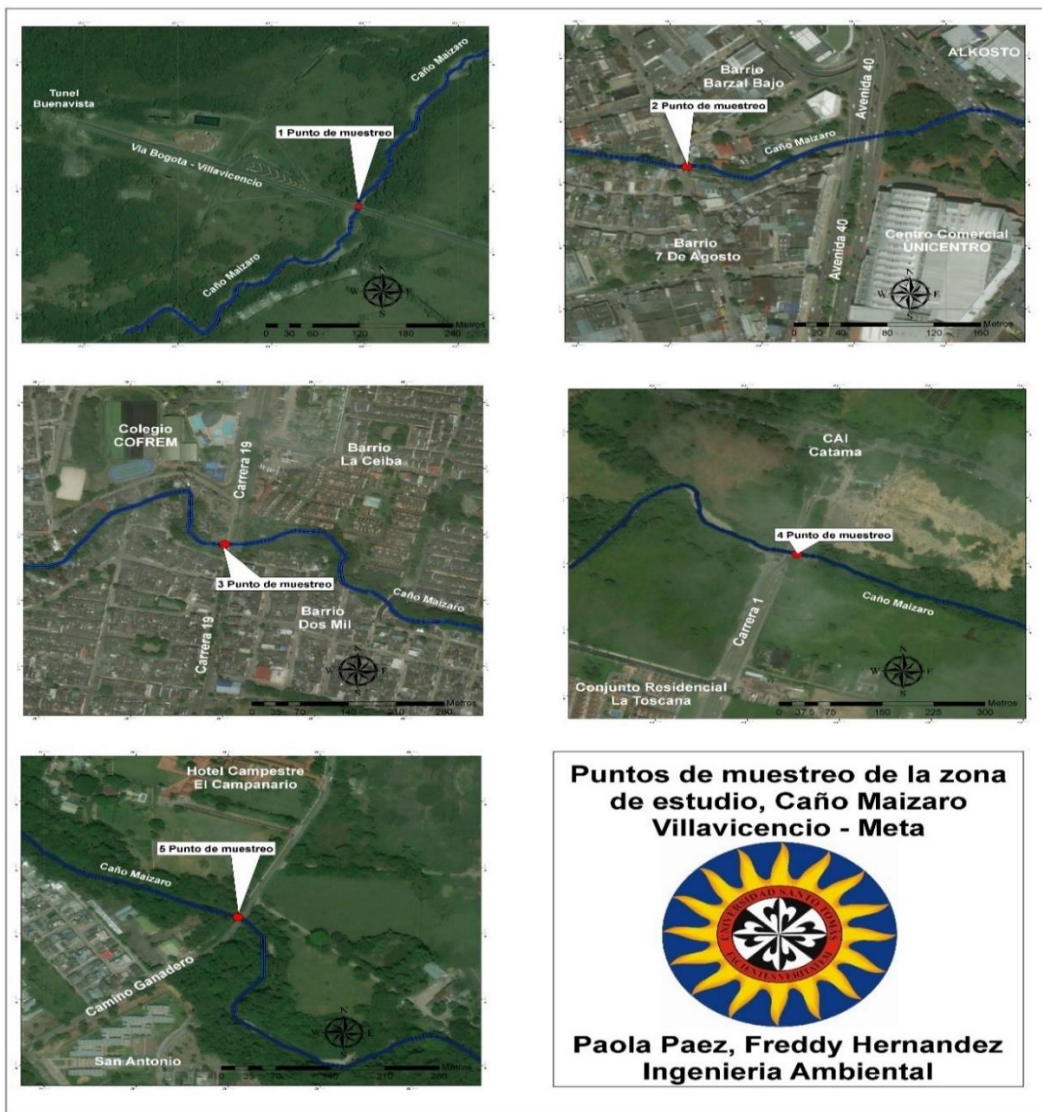


Figura 2. Ubicación y zonas aledañas del Caño Maizaro, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Adicionalmente, en este tiempo se establecieron los parámetros de estudio a ser medidos *in Situ*, los cuales fueron: pH, Oxígeno Disuelto, Conductividad, Saturación de Oxígeno, Temperatura; y los analizados: Parámetros Fisicoquímicos: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Biológica de Oxígeno, Sólidos Totales, Sólidos Sedimentables, Dureza, Fosfatos, Alcalinidad, Nitritos, Nitratos; y en la parte Microbiológica: Coliformes Totales, *Escherichia coli*.

## 7.2.Fase II: Método de recolección de muestra

El caño Maizaro tiene una longitud de 14,2 Km, de los cuales se seleccionaron 5 puntos representativos a lo largo del cuerpo hídrico. En cada punto se tomaron 3 submuestras de los diferentes hábitats Remanso, Rápidos y Vegetación de la orilla. (Ver Figura 3).

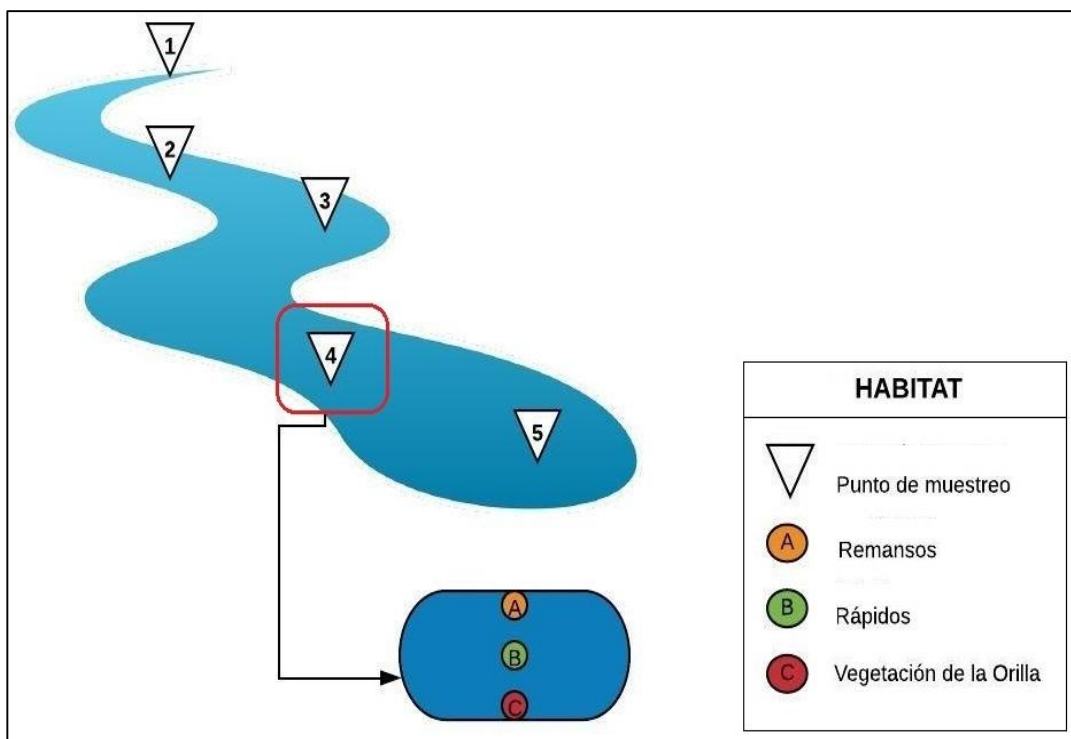


Figura 3. Método de recolección de muestra en diagrama en bloque para cada Punto de Muestreo, elaborado a partir del software libre *Lucychart*, por Hernandez F., Paez P., 2018.

### **7.3. Fase III: Frecuencia de muestreo, selección y ejecución de ICO's y relación de Variables**

Partiendo de las fechas presentadas en la Tabla 3, se realizó un muestreo cada 15 días. Para cada muestreo se procedió de la siguiente manera: se tomaron 5 muestras en los cinco sitios seleccionados en las fechas señaladas durante 4 meses a partir del mes de marzo del 2018 hasta junio del 2018, resultando un tamaño total de 45 muestras. Adicionalmente se seleccionó y se calcularon los índices de contaminación del agua seleccionados con los parámetros medidos *in Situ* y *ex Situ*: Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS), Índice de Contaminación Trófico (ICOTRO), el Índice para el pH (ICOpH) e Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI).

### **7.4. Fase IV: Manejo y recolección de las muestras en puntos seleccionados tanto los In situ y Ex situ**

La recolección de muestras siguió los lineamientos de las Normas Técnicas Colombianas – ISO referentes a calidad de agua, las cuales garantizaron que la recolección de muestras se hiciera de manera correcta en la toma, preservación y transporte de las muestras en los puntos respectivos. Se destaca la Norma NTC-ISO 5667-2, la cual es guía general de técnicas de muestreo, tipos de muestreos y muestras etc., por otro lado, está la NTC5667-3: “Guía General para la Conservación y Manejo de Muestras”, la cual define el tratamiento de preservación de las muestras a estudiar, evitando la contaminación de la misma ya que los resultados no serían verídicos, por ello es necesario tener precaución a este paso fundamental en un proceso de estudio de calidad de agua. Adicionalmente se utilizó el documento de control de calidad del agua: “Métodos de análisis para evaluación de calidad de agua”(Guevara, 1996), que permitió conocer definiciones, métodos, manejo de muestras, etc.

### 7.5. Fase V: Determinación de métodos y ejecución de los Parámetros Físicoquímicos y Microbiológicos

Para realizar la determinación de cada uno de los parámetros físicoquímicos en el laboratorio, se usaron varios métodos; los métodos estuvieron en gran parte basados en las directrices del IDEAM, Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (Título original: «Standard Methods» For the Examination of Water and Wastewater. 17 Edition) y Métodos analíticos para la evaluación de la calidad físicoquímica del agua de la Universidad Nacional (Ver Tabla 5).

Tabla 5.

*Parámetros y métodos de muestreo usados en el laboratorio.*

Parámetros	Procedimiento (Referencia)
Alcalinidad Total	Método titulométrico- Métodos analíticos para la evaluación de la calidad físicoquímica del agua Universidad Nacional e IDEAM. (Anexo 5)
Dureza Total	Dureza total en agua con EDTA por volumetría - IDEAM (Anexo 6)
Nitratos	Determinación de nitrato en agua por espectrofotometría - IDEAM / Guía de Reactivo Nitrate HR2 (Laboratorios USTA) Director de tesis. (Anexo 7)
Nitritos	Método experimental por método de colorimetría- Guía Reactivo Nitri 10. (Anexo 8)
Fosforo Total	Método experimental por método de espectrofotometría – Guía Phosphate RGT F10 Laboratorios USTA. (Anexo 9)
Sólidos Totales	ST secados a 95°C - Métodos Normalizados para análisis de agua. (Anexo 10)
Sólidos sedimentables	SS - Métodos Normalizados para análisis de agua. (Anexo 11)
DQO	Demanda Química de Oxígeno, Método espectrofotométrico (Anexo 12)
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días: Método experimental IDEAM por Incubación y Electrometría. (Anexo 13)
Coliformes	Método de Colilert y NMP Anexo 14

*Nota:* Procedimientos realizados para cada uno de los parámetros evaluados, por Hernandez F., Paez P., 2018.

## 7.6. Fase VI: Resultados y Análisis de Resultados

Con la toma de los datos en el transcurso de los meses estudiados, se realizó un análisis respectivo de los parámetros medidos y evaluados en campo (A partir del equipo Multiparametro WTW 3620 IDS) y en el laboratorio (Métodos específicos) en el periodo estipulado para determinar las variaciones que se presentó a lo largo del caño Maizaro y la comparación con valores permisibles según la normatividad colombiana, como también una aplicación de estadística descriptiva básica mediante software IBM SPSS Statistics de la Universidad Santo Tomás.

Los resultados obtenidos de los parámetros evaluados, tienen como objeto principal el cálculo de los índices de contaminación, los cuales dan un resultado del estado del caño a partir del Software libre ICA Test V 1.0

A continuación, los datos *in Situ* *ex Situ* procesados.

### 7.6.1. Concentración de iones de hidrógeno (pH).

El potencial de hidrógeno (pH) en el agua es una medida que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, medido a partir de una escala de 0 a 14, siendo el 7 neutro, por debajo de este, ácido y por encima básico (Caicedo, 2011) ver en Figura 4. Si se tiene en cuenta los valores obtenidos en campo como se observa en Figura 5, los valores oscilan entre 6,20 a 8,53, lo que indica que estos resultados en todos los puntos de muestreo se encuentran en el rango básico y que si se comparan a los valores recomendados por la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social, los cuales están entre 6,00 a 9,00, los valores de pH del agua para el caño Maizaro se encuentran dentro del cumplimiento normativo, es decir son aptas para consumo humano referenciado sólo con este parámetro. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 4 y 9, debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos (Mejía, 2005; Trujillo et al., 2008).



Figura 4. Escala de pH, por Mejía, 2005.

Un pH bajo también puede permitir a los elementos tóxicos y compuestos ser más móviles y disponibles para ser tomados por los organismos y plantas acuáticas. Esto puede producir condiciones que son tóxicas para la vida acuática, particularmente para las especies sensibles (Yan *et al.*, 2007; Minaverri, 2014). En este caso el comportamiento es distinto ya que presentan las condiciones adecuadas para los procesos biológicos que se puede llevar a cabo por los organismos acuáticos presentes en el recurso hídrico analizado.

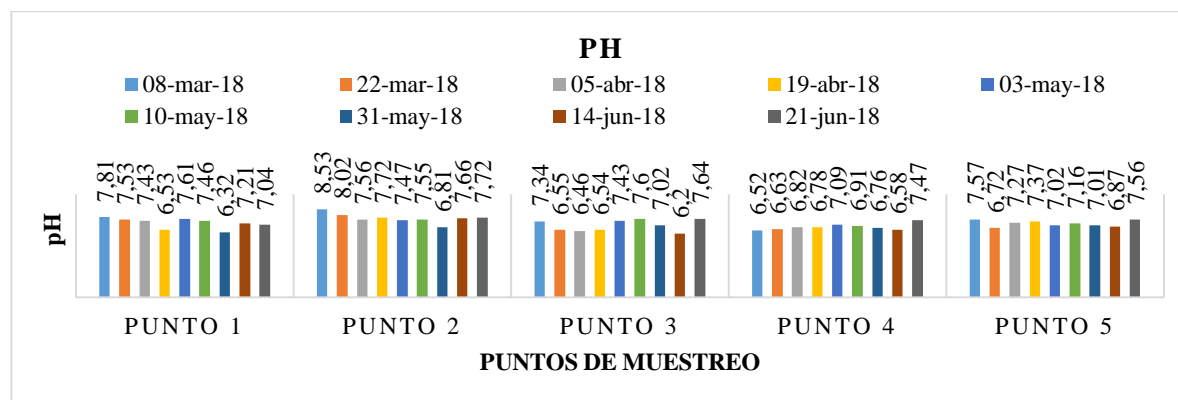


Figura 5. Resultados del comportamiento del PH en los 5 puntos durante el periodo de estudio, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Los procesamiento de los datos de pH para la parte estadística se realizó a partir del software IBM SPSS Statistics(Ver Tabla 6). Estos datos indican que la variabilidad del pH durante el periodo de estudio es baja, como lo indica la desviación estandar. La mediana del pH se encuentra dentro de los limites permisibles.

Tabla 6.

Resultados estadística descriptiva básica de pH.

	Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5
Media	7,21	7,67	6,97	6,84	7,17
Mediana	7,43	7,66	7,02	6,78	7,16
Desv.	0,502	0,457	0,548	0,293	0,296
Varianza	0,252	0,209	0,301	0,086	0,088
Mínimo	6,32	6,81	6,20	6,52	6,72
Máximo	7,81	8,53	7,64	7,47	7,57

Nota: Valores estadísticos obtenidos en cada uno de los puntos analizados para el parámetro pH, por Hernandez F., Paez P., 2018.

### 7.6.2. Conductividad.

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. El agua pura prácticamente no conduce electricidad. La conductividad en las aguas naturales se puede correlacionar con la cantidad de sólidos disueltos, ya que estos son en su mayoría compuestos iónicos de calcio y magnesio (sales), por lo tanto, la conductividad que se puede medir será consecuencia de las impurezas presentes en el agua (Petro & Wees, 2014).

Los datos registrados en campo del parámetro de conductividad del agua del caño Maizaro se visualizan en la Figura 6. Se observa que la variación es de 45 a 273  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , al comparar estos resultados con la normativa, el valor máximo aceptable para la conductividad del agua para consumo humano puede ser hasta 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  según la resolución 2115 del 2007, por lo que con respecto a este parámetro, se encuentra dentro del rango permisible.

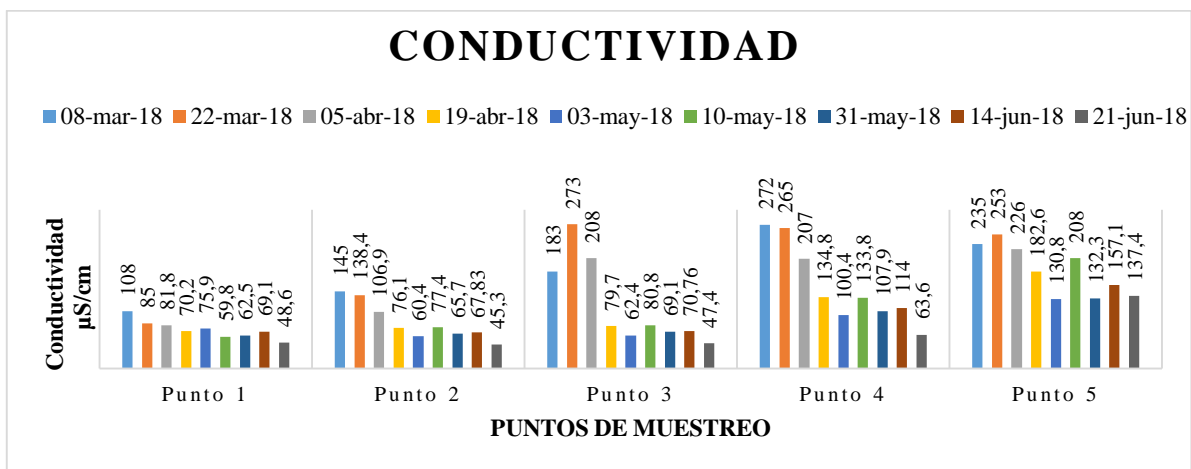


Figura 6. Resultados del comportamiento de la Conductividad en el periodo de estudio, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que altos niveles de salinidad asociada con la conductividad puede causar daños a plantas y a la calidad de los suelos.

Los resultados del cálculo estadístico se presentan en la Tabla 6. En este caso se observa que la varianza presenta valores considerables en los distintos puntos de muestreo, lo que indica cambios apreciables de este parámetro a lo largo del cauce.

Tabla 6.

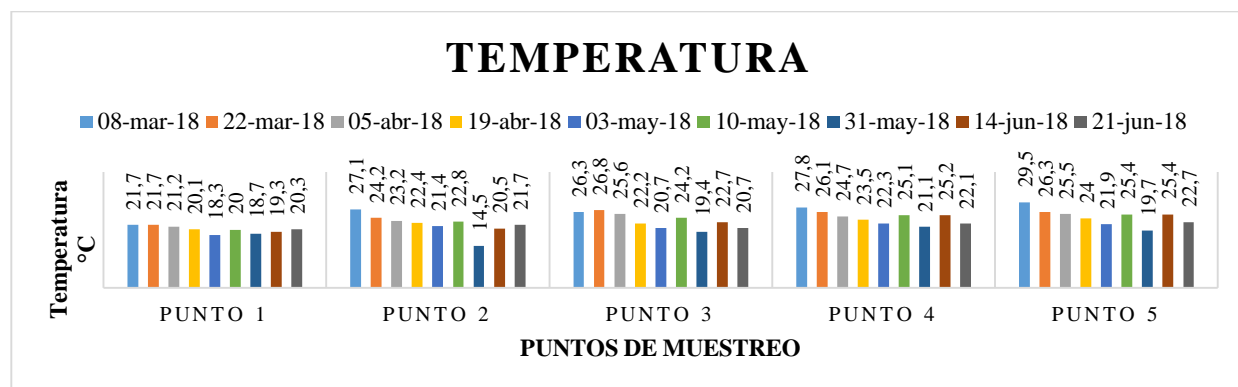
*Resultados estadística descriptiva básica de Conductividad.*

	Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5
Media	73,433	87,003	119,351	155,388	184,6889
Mediana	70,200	76,100	79,700	133,800	182,600
Desv.	17,1612	35,143	80,531	74,652	47,563
Varianza	294,508	1235,071	6485,356	5572,956	2262,249
Mínimo	48,60	45,30	47,40	63,60	130,80
Máximo	108,00	145,00	273,00	272,00	253,00

*Nota:* Valores estadísticos obtenidos en cada uno de los puntos analizados para el parámetro conductividad, por Hernandez F., Paez P., 2018.

### 7.6.3. Temperatura.

La temperatura es de gran importancia, ya que influye los procesos que se realizan en un ecosistema acuático. A continuación, en la Figura 7 se presenta el comportamiento de la temperatura en las fechas monitoreadas para cada punto. Se destaca, que el primer punto, donde nace el caño Maizaro, al encontrarse en la cota más alta del río, en contacto con la vegetación de piedemonte llanero, presenta una temperatura regulada similar a la de zonas frías. Al adentrarse el río en el casco urbano (Puntos 2 al 5), se presentan zonas abiertas con asentamientos informales y formales, centro comerciales, lo cual influye en el comportamiento de este parametro, ya sea con vertimientos, exposición al sol de manera directa en el agua y la turbidez desarrollada.



*Figura 7.* Resultados del comportamiento de la Temperatura en los 5 puntos durante el periodo de estudio, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Durante el periodo de estudio que duró 4 meses, ocurrió la transición de Temporada seca a temporada de lluvias que influenció en el comportamiento de la temperatura, por consiguiente se presentaron variaciones debido a los cambios bruscos que se presentaron en este tiempo. En la tabla 7, se observan los resultados estadísticos sobre la temperatura como parámetro *In situ*. La varianza indica que la mayor variación se presentó en los puntos del río dentro del caso urbano, mientras que en el nacimiento del río la desviación estándar y varianza fue muy similar, es decir se observó un valor casi constante.

Tabla 7.

*Resultados estadística descriptiva básica de Temperatura.*

	Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5
Media	20,144	21,977	23,177	24,211	24,488
Mediana	20,100	22,400	22,700	24,700	25,400
Desv.	1,23502	3,3918	2,6813	2,1432	2,8317
Varianza	1,525	11,504	7,189	4,594	8,019
Mínimo	18,30	14,50	19,40	21,10	19,70
Máximo	21,70	27,10	26,80	27,80	29,50

*Nota:* Valores estadísticos obtenidos en cada uno de los puntos analizados para el parámetro temperatura, por Hernandez F., Paez P., 2018.

#### 7.6.4. Oxígeno Disuelto.

El oxígeno disuelto (OD) es uno de los parámetros más relevantes a la hora de evaluar la calidad del agua, es vital para que existan organismos acuáticos.

El oxígeno gaseoso se disuelve en el agua por diversos procesos ya sea por aeración (Atmósfera) el movimiento del agua, golpes y agitación sobre rocas, lluvias y la fotosíntesis. Uno de los factores que influyen y son determinantes es la temperatura, flujo de la corriente, presión del aire, plantas acuáticas, materia orgánica en descomposición y actividad humana (Peña, 2007)

Es necesario tener en cuenta las lluvias presentadas en los meses de estudio de la ciudad de Villavicencio (Ver Figura 8) ya que influye en ciertos parámetros al igual que la temperatura.

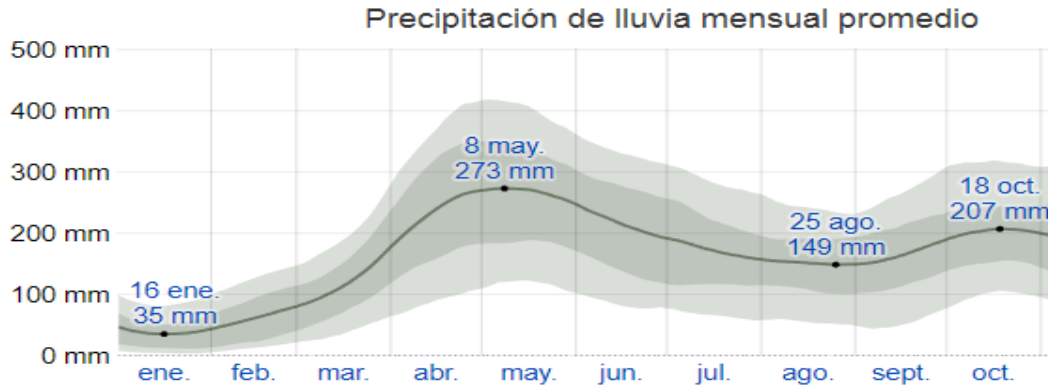


Figura 8. Precipitación de lluvia mensual promedio Villavicencio, por WeatherSpark.

Con la figura anterior se observa que entre los meses de marzo a mayo, ocurrió un aumento de la precipitación mensual promedio al iniciarse la temporada de invierno, para posteriormente disminuir en los meses junio y julio, hasta la llegada del verano. Teniendo esto como base se infiere que al haber aumento de agua en el cauce, el flujo será mayor y que el movimiento o choque del agua contra las rocas y las caídas genere una aireación (Peña, 2007).

Los resultados obtenidos para el periodo de estudio se observan en la Figura 9.

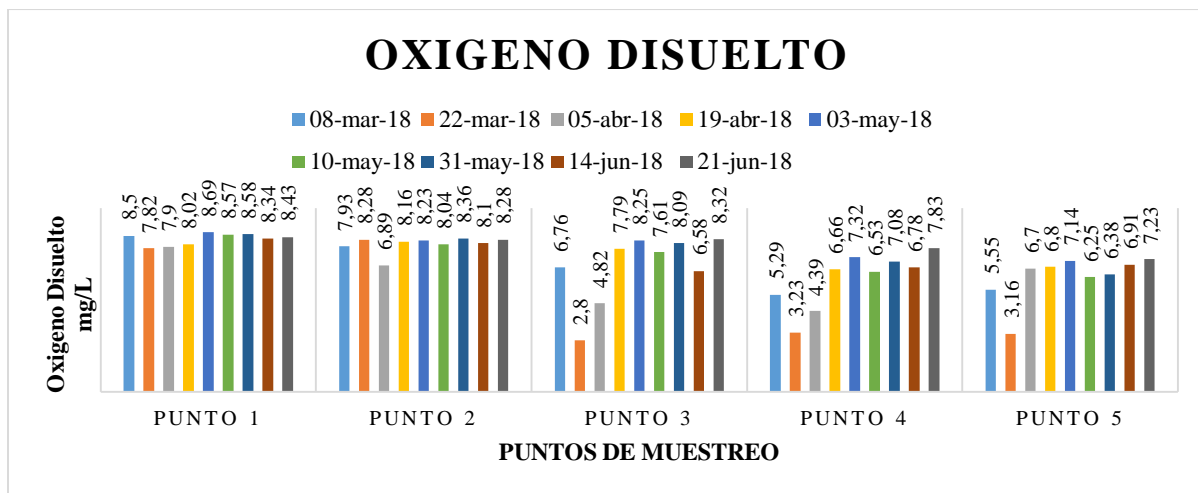


Figura 9. Resultados del comportamiento del Oxígeno Disuelto en los 5 puntos durante el periodo de estudio, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Con la figura anterior observamos que la gran mayoría de los resultados se encuentran en el rango 6 a 8 mg/L de OD, comparando con los rangos establecidos en la Tabla 8, indica que puede

existir vida acuática en las condiciones que el caño presenta, ya que el comportamiento respecto a OD está en niveles altos.

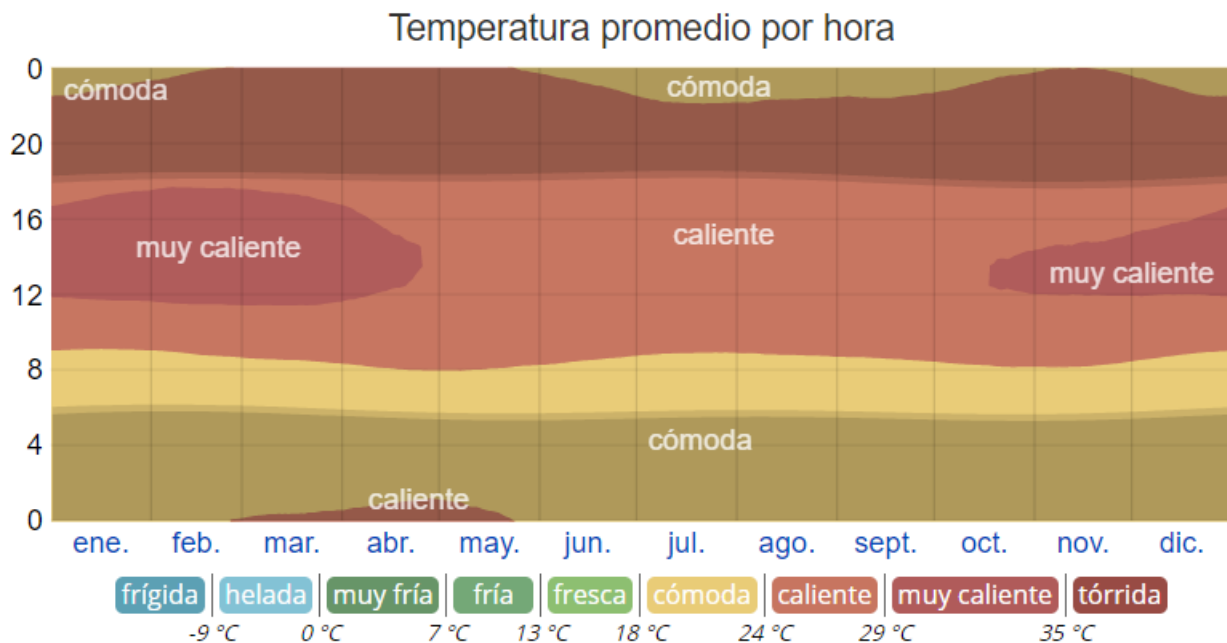
Tabla 8.

*Rangos y clasificación del Oxígeno Disuelto.*

Rango	Clasificación
< 2	Fatal a la mayor parte de las especies
$3 \geq 5$	Dañino para la mayor parte de las especies
> 5	Suficiente para la mayor parte de especies

*Nota:* Clasificación del oxígeno disuelto según el rango, por Hernandez F., Paez P., 2018.

La presencia de oxígeno disuelto en el agua cruda depende de la temperatura, la presión y la mineralización del agua. La ley de Henry y Dalton dice: “La solubilidad de un gas en un líquido es directamente proporcional a la presión parcial e inversamente proporcional a la temperatura” (Barrenechea, s.f.)



*Figura 10.* La temperatura promedio por hora, codificada por colores en bandas. Las áreas sombreadas superpuestas indican la noche y el crepúsculo civil, por WeatherSpark.

Lo que se observa en la figura 10, muestra una ilustración compacta de las temperaturas promedio por hora de todo el año. El eje horizontal es el día del año, el eje vertical es la hora y el color es la temperatura promedio para ese día y a esa hora. Donde el contenido de oxígeno varía del día a la noche, ya que los seres vivos consumen oxígeno para la respiración las 24 horas del día. Sin embargo, la fotosíntesis solo se realiza con el curso de la luz solar y por ende la influencia de la temperatura en el agua.

Por otro lado, en los resultados estadísticos observamos que la desviación estándar en los puntos 1 y 2 están menos dispersos que los puntos 3,4,5 respecto a la media y en varianza comportamiento similar de dispersión de los puntos que están dentro del casco urbano, si se observa el valor mínimo es de 3,16 un valor crítico de OD en el agua y el último punto cerca a su desembocadura en el Ocoa.

Tabla 9.

*Resultados estadística descriptiva básica del OD.*

	Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5
Media	8,3167	8,0300	6,7800	6,1233	6,2356
Mediana	8,4300	8,1600	7,6100	6,6600	6,7000
Desv.	0,32175	0,44797	1,86011	1,50892	1,26225
Varianza	0,104	0,201	3,460	2,277	1,593
Mínimo	7,82	6,89	2,80	3,23	3,16
Máximo	8,69	8,36	8,32	7,83	7,23

*Nota:* Valores estadísticos obtenidos en cada uno de los puntos analizados para el parámetro Oxígeno Disuelto, por Hernandez F., Paez P., 2018.

### 7.6.5. Saturación de Oxígeno.

La saturación de oxígeno disuelto está expresada como unidad de porcentaje y es otra medida para determinar la calidad de agua, por ende, en el caso de estudio se obtuvieron los siguientes resultados, presentados en la Figura 11.

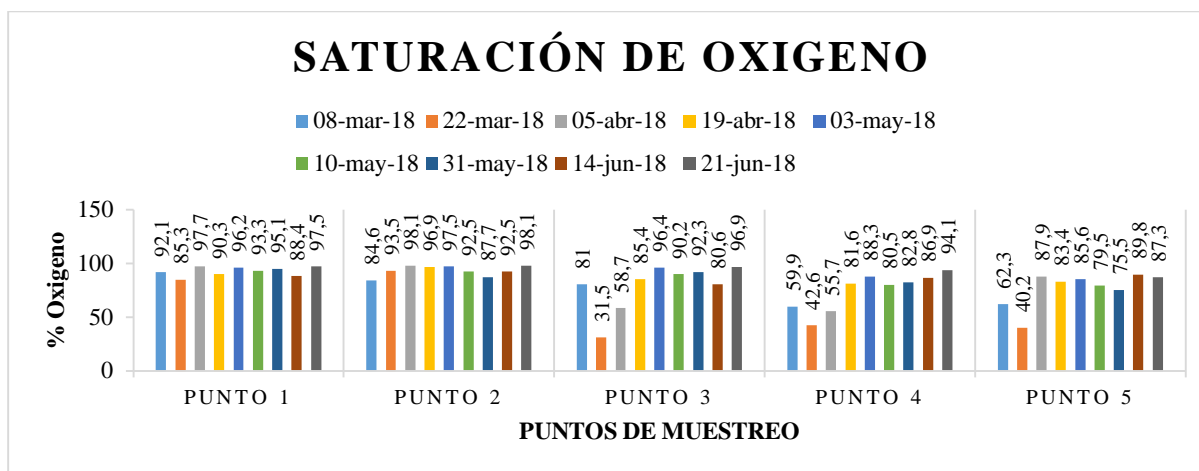


Figura 11. Resultados del comportamiento de la Saturación de Oxígeno los puntos durante el periodo de estudio, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Con estos datos en la Figura 11 encontramos el valor mínimo de saturación es de 31,5 % y valor máximo es de 98,10 %, estos resultados se comparan con la Tabla 9 para determinar su Nivel de clasificación.

Tabla 10.

*Nivel de clasificación del porcentaje de saturación.*

Porcentaje de Saturación de OD	Nivel de OD
$\geq 101\%$	Supersaturación
90 – 100%	Excelente
80 – 89%	Adecuado
60 – 79%	Aceptable
$< 60\%$	Pobre

*Nota:* Porcentaje de saturación del Oxígeno Disuelto y su clasificación, por (Oxígeno Disuelto - Vernier, s.f.)

Al realizar la comparación con los valores óptimos y no óptimos (Tabla 9), se tiene que en los puntos 1,2predomina una saturación del 90 al 100% y en algunos muestreos del punto 3, esto quiere decir que se encuentran en un nivel EXCELENTE para los organismos acuáticos, teniendo en cuenta que se presentó en 19 muestreos de un total de 45. En el rango de 80 a 89%, se encuentra

que 17 de un total de 45 muestras tienden a tener una calidad ADECUADA de oxígeno saturado que de igual manera permite el desarrollo de los organismos y no genera daños a la vida acuática, situación que se evidencia en los puntos 3,4 y 5. Para el rango de 60-79 % se observa que de 3 de un total de 45 de muestreos cuentan con un nivel de ACEPTABLE prevaleciendo este rango en el punto 5 de los muestreos de estudio. Existen muestras que están por debajo de 60%, que representa 6 de un total de 45 muestreos, en los puntos 3 y 4, en los meses de marzo a abril. Estos valores tiene un nivel POBRE de oxígeno, el cual sí traería factores negativos sobre el comportamiento de la vida acuática.

A continuación, en la parte estadística de los datos de saturación se obtuvo lo siguiente demostrado en la Tabla 11.

Tabla 11.

*Resultados estadística descriptiva básica de Saturación de Oxígeno.*

	Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5
Media	92,8777	93,4889	79,2222	74,7111	76,8333
Mediana	93,3000	93,5000	85,4000	81,6000	83,4000
Desv.	4,26461	4,80532	21,33341	17,56228	16,13320
Varianza	18,1869	23,091	455,114	308,434	260,280
Mínimo	85,30	84,60	31,50	42,60	40,20
Máximo	97,70	98,10	96,90	94,10	89,80

*Nota:* Valores estadísticos obtenidos en cada uno de los puntos analizados para la Saturación de Oxígeno, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Se observa en la Tabla anterior un comportamiento de saturación cada vez menor a lo largo del recorrido del caño Maizaro, partiendo desde el nacimiento del caño hasta el paso en el casco urbano donde se ve cambio abrupto respecto a los dos primeros puntos teniendo como valor mínimo 40,20 % y máximo 98,10% y la varianza se presentó mayor en los 3 últimos puntos con una mayor dispersión frente a los primeros puntos de muestreo.

#### **7.6.6. Alcalinidad Total.**

Se define como alcalinidad la capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones; ésta representa la suma de las bases que pueden ser tituladas con base a una muestra de agua. Dado que

la alcalinidad de las aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos (calcio y magnesio), bicarbonatos e hidróxidos (Moreno & Peñaranda, 2016).

Al igual que en los parámetros anteriores la alcalinidad total del caño Maizaro se relacionó durante el periodo de 4 meses con la Resolución 2115 del 2007 (Tabla 12), donde se establecen los valores máximos permisibles. Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la Figura 12.

Tabla 12.

*Características Químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana.*

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana.	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Alcalinidad total	CaCO <sub>3</sub>	200

*Nota:* Valor máximo aceptable para la alcalinidad total según los compuestos químicos, adaptado de Resolución 2115, 2007.

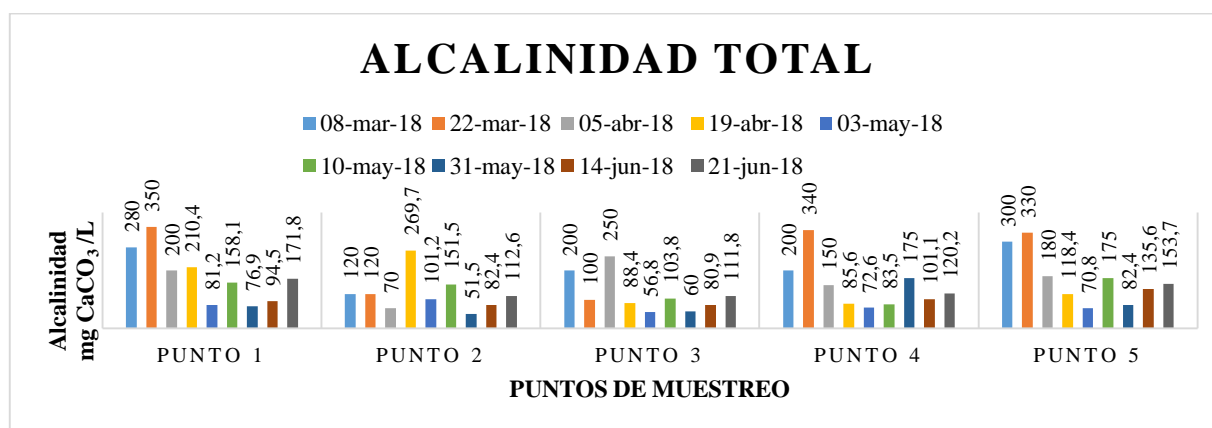


Figura 12. Resultados de Alcalinidad Total, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Relacionando los rangos de la Tabla 11 se contrasta con los datos de la Figura 12, se observa que existen puntos de muestreo en los que se excede este límite, lo que sugiere que el agua no es apta en términos de alcalinidad.

Si se analiza el punto 1, se aprecia que durante las primeras 4 fechas superó el valor máximo permisible y comparando estos con los rangos establecidos para clasificar la alcalinidad (Tabla

13), se obtuvo una Alta alcalinidad que podría generar problemas como posible revestimiento en tuberías.

Tabla 13.

*Rangos de Alcalinidad.*

Rango	Alcalinidad (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
Baja	< 75
Media	75 - 150
Alta	>150

*Nota:* Valores de alcalinidad según su rango, por Kewen, 1989.

Para las fechas 5, 7 y 8 el agua presenta una alcalinidad de rango medio y para la fecha 6 y 9 un rango Alto de alcalinidad, es decir, que tiene suficiente potencial regulador que resiste los cambios en pH y no es factible de producir revestimiento en tuberías. Este comportamiento es repetitivo para el resto de los puntos y fechas planteadas y una característica es que en todos los puntos en las primeras fechas presentan un valor alto respecto a las fechas finales (Intagri, s.f.) Contrastando este comportamiento con la influencia del comienzo del invierno como se evidencia en la Figura 8, donde el incremento de las lluvias a partir del mes de abril es de manera creciente en los meses siguientes, esto quiere decir que el aumento de agua lluvia en el cauce genera una disminución de alcalinidad en el cuerpo hídrico ya que la variación de la alcalinidad del agua no es un valor constante, esta puede cambiar estacionalmente o a lo largo del tiempo.

En la parte estadística (ver Tabla 14), se denota un comportamiento en la desviación estándar y la varianza, un mayor valor en los puntos que están en contacto con el casco urbano donde las cotas son inferiores (Zonas bajas del caño Maizaro) respecto a los primeros puntos y estos sitios donde los depósitos de roca son sedimentados desde la parte alta a las partes bajas. Estos datos de dispersión respecto a la media son mayores, influenciados por la lluvia generadora de arrastre.

Tabla 14.

*Resultados estadística descriptiva básica de Alcalinidad Total.*

	Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5
Media	8,3167	8,0300	6,7800	6,1233	6,2356
Mediana	8,4300	8,1600	7,6100	6,6600	6,7000

Tabla 14 (Continuación)

Desv.	0,32175	0,44797	1,86011	1,50892	1,26225
Varianza	0,104	0,201	3,460	2,277	1,593
Mínimo	7,82	6,89	2,80	3,23	3,16
Máximo	8,69	8,36	8,32	7,83	7,23

*Nota:* Valores estadísticos obtenidos en cada uno de los puntos analizados para la Alcalinidad Total, por Hernandez F., Paez P., 2018.

### 7.6.7. Dureza Total.

La dureza total es definida como la suma de sus concentraciones de calcio y magnesio en una muestra de agua, expresada en unidades de mg/l de CaCO<sub>3</sub> (Ojeda, 2012)

En el proceso de evaluación de este parámetro de estudio, los resultados obtenidos se presentan en la Figura 13.

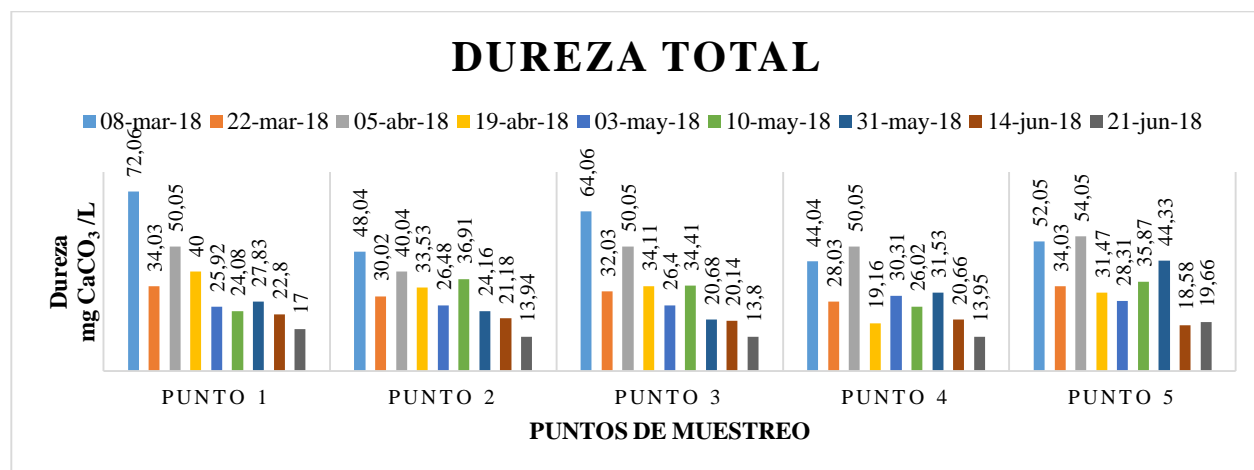


Figura 13. Resultados de Dureza Total, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Se observa el comportamiento que tiene la dureza total en el caño Maizaro a partir de la gráfica de barras (Figura 13), donde se aprecia que en las primeras fechas para cada punto tiene niveles de dureza más altos respecto a fechas finales, influenciadas por la transición de las épocas. Estos datos obtenidos en campo y tratados en laboratorio, fueron contrastados con la Resolución 2115 del 2007 (Ver Tabla 15). Todos los resultados evaluados están dentro del valor permisible establecido por la resolución.

Tabla 15.

*Características Químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana.*

<b>Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana.</b>	<b>Expresados como</b>	<b>Valor máximo aceptable (mg/L)</b>
Dureza	CaCO <sub>3</sub>	300

*Nota:* Valor máximo aceptable para la dureza según los compuestos químicos, adaptado de Resolución 2115, 2007.

Al contrastar los datos de dureza de acuerdo a su clasificación por concentración (Tabla 15), se evidenció que este caño posee agua de tipo Blanda, es decir, agua suave contienen menos minerales, una concentración relativamente baja de carbonato de calcio y otros iones, Por lo general, el agua blanda procede de fuentes con rocas ígneas, como el granito, pero también puede proceder de fuentes con arenisca, puesto que, por lo general, estas rocas sedimentarias contienen poco calcio y magnesio. Este comportamiento ocurrió para casi todos los muestreos a excepción del punto 1 y del punto 3 de la primera fecha que posee un tipo de agua moderadamente dura que generalmente el agua es medianamente satisfactoria entre corrosión y revestimiento, puede provocar el bloqueo de las tuberías además, el jabón y los detergentes funcionan peor en agua dura que en agua blanda. Estos efectos son mayores cuanto mayor es la dureza del agua (Technologies, 2007). Los datos obtenidos de la dureza se ven influenciados por la llegada de la temporada de lluvias, ya que al paso de las fechas el valor de la dureza se hace menor y esto puede ser por que la presencia de lluvias es de carácter blanda.

Tabla 15.

*Tipos de Dureza en el agua.*

<b>Dureza (mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b>	<b>Tipos de agua</b>
0 – 60	Blanda
61 – 120	Moderadamente dura
121 – 180	Dura
> 180	Muy Dura

*Nota:* Tipos de agua según la dureza, adaptado de la Organización Mundial de la Salud, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Se observa que en la Tabla 16, el valor mínimo de dureza es de 13,80 y valor máximo es de 72,06 mg/L CaCO<sub>3</sub>, el comportamiento de la varianza y la desviación tienden a tener datos homogéneos respecto a los puntos de muestreo.

Tabla 16.

*Resultados estadística descriptiva básica de Dureza Total.*

	Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5
Media	34,8633	30,4778	32,8533	29,3056	35,3722
Mediana	27,8300	30,0200	32,0300	28,0300	34,0300
Desv.	17,14519	10,40799	15,76688	11,61511	12,76349
Varianza	293,958	108,326	248,594	134,911	162,907
Mínimo	17,00	13,94	13,80	13,95	18,58
Máximo	72,06	48,04	64,06	50,05	54,05

*Nota:* Valores estadísticos obtenidos en cada uno de los puntos analizados para la Dureza Total, por Hernandez F., Paez P., 2018.

### 7.6.8. Nitratos.

Es muy relevante relacionar los valores máximos aceptables que establece la normatividad Colombiana para aquellas aguas superficiales que cumplen la función de abastecer una PTAP, ya que el caño Maizaro es actualmente un cuerpo hídrico en el cual se realiza una captación por parte del acueducto municipal de Villavicencio. Allí radica la pertinencia de mencionar la resolución 2115 de 2007 y su valor máximo aceptable para los Nitratos en el agua (Tabla 17).

Tabla 17.

*Características Químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana.*

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana.	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10

*Nota:* Valor máximo aceptable para los Nitratos según los compuestos químicos, adaptado de Resolución 2115, 2007.

Ejecutando la determinación de nitratos en laboratorio para las fechas y puntos de muestreo se obtuvieron los resultados presentados en la Figura 14.

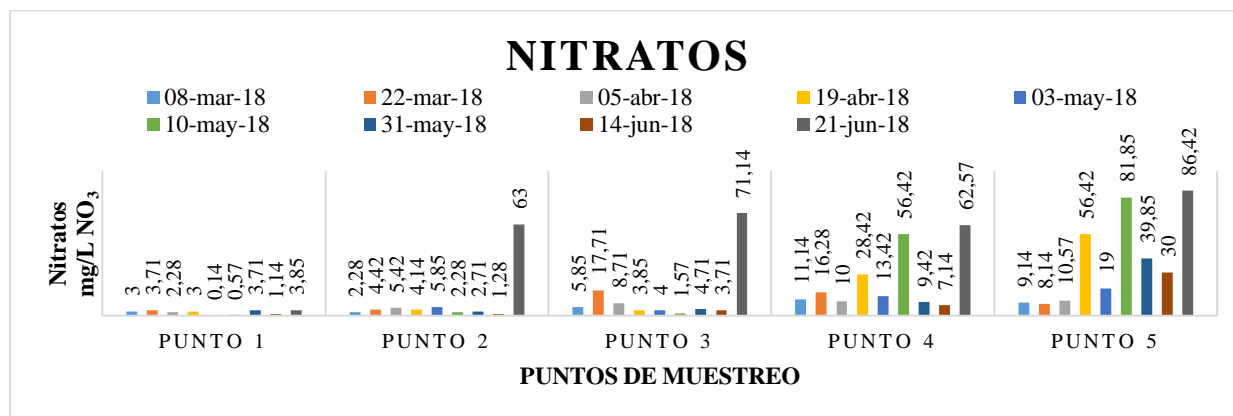


Figura 14. Resultados de Nitratos, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Sin embargo, la Organización Mundial de la Salud OMS ha establecido como límite el valor de 45 mg/l de Nitratos. En Colombia se utiliza un límite similar, que requiere una explicación más clara. Este límite ha sido establecido en 10 mg/l para aguas superficiales que tienen la función de ser de consumo humano. Sin embargo, la norma establece que este valor “está expresado como nitrógeno contenido en los nitratos”. Este valor, transformado a nitratos, equivale a 44,3 mg/l. (Ryczel, 2015)

En los procedimientos realizados en el laboratorio para el parámetro de Nitratos los resultados de las concentraciones de Nitratos (mg/L  $\text{NO}_3$ ), evidencian que en treinta y ocho de los análisis hechos se da cumplimiento a la resolución 2115, la cual establece que el valor máximo aceptable para aguas superficiales que tienen la función de abastecer a un municipio debe estar en 10 mg/l de Nitratos y lo establecido por la OMS. Por otra parte, si se observa el comportamiento espacial y temporal de cada muestreo se presentan niveles bajos en los tres primeros muestreos, está debido a que en estas fechas la temporada de lluvias aún no había iniciado. Cabe resaltar que en la concentración de nitratos se presenta un aumento significativo (ver Figura 14) a medida que se desciende por el cauce del río a través de la ciudad de Villavicencio. Finalmente, en el noveno muestreo las concentraciones fueron demasiado altas debido a que en dicho momento estaba lloviendo sobre la ciudad de Villavicencio lo que previsiblemente ocasionó mayor escorrentía en

la zona alta del caño Maizaro, lo que pudo arrastrar al cauce residuos nitrogenados como por ejemplo fertilizantes, excretas de animales.

En Figura 14, la menor concentración de Nitratos presente fue de 0,14 mg/l la cual se obtuvo en el primer punto (Parte alta de la vereda del Carmen - Vía Bogotá) del muestreo del día 3 de Mayo del 2018, este dato es normal si se toma en cuenta que el primer punto se toma en el nacimiento del caño Maizaro donde no existe una actividad antrópica. En comparación con el quinto punto ubicado en el puente del camino ganadero del 21 de junio del 2018 donde la concentración fue de 86,42 mg/l de Nitritos ya que este punto está ubicado en donde el cauce del caño Maizaro ya ha hecho en gran parte su recorrido por el casco urbano de la ciudad.

En la Tabla 18 se denota que desviación que presenta el primer punto difiere con los puntos 2, 3, 4 y 5 presentando una mayor dispersión frente a la media obtenida, suceso que ocurre con la varianza existe una variabilidad entre los datos.

Tabla 18.

*Resultados estadística descriptiva básica de Nitratos.*

	<b>Punto1</b>	<b>Punto2</b>	<b>Punto3</b>	<b>Punto4</b>	<b>Punto5</b>
Media	2,37778	10,15333	13,47222	23,86778	37,93222
Mediana	3,00000	4,14000	4,71000	13,42000	30,00000
Desv.	1,427794	19,877256	22,136957	21,177319	30,642945
Varianza	2,039	395,105	490,045	448,479	938,990
Mínimo	0,140	1,280	1,570	7,140	8,140
Máximo	3,850	63,000	71,140	62,570	86,420

*Nota:* Valores estadísticos obtenidos en cada uno de los puntos analizados para los Nitratos, por Hernandez F., Paez P., 2018.

### **7.6.9. Nitritos.**

La presencia de nitritos en el agua da indicio de contaminación de carácter fecal (Catalán L. *et al.*, 1971; Catalán A., 1981; Metcalf y Eddy, 1998). En general, la concentración de nitritos en el agua superficial es muy baja pero puede aparecer concentraciones inesperadas debido a presencia de aguas residuales, vertimientos, desagüe generados por la ciudad de Villavicencio cerca de la ronda del caño. Por ende se observa el comportamiento que tiene a lo largo de su recorrido y en las fechas

de estudio. Para los Nitritos obtenidos, se relacionó la normatividad al igual que los otros, el cual expresa el valor máximo aceptable. Se indica en la Tabla 19.

Tabla 19.

*Características Químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana.*

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana.	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,1

*Nota:* Valor máximo aceptable para los Nitritos según los compuestos químicos, adaptado de Resolución 2115, 2007.

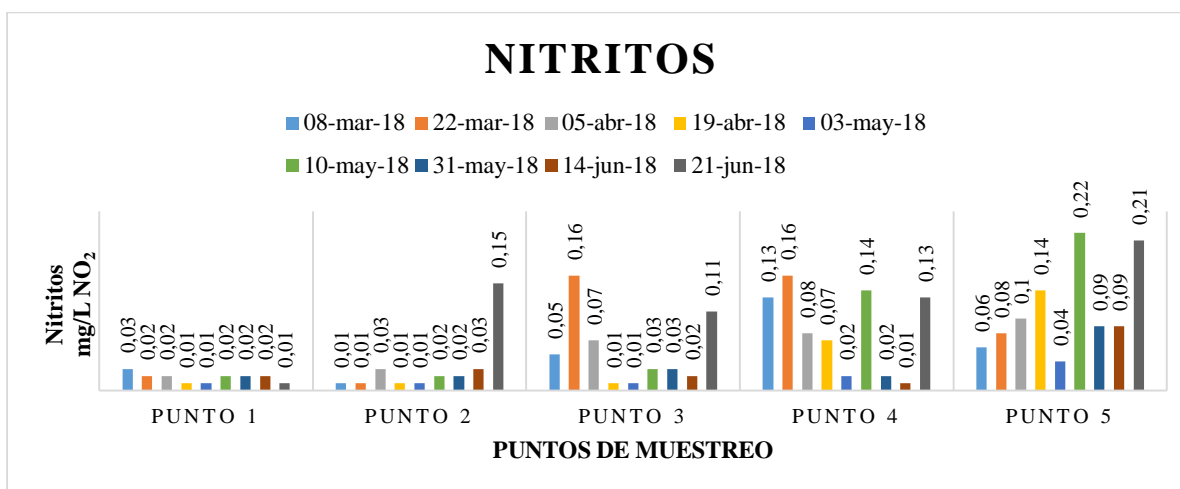


Figura 15. Resultados de Nitritos, por Hernandez F., Paez P., 2018.

En la Figura 15, se aprecian los resultados de la concentración de nitritos para el periodo en estudio, donde se observa que la concentración de nitritos tuvo una tendencia a incrementarse del punto uno, es decir en la parte alta del Caño Maizaro al punto cinco que el último punto en el camino ganadero cerca de la desembocadura el caño Mairzaro al Ocoa. Detallando la Figura 15 el aumento de los nitritos es mayor desde el punto 3 es decir, en el puente cerca al colegio Cofrem hasta el último punto, influenciado por el casco urbano generadores de vertimientos y aguas lluvias aumentando el nivel de agua en las alcantarillas. Cabe resaltar que el muestreo nueve, el día 21 de

junio del 2018 tuvo mayores concentraciones de Nitritos debido a que se realizó durante una precipitación de lluvia, la cual ocasiono que el caño Maizaro tuviera un mayor arrastre de los fertilizantes, pesticidas y de los vertimientos directos de aguas residuales domésticas desde su ingreso al casco urbano de la ciudad como ocurrió con los nitratos en ese muestreo.

Si observamos los resultados, se cumple la normatividad (ver Tabla 19), en nueve de los cuarenta y cinco análisis realizados. Por consiguiente sería necesario realizar un tratamiento en la PTAP, para disminuir las concentraciones de Nitritos, debido a las implicaciones a la salud humana. Según Erikson los Nitritos con valores entre 0,1 y 0,9 mg/l pueden presentar problemas de toxicidad dependiendo del pH, asimismo valores por encima de 1,0 mg/l son totalmente tóxicos (Erikson, 1985). Debido a que los análisis realizados tuvieron valores que oscilaron entre 0,1 y 0,22 mg/L de Nitritos, se pueden presentar problemas de toxicidad si esta agua es ingerida sin tratamiento.

Para la parte estadística, el valor mínimo obtenido en nitritos fue de 0,01 en el punto y máximo de 0,22 el cual se evidencia en la Tabla 19, se observa que la desviación para todos los puntos están cercanos al cero pero son datos no homogéneos respecto a la media, en contraste el punto inicial existe diferencia al resto, situación denotada en el punto 4 y 5.

Tabla 20.

*Resultados estadística descriptiva básica de Nitritos.*

	<b>Punto1</b>	<b>Punto2</b>	<b>Punto3</b>	<b>Punto4</b>	<b>Punto5</b>
Media	0,0178	0,0322	0,0544	0,0844	0,1144
Mediana	0,0200	0,0200	0,0300	0,0800	0,0900
Desv.	0,00667	0,04494	0,05102	0,05812	0,06327
Varianza	0,000	0,002	0,003	0,003	0,004
Mínimo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04
Máximo	0,03	0,15	0,16	0,16	0,22

*Nota:* Valores estadísticos obtenidos en cada uno de los puntos analizados para los Nitritos, por Hernandez F., Paez P., 2018.

### 7.6.10. Fósforo Total.

Actualmente no existe una norma colombiana para fósforo total. Por ello se tomó como referente relacionado con la magnitud de fosfato ( $\text{PO}_4^+$ ) el valor máximo descrito en la resolución 2115 de 2007 (Ver Tabla 21) que establece en 0,5 mg/L de  $\text{PO}_4$  sin que genere ninguna afectación a la salud humana. Cabe resaltar que el fósforo es el nombre del compuesto puro (P), pero no se encuentra así en la naturaleza, ni en la fuente (fertilizantes). Los fertilizantes son la fuente más común de contaminación de los cuerpos de agua, estos compuestos: nitrógeno, fósforo y potasio (N, P, K). Puede haber varios tipos de fosfatos, se transformó todas las formas del Fosforo en Orto-Fosfatos ( $\text{PO}_4^+$ ), por lo que las concentraciones estarían en mg/L de  $\text{PO}_4^+$  también se puede escribir P- $\text{PO}_4^+$ , que quiere decir fósforo en forma de ortofosfatos. Por otra parte, se realizó la conversión mencionada en la metodología sobre el Fósforo total, ya que es una variable requerida para el cálculo del índice ICOTRO.

Tabla 21.

*Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana*

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana.	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Fosfatos	$\text{PO}_4$	0,5

*Nota:* Valor máximo aceptable para los Fosfatos según los compuestos químicos, adaptado de Resolución 2115, 2007.

La Figura 16 demuestra que las concentraciones de fósforo total van aumentando en la mayoría de muestreos a medida que se avanza en cada uno de los puntos seleccionados, es decir que el comportamiento de las concentraciones se ve influenciado por diversos factores los cuales presuntamente sean los fertilizantes y las cargas orgánicas que recibe el cuerpo de agua en su recorrido por el casco urbano de la ciudad de Villavicencio. Por otra parte, las concentraciones no exceden el valor máximo aceptable para afectaciones a la salud humana, aunque se presentó un pico de 0,115 mg/L de fósforo total el cual fue en el muestreo nueve y en un día que hubo precipitación durante el muestreo. Por ello, la afectación a la salud no existe con el parámetro en mención, sin embargo, se debe llevar un control riguroso sobretodo en la estación de lluvia.

Estos sucesos de cambio es su comportamiento en las concentraciones es influeciado claramente por la acción antrópica generada con el pasodel caño por la ciudad y el aumento de lluvias de la transición de Temporada seca a temporada de lluvias.

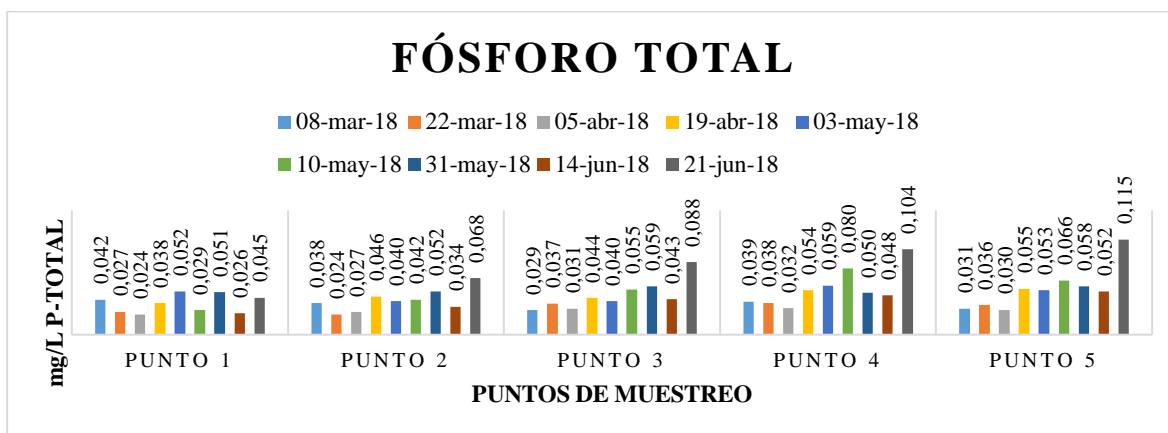


Figura 16. Resultados Fósforo Total, por Hernandez F., Paez P., 2018.

En los resultados estadísticos como valor mínimo observado en este periodo de estudio para todos los puntos es de 0,031 y máximo observado 0,115 mg/L P-TOTAL este último fue el pico mas alto, detallando el comportamiento de los datos en el transcurso de las fechas de estudio, en cada punto se observa el incremento con el paso del tiempo y la época, sobre todo desde el mes de marzo, abril y el aumento es seguido para los otros meses ya que el flujo de agua lluvia se va presentando y genera lavado del suelo y arrastre de sustancias al flujo o cauce del caño Maizaro en zonas donde posiblemente están influenciadas con fertilizantes además de detergentes en zonas residenciales y al vertido que generan la zonas informales cercanas a la ronda. Viendo la Tabla 22, la desviación y la variancia presenta una información de comportamiento homogéneo, con poca dispersión de datos frente a la media.

Tabla 22.

Resultados estadística descriptiva básica de Fóforo Total.

	Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5
Media	0,0371	0,0412	0,0473	0,056	0,0551
Mediana	0,038	0,04	0,043	0,05	0,053

Tabla 22. (Continuación).

Desv.	0,010982	0,01332	0,01817	0,02286	0,02575
Varianza	0,0001206	0,00017744	0,00033025	0,00052275	0,00066311
Mínimo	0,024	0,024	0,029	0,032	0,031
Máximo	0,052	0,068	0,088	0,104	0,115

*Nota:* Valores estadísticos obtenidos en cada uno de los puntos analizados para el Fosforo Total, por Hernandez F., Paez P., 2018.

### 7.6.11. Sólidos Totales.

Se definen como la materia que permanece como residuo después de la evaporación y secado. El valor de los sólidos totales incluye materias disueltas y estas pueden afectar negativamente a la calidad del agua o al suministro (CARPIO, 2007).

Los sólidos totales permiten estimar los contenidos de materias disueltas y suspendidas presentes en un agua, pero el resultado está condicionado por la temperatura y la duración de la desecación. En este caso, los resultados obtenidos en el periodo de estudio están representados en la Figura 17.

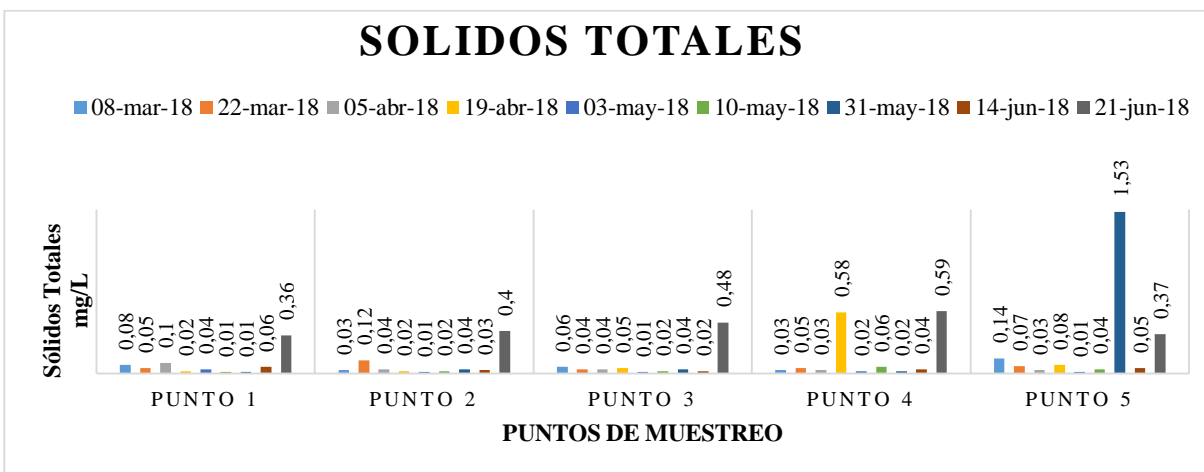


Figura 17. Resultados Sólidos Totales, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Como se observa en la figura anterior, el comportamiento en los sólidos es influenciada por la temporada de lluvia es decir, en el periodo de inicio del invierno como se denota en la Figura 17, es donde se evidencia que con la lluvia presente en este periodo evaluado, apartir del mes de abril donde inicia la transición de épocas el arrastre por las lluvias genera una arrastre de material,

remoción en masa llevandolas zonas bajas del caño, generando un nivel mayor de caudal y turbidez debido al golpe del agua con zonas del caño como los bordes, las rocas y estructuras que de una manera influyen en la turbiedad del agua.

En la parte estadística obtenida Tabla 23, se tiene que el valor mínimo es de 0,01 y máximo de 1,53 mg/L. Teniendo el pico presentado en el punto 5 es decir en el puente del camino ganadero donde finaliza el recorrido por la ciudad antes de llegar al río Ocoa se ve influenciado por la lluvia generadora de remoción en masa causando ese valor más alto respecto a los otros, ya para la desviación y varianza presenta datos homogéneos con poca dispersión ya que se mantiene a diferencia del punto 5 que existe una dispersión mayor respecto a los otro puntos.

Tabla 23.

*Resultados estadística descriptiva básica de Sólidos Totales.*

	Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5
Media	0,0811	0,0789	0,0844	0,1578	0,2578
Mediana	0,0500	0,0300	0,0400	0,0400	0,0700
Desv.	0,10902	0,12464	0,14917	0,24258	0,48936
Varianza	0,012	0,016	0,022	0,059	0,239
Mínimo	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Máximo	0,36	0,40	0,48	0,59	1,53

*Nota:* Valores estadísticos obtenidos en cada uno de los puntos analizados para los Sólidos Totales, por Hernandez F., Paez P., 2018.

#### **7.6.12. Sólidos sedimentables.**

Los sólidos sedimentables son los materiales que sedimentan de una suspensión en un período de tiempo definido (American PublicHealthAssociation, 1992). Los resultados obtenidos para este parámetro en los 5 puntos de muestreo del caño Maizaro en el periodo de estudio se presentan en la Figura 17.

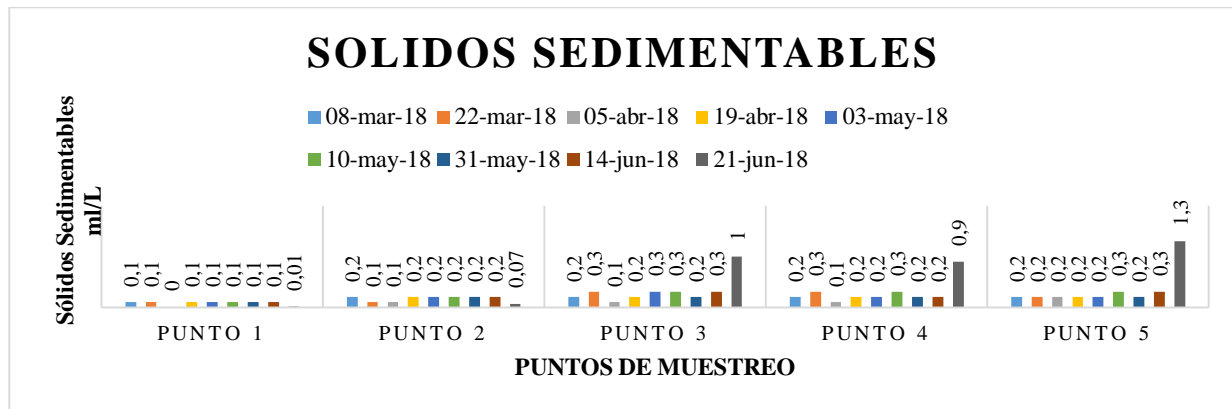


Figura 18. Resultados Sólidos Sedimentables, por Hernandez F., Paez P., 2018.

El caño Maizaro tiene ciertas características principales, como ya se ha mencionado es fuente receptora en la parte alta por la planta fuentes altas en la ciudad de Villavicencio ubicada en zona no urbana, el caño tiene su recorrido atravesando toda ciudad causando alteración en su estructura, en el punto 1 donde el agua es natural sin presencia notoria de intervención humana donde esta rodeada de vegetación y en la parte donde el caño ingresa al casco urbano pasando por Unicentro, Cofrem y el resto de puntos, la presencia de urbanización cambia su condición física como presencia de residuo sólidos, espumas a causa de detergentes y malos olores. El punto 5 que es el más cercano a su desembocadura en el río Ocoa tiene fuertes acumulación de vegetación arrastrada en todo su recorrido, rocas de gran tamaño y el descole de toda la ciudad teniendo en cuenta el periodo de invierno que es factor importante de arrastre de material y aumento en niveles de agua, aspecto presentado en el anterior parámetro.

Con los datos observados en la Figura 17 y contrastados con la resolución 0631 del 2015 donde se especifica el valor máximo permisible de 5 ml/L de sólidos sedimentables, se denota que estos están por debajo de ese valor, por lo que se cumple la normativa en cuanto a sólidos sedimentables.

Es importante monitorear este parámetro, ya que estos los sólidos viajan por todo el cauce del caño, producto de la erosión causando una disminución del tiempo de vida de los caños, al aumentar la sedimentación en el fondo de los cuerpos de agua y reduce la profundidad del cuerpo de agua y por consecuencia la capacidad para transportar agua. Estos agregados que llegan a los cuerpos de agua son incorporadas con tal rapidez que sobrepasan la capacidad de absorción o autodepuración.

En el aspecto estadístico y el tratamiento de datos se evidencia en la Tabla 24, el valor mínimo y máximo siendo 0,00 y 1,30 mg/L respectivamente. Se observa que la media de los puntos 2, 3, 4 y 5 es mayor en relación al obtenido del punto 1. Lo que da entender que con la desviación estándar se revela la dispersión de estos datos al igual que la varianza obtenida.

Tabla 24.

*Resultados estadística descriptiva básica de Sólidos Sedimentables.*

	Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5
Media	0,0789	0,1633	0,3222	0,2889	0,3444
Mediana	0,1000	0,2000	0,3000	0,2000	0,2000
Desv.	0,04197	0,05568	0,26352	0,23688	0,36094
Varianza	0,002	0,003	0,069	0,056	0,130
Mínimo	0,00	0,07	0,10	0,10	0,20
Máximo	0,10	0,20	1,00	0,90	1,30

*Nota:* Valores estadísticos obtenidos en cada uno de los puntos analizados para los sólidos sedimentables, por Hernandez F., Paez P., 2018.

### 7.6.13. Demanda Química de Oxígeno.

Representa la materia orgánica degradable a través de su oxidación química mediante un agente oxidante fuerte, como el Dicromato de Potasio, en medio ácido y a alta temperatura. Para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos recientes se requiere la ayuda de un catalizador como el sulfato de plata (Galvis & Rivera, 2013).

Los resultados obtenidos con este procedimiento para el periodo de estudio del caño Maizaro se presentan en la Tabla 25.

Tabla 25.

*Resultados de la DQO.*

Fecha de la muestra	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
08-mar-18	56,17	37,94	115,59	62,39	57,03
22-mar-18	48,02	40,73	53,39	54,03	51,03
05-abr-18	89,63	59,75	1,30	42,87	5,20
19-abr-18	85,73	66,25	11,69	23,38	12,99

Tabla 25. (Continuación).

03-may-18	59,75	2,60	10,39	25,98	16,89
10-may-18	5,20	3,90	7,79	9,09	16,89
31-may-18	3,90	5,20	12,99	16,89	7,79
14-jun-18	16,89	9,09	2,60	77,94	64,95
21-jun-18	75,34	3,90	3,90	51,96	1,30

*Nota:* Datos obtenidos en los muestreos realizados en cada uno de los puntos analizados para la Demanda Química de Oxígeno, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Los datos indican una contaminación del caño Maizaro, indicado por los valores que se encuentran mayormente por debajo de los 100 mg/L O<sub>2</sub> durante periodo de estudio. Siendo el valor mínimo de 1,30 y el máximo de 115,59 mg/L O<sub>2</sub>.

Al observar los valores promedios para cada punto, se aprecia una aumento de la materia organica, que va desde un promedio de 48,9 mg/L O<sub>2</sub>, al inicio del cauce, para ir aumentando progresivamente durante su recorrido por el casco urbano, para disminuir nuevamente en el punto 5, ya en las afueras de la ciudad, lo que evidencia el impacto a lo largo de la ciudad a causa de las actividades antrópicas realizadas. La desviación estandar en todos los puntos fue mayor al 50%, indicando la gran variación que ocurre entre el periodo de verano y de invierno.

Tabla 26.

*Resultados estadística descriptiva básica de DQO.*

	Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5
Media	48,9589	25,4844	24,4044	40,5033	26,0078
Mediana	56,1700	9,0900	10,3900	42,8700	16,8900
Desv.	33,25114	25,88252	37,66471	23,04582	24,53580
Varianza	1105,638	669,905	1418,630	531,110	602,005
Mínimo	3,90	2,60	1,30	9,09	1,30
Máximo	89,63	66,25	115,59	77,94	64,95

*Nota:* Valores estadísticos obtenidos en cada uno de los puntos analizados para la Demanda Química de Oxígeno, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Al analizar estos resultados con la Resolución 0631 del 2015 (Ver Tabla 29), es claro que la DQO en los distintos puntos muestreados se encuentra en el rango permisible, por lo que el agua es apta para para captación de agua ya que en su comportamiento en el periodo de estudio se refleja

un comportamiento adecuado sin importar en la época en que se encuentre, claramente esta afirmación obtenida en este periodo de estudio. Si bien en el punto 1, vía Bogotá en la vereda del Carmen esta la planta potabilizadora de fuentes altas tomando parte del recurso para una comuna de la ciudad.

Tabla 27.

*Valor máximo permisible de DQO de vertimientos y para plantas potabilizadoras.*

Parámetro	Valor máximo aceptable (mg/L)
DQO	180 mg/ L

*Nota:* Valor aceptable para el parámetro de Demanda Química de Oxígeno, por Ministerio de la protección social de la resolución 0631 de 2015.

#### 7.6.14. Demanda Biológica de Oxígeno.

La DBO mide la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para oxidar la materia orgánica en condiciones aeróbicas, es decir, mide solamente las materias orgánicas biodegradables, no mide contaminantes específicos (García, 2012).

Se realizó este procedimiento para los 5 puntos, cuyos resultados se presentan en la Tabla 28.

Tabla 28.

*Resultados del cálculo de la DBO en el Caño Maizaro.*

Fecha de la muestra	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
08-mar-18	45,78	49,83	49,85	34,28	22,83
22-mar-18	25,57	18,25	34,42	37,17	22,85
05-abr-18	16,32	17,41	24,10	24,84	14,88
19-abr-18	7,38	6,32	3,31	20,19	9,37
03-may-18	34,14	17,57	12,03	26,21	16,63
10-may-18	7,73	6,44	9,33	7,18	4,76
31-may-18	1,44	4,92	3,74	4,09	10,66
14-jun-18	24,92	26,09	20,19	21,52	25,62
21-jun-18	40,27	37,65	43,28	37,81	42,07

*Nota:* Datos obtenidos en los muestreos realizados en cada uno de los puntos analizados para la Demanda Bioquímica de Oxígeno, por Hernandez F., Paez P., 2018.

En la Tabla 28, los valores promedio de DBO<sub>5</sub> oscilan entre 1,44 y 49,85 (mg/L O<sub>2</sub>), teniendo en cuenta que entre más alta sea la DBO, mayor el grado de contaminación y según la clasificación de la DBO (Tabla 30), el caño Maizaro es un cuerpo de agua contaminado ya que a mayor cantidad de materia orgánica que contiene la muestra, mas oxígeno necesitan los microorganismos para degradarla.

Para la fecha del 19 de abril, 10 y 31 de mayo se presentaron 6 datos de 45 muestras tienen un nivel de clasificación de 3 a 6 mg/L según la tabla 30, de buena calidad, aguas superficiales con bajo contenido de materia biodegradable, para el nivel de 6 a 30 mg/L se encuentran 27 datos de 45 dentro de este rango el cual tiene significado de Aceptable, con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente y para el nivel de 30 a 120 mg/L se evidenció que 12 de 45 muestras están relacionadas con este rango y tiene como significado que se encuentra Contaminada, aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.

En lo estadístico se detalló un comportamiento de variabilidad de los datos del punto 1 respecto a los 4 que son los que presencia de acciones antrópicas ya sea por asentamientos formales e informales como también zonas comerciales, se observa que la desviación y la varianza tienden a tener datos homogéneos con poca dispersión en relación con la media.

Cabe resaltar que en muy pocos puntos de muestreo del caño Maizaro se encontraba en una condición excelente, generalmente los primeros puntos tenía esta característica, presuntamente sería porque es allí donde inicia el caño Maizaro y aún no ha tenido alguna afectación antrópica.

Tabla 29.





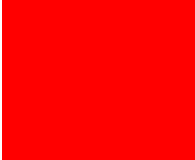
*Resultados estadística descriptiva básica de DBO.*

	<b>Punto1</b>	<b>Punto2</b>	<b>Punto3</b>	<b>Punto4</b>	<b>Punto5</b>
Media	2,6167	20,4977	22,25	23,6989	18,8522
Mediana	24,92	17,57	20,19	24,84	16,63
Desv.	15,5598	15,2081	17,07525	12,1171	11,1411
Varianza	242,1078	231,2884	291,5643	146,8255	124,1256
Mínimo	1,44	4,92	3,31	4,09	4,76
Máximo	45,78	49,83	49,85	37,81	42,07

*Nota:* Valores estadísticos obtenidos en cada uno de los puntos analizados para la Demanda Bioquímica de Oxígeno, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Tabla 30.

*Parámetros de interpretación de resultados de Demanda Biológica de Oxígeno en aguas superficiales.*

Criterio (mg/L)	Clasificación	Color
$DBO_5 \leq 3$	Excelente, No contaminada	
$3 < DBO_5 \leq 6$	Buena calidad, aguas superficiales con bajo contenido de materia biodegradable.	
$6 < DBO_5 \leq 30$	Aceptable, con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.	
$30 < DBO_5 \leq 120$	Contaminada, aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.	
$DBO_5 > 120$	Fuertemente contaminada, aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.	

*Nota:* Clasificación de la Demanda Biológica de Oxígeno según su criterio, por CONAGUA, 2006.

### 7.6.15. Microbiológico.

#### 7.6.15.1. Metodología Colilert.

Este procedimiento práctico y de corto tiempo permitió dar una información cualitativa de presencia de coliformes totales y de *Escherichia coli* en todos los puntos de muestreos seleccionados, esto basados en la respuesta del reactivo frente a la muestra de agua respecto a la tabla de coloración que presento al cabo de 24 horas como se puede observar en la Figura 19, 19.1 y 19.2



Figura 19. Muestra de agua en una fecha respectiva y el reactivo Colilert, por Hernandez F., Paez P., 2018.

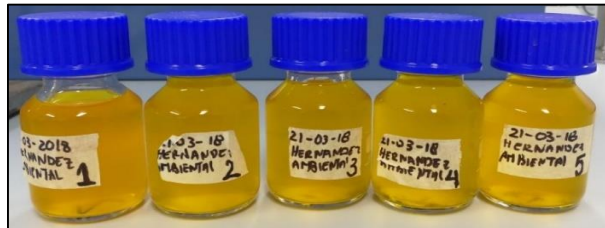


Figura 19.1. Colilert y muestra despues de 24 Horas en incubación, por Hernandez F., Paez P., 2018.



Figura 19.2 Muestra despues de incubación y espuesta a la Cabina de Luz UV, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Como se vieron en las figuras A, B se pudo observar que a cabo de 24 horas en incubación la muestra tomo una tonalidad amarilla con fluorescencia lo que se interpreta como positivo para Coliformes y por la luminisencia presencia de *E. coli*, a continuación se observa los resultados obtenidos en las 4 semanas de estudio.

Tabla 31.

*Resultados de cada semana de estudio con la técnica de Colilert.*

Semana	Característica	Resultado
S1	Amarillo y Fluorescencia	Positivo para <i>Coliformes Totales</i> y <i>E. coli</i>
S2	Amarillo y Fluorescencia	Positivo para <i>Coliformes Totales</i> y <i>E. coli</i>
S3	Amarillo y Fluorescencia	Positivo para <i>Coliformes Totales</i> y <i>E. coli</i>
S4	Amarillo y Fluorescencia	Positivo para <i>Coliformes Totales</i> y <i>E. coli</i>

*Nota:* Datos obtenidos en cada una de las semanas de monitoreo según sus características, por Hernandez F., Paez P., 2018.

El resultado que se esperaba al ser un cuerpo hidrico superficial, con desagües, asentamientos informales y formales, actividad comercial etc., cercanos al caño Maizaro (Ver Anexo 1 y 2) y al ser un lugar abierto se presenta estas condiciones ya que al realizar la inspección de caño en estos meses de estudio, se evidencio que algunas secciones del caño son utilizadas para arrojar residuos sólidos y líquidos como también animales muertos que además de producir mal olor adiciona la produccion de vectores y alteración paisajistico de la zona. En la tabla 31, los resultados son de color amarillo, hay preseca de coliformes fecales los cuales están muy relacionados con el microorganismos *E. coli*; importante en el proceso de evaluación microbiológica debido a que hace referencia a contaminación por heces fecales de animales, humanos, arrastre de material organico a acuíferos entre otros.

El cambio de color en la prueba evidencia la preseca de coliformes fecales y totales, si se toma esta información y se relaciona con la resolución 2115 del 2007 donde el ministerio hace la acotación de cuales son los valores permisibles para la presencia de micoorganismos en muestras de agua, determinando los tipos de técnicas que se pueden usar como es en este caso, enzima sustrato presencia o ausencia; cuya información se retralimento con el montaje de Tubos Multiples o Numero mas probable en el que generaron resultados coayudando a cuantificar la densidad poblacional microbiana.

A continuación muestro el cuadro de características microbiologicas tal como lo dice la resolucion 2115 del 2007.

Tabla 32.

*Características Microbiológicas.*

<b>Técnicas utilizadas</b>	<b>Coliformes Totales</b>	<b>Escherichia coli</b>
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Sustrato Definido	0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Presencia -Ausencia	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>

*Notas:* Técnicas utilizadas para medir los parámetros micorbiológicos, Google, 2018.

Simultaneo se hizo la lectura de las diluciones en replicas de cinco por nivel de dilución de numero mas probable arrojando como resultado una población estimada con unos valores fluctantes en los tres primeros puntos de muestreo, pudieron estar muy relacionados con la temporada de lluvias el cual genera que la población disminuya por el arrastre y los cambios en el curso del caño; como se evidencia en los resultados tanto en la Tabla 33 como en la Figura 20.

Tabla 33.

*Resultados NMP Promedio de 4 fechas.*

<b>NMP</b>	<b>PRESENCIA</b>	<b>AUSENCIA</b>	<b>Poblacion estimada según resultados</b>	<b>Microorganismos aisaldo</b>
<b>P 1</b>	Si	NA	107.022	E. coli
<b>P 2</b>	Si	NA	138.269	E. coli-
<b>P 3</b>	Si	NA	21589	Salmonella sp
<b>P 4</b>	Si	NA	328192	E. coli
<b>P 5</b>	Si	NA	781272	E coli - Salmonella sp

*Nota:* Calculo de población estimada mediante tabla NMP para determinar microorganismos por ml de muestra, por Hernandez F., Paez P., 2018.

En las 4 fechas de estudio, se presentaron características similares las cuales se promediaron y se obtuvieron los datos enunciados anteriormente donde las pruebas tanto de colilert dieron como resultado presencia de coliformes totales y de *E. coli*, además de esto el respaldo de ejecución de NMP y la estimación de población mediante tabla por ml de muestra presente en cada punto.

El viraje de color, presencia de gas y apariencia lechosa en los tubos (Ver en anexo 14), da sobre entendido que los resultados en las 4 fechas fueron positivas, para corroborar que clase de microorganismo, se procedió el montaje en cajas de Petri con medios específicos EMB y MacConkey para determinar visualmente y con características físicas que microorganismo estaba presente en la muestra de cada punto, ver en el anexo 14.

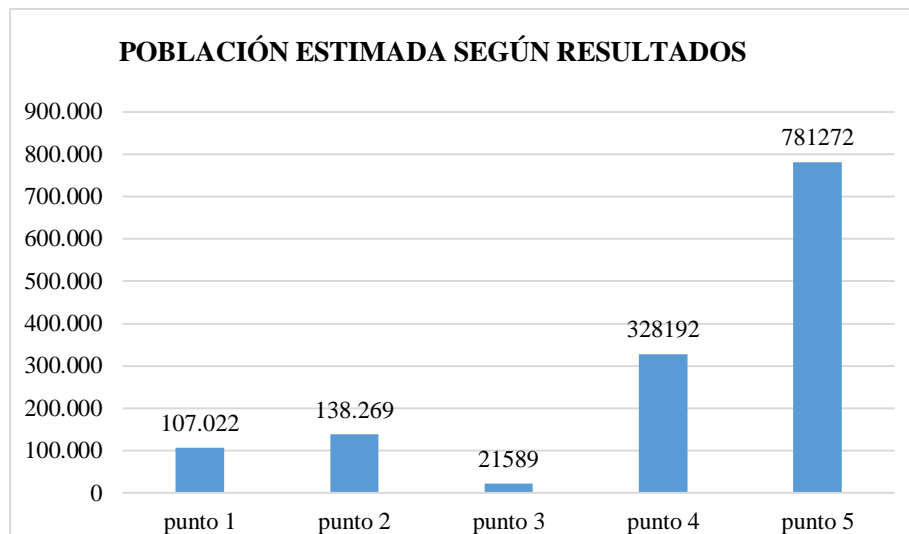


Figura 20. Población estimada según resultados NMP, por Hernandez F., Paez P., 2018.

En la figura anterior, se observa el crecimiento de población de microorganismos en el curso del caño, teniendo en cuenta que en cada punto está cada vez más al centro del casco urbano y de presencia de escorrentías y alcantarillados cercanos como tuberías de asentamientos informales, teniendo presente la influencia de la morgue y de otras fuentes de descarga de aguas servidas.

### 7.6.16. Índices de contaminación ICO's.

Con los parámetros analizados durante el periodo de estudio se procedió a realizar el cálculo de los índices de contaminación para realizar una interpretación global de la calidad del agua en el caño Maizaro.

Para la presente investigación se realizó la determinación de los cuatro índices de Contaminación ICO utilizando el programa ICATEST V 1.0 (Fernandez & Solano, 2003). Los índices de contaminación se caracterizaron por medio de los colores establecidos por (RAMÍREZ, 1997) presentados en la Tabla 32, donde se muestran las escalas de valores y colores que expresan el grado de contaminación de un cuerpo de agua.

Tabla 34.

*Grados de contaminación del agua*

Escala de Color		
<b>Ninguno</b>	0 - 0,2	
<b>Bajo</b>	0,2 - 0,4	
<b>Medio</b>	0,4 - 0,6	
<b>Alto</b>	0,6 - 0,8	
<b>Muy alto</b>	0,8 - 1	

*Nota:* Escala de color según el nivel de contaminación, por Ramírez, et al., 1997.

El software libre ICA TEST V 1.0., permite el cálculo de diversidad de índices de calidad y contaminación de las aguas desarrolladas en Estados Unidos, Colombia, Canadá, México y Holanda entre otros. Es una herramienta para la Valoración de la Calidad del Agua (Fernández Parada & Solano Ortega, 2005) que requiere ciertos parámetros para el cálculo de los ICO's en unas unidades específicas, por ello en el presente documento se menciona que el índice de contaminación por mineralización (ICOMI) se calculó con la conductividad, dureza y alcalinidad, el índice de contaminación por pH (ICOpH), el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) se determinó mediante la concentración de sólidos suspendidos y finalmente el índice de contaminación trófico (ICOTRO) se determinó por la concentración del fósforo total, el cual define por sí mismo una categoría discreta a saber, como se muestra en la Tabla 33.

Tabla 35.

*Clasificación del cuerpo de agua según concentración de P total.*

Estado del agua	Concentración (ppm)
<b>Oligotrofia</b>	< 0,01
<b>Mesotrofia</b>	0,01 - 0,02
<b>Eutrofia</b>	0,02 - 1,00
<b>Hipereutrofia</b>	> 1

*Nota:* Concentraciones de Fosforo según el estado del agua, por Jiménez, 2006.

En las siguientes tablas, se encuentran los resultados de los cuatro índices de contaminación ICO's calculados con las variables medidas en cada uno de los puntos de muestreo, se presentan or fecha y por punto, así como los colores establecidos para cada uno de los valores resultantes, teniendo en cuenta que el color indica el grado de contaminación del agua.

#### **7.6.16.1. ICOMI.**

Actualmente en el caño Maizaro no se presenta contaminación por mineralización en algunos puntos en las fechas planteadas, ya que en 21 de los 45 muestreos los valores de ICOMI son menores a 0,2 oscilando entre 0,053 y 0,191. La media es de 0,276 y la mediana es de 0,234 lo cual indica la homogeneidad de los ICOMI y la simetría en los valores del índice. En general se mantuvieron en el rango de muy baja contaminación por mineralización a excepción de los valores máximos que se presentaron en los puntos cuatro y cinco y los mínimos en los puntos dos y tres, como se muestra en la Tabla 36.

Tabla 36.

*Resultados del índice de contaminación por mineralización.*

Fecha de la muestra	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
08-mar-18	0,471	0,268	0,471	0,588	0,618
22-mar-18	0,405	0,253	0,418	0,657	0,639
05-abr-18	0,325	0,132	0,575	0,407	0,489
19-abr-18	0,325	0,395	0,131	0,191	0,311
03-may-18	0,113	0,131	0,058	0,127	0,161
10-may-18	0,224	0,234	0,157	0,185	0,444

Tabla 36. (Continuación).

31-may-18	0,092	0,053	0,071	0,306	0,186
14-jun-18	0,128	0,106	0,107	0,191	0,303
21-jun-18	0,236	0,135	0,135	0,165	0,307

*Nota:* Datos obtenidos en los muestreos realizados en cada uno de los puntos analizados para los índices de contaminación por mineralización, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Los puntos de muestreo 3, 4 y 5 tuvieron los mayores valores de ICOMI que corresponden a los valores más altos de conductividad y alcalinidad, esto se debe al hecho que el caño Maizaro inicia en una zona rural y atraviesa varios potreros y asentamiento subnormales cercanos a su cauce, lo que hace que se viertan y discurran diversidad de sólidos, dentro de los que se incluyen restos de material vegetal y de fertilizantes químicos, conllevando al aumento de estas dos variables y por ende al incremento del índice evaluado.

Ahora, los valores de ICOMI no fueron significativos para hablar de contaminación mineral, debido a que se encontraron por debajo de 0,2 en muestras 21 de 45, casi la mitad. Respecto a la dureza, las aguas del caño Maizaro son blandas ya que presentaron valores de entre 0 y 75 mg/L en los puntos de muestreo en las diferentes fechas.

Por otra parte, los valores de alcalinidad total, dureza total y conductividad, en la mayoría de los puntos son menores al límite permitido en la Resolución 2115 de 2007 (alcalinidad total: 200 mg/l, dureza total: 300 mg/l y conductividad menor a 1000  $\mu$ S/Cm), aunque en pocos puntos de las fechas muestreo la alcalinidad fue superior a lo que indica la resolución, con respecto a la mineralización el agua sería apta para el consumo humano. (Ver anexo 1 y 2: mapa evidenciando resultados promedio de los 4 meses de ICOMI)

#### **7.6.16.2. ICOpH.**

En absolutamente todos los puntos de muestreo de las diferentes fechas no se reporta ningún tipo de contaminación por pH (Ver Tabla 35) debido a que los valores del ICOpH son menores a 0,2. Sin embargo, se presentó un valor mínimo de 0,001 y un máximo de 0,161 lo cual solo reafirma lo mencionado al inicio. Ahora, el máximo pH que se presentó fue de 8,53 durante el primer muestreo en el punto dos. Previsiblemente dicho incremento del valor del pH se debe a que la

toma la muestra se realizó en el punto donde el caño Maizaro ingresa al casco urbano, por lo tanto, aguas abajo tiende a mantener el pH y las diferencias numéricas no son tan altas.

Tabla 37.

*Resultados del índice de contaminación por pH.*

Fecha de la muestra	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
08-mar-18	0,016	0,161	0,003	0,005	0,007
22-mar-18	0,006	0,032	0,005	0,003	0,003
05-abr-18	0,004	0,007	0,006	0,002	0,002
19-abr-18	0,005	0,012	0,005	0,002	0,003
03-may-18	0,008	0,005	0,004	0,001	0,001
10-may-18	0,005	0,006	0,008	0,001	0,002
31-may-18	0,011	0,002	0,001	0,002	0,001
14-jun-18	0,002	0,009	0,015	0,004	0,002
21-jun-18	0,001	0,012	0,009	0,005	0,007

*Nota:* Datos obtenidos en los muestreos realizados en cada uno de los puntos analizados para los índices de contaminación por pH, por Hernandez F., Paez P., 2018.

El pH de las aguas superficiales en este caso el del caño Maizaro se debe a que la longitud de este cuerpo hídrico y a su recorrido a través del casco urbano de Villavicencio varía de acuerdo a la naturaleza de los terrenos atravesados. Aunque la diversidad de especies es baja, basado en la percepción visual en gran parte del tramo del caño Maizaro en algunos puntos aguas abajo se nota un volumen de vida acuática considerable, basado en la percepción visual. (Ver anexo 3: mapa evidenciando resultados promedio de los 4 meses de ICOpH)

### **7.6.16.3. ICOSUS.**

El índice de contaminación por sólidos suspendidos se basa en los compuestos inorgánicos en suspensión. Ahora, en el caño Maizaro los puntos de muestreo no arrojaron un valor diferente a cero en ninguna de las fechas, por ende, se expresa que el agua del caño Maizaro no presenta contaminación por compuestos inorgánicos en suspensión (ver Tabla 38).

Tabla 38.

*Resultados del índice de contaminación por sólidos suspendidos.*

<b>Fecha de la muestra</b>	<b>Punto 1</b>	<b>Punto 2</b>	<b>Punto 3</b>	<b>Punto 4</b>	<b>Punto 5</b>
08-mar-18	0	0	0	0	0
22-mar-18	0	0	0	0	0
05-abr-18	0	0	0	0	0
19-abr-18	0	0	0	0	0
03-may-18	0	0	0	0	0
10-may-18	0	0	0	0	0
31-may-18	0	0	0	0	0
14-jun-18	0	0	0	0	0
21-jun-18	0	0	0	0	0

*Nota:* Datos obtenidos en los muestreos realizados en cada uno de los puntos analizados para los índices de contaminación por sólidos suspendidos, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Muchos procesos generan cantidades de sólidos que influyen adversamente en los cuerpos de agua receptores, obstruyendo el paso de la luz solar disminuyendo la actividad fotosintética de las plantas acuáticas y por lo tanto la concentración de oxígeno disuelto (Torres, 2008). Es por ello que al no presentar una cantidad de sólidos suspendidos totales aumenta el oxígeno disuelto y por lo tanto la posibilidad de encontrar diversidad biológica en el caño Maizaro. (Ver anexo 3: mapa evidenciando resultados promedio de los 4 meses de ICOMI).

#### **7.6.16.4. ICOTRO.**

Actualmente el caño Maizaro con respecto al índice de contaminación trófico se encuentra en una condición de eutrofización en los cinco puntos durante los nueve muestreos realizados, es decir que el comportamiento del fósforo total en los resultados oscilan entre 0,024 y 0,115 ppm lo que indica que el caño Maizaro en todos los puntos de muestro es eutrófico. (Tabla 39).

Tabla 39.

*Resultados del índice de contaminación trófico.*

<b>Fecha de la muestra</b>	<b>Punto 1</b>	<b>Punto 2</b>	<b>Punto 3</b>	<b>Punto 4</b>	<b>Punto 5</b>
08-mar-18	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia
22-mar-18	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia
05-abr-18	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia
19-abr-18	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia
03-may-18	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia
10-may-18	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia
31-may-18	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia
14-jun-18	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia
21-jun-18	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia

*Nota:* Datos obtenidos en los muestreos realizados en cada uno de los puntos analizados para los índices de contaminación trófico, por Hernandez F., Paez P., 2018.

Ahora, analizando los datos del fósforo total (Ver la Figura 16), se evidencia que se presentó un incremento constante en el quinto punto de muestreo, este comportamiento puede atribuirse a que algunos de los muestreos se realizaron en días soleados en la ciudad de Villavicencio, otro factor se debe a la capacidad de arrastre del caño Maizaro, es decir que la capacidad de dilución del caño Maizaro puede estar asociada a la reducción del caudal. Por otra parte, cabe destacar que el muestro realizado el 21 de junio se realizó bajo condiciones de precipitación lo que genera que el caño tenga un mayor arrastre y que los valores del índice aumenten a medida que se avanza con los puntos de muestreo. Se debe tener en cuenta que los valores del ICOTRO fueron principalmente influenciados por los fertilizantes a base de fósforo utilizados en los potreros ubicados en la parte alta del caño Maizaro y a las descargas de aguas residuales domésticas de algunos asentamientos subnormales aledaños al cuerpo hídrico. (Ver anexo 3: mapa evidenciando resultados promedio de los 4 meses de ICOTRO).

## **8. Propuestas de manejo del caño maizaro para el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico**

Cabe resaltar que de acuerdo a los análisis de los índices de contaminación el caño Maizaro no presenta una contaminación alta, por ello es imprescindible que se establezcan estrategias de tipo ambiental y urbanismo. Estas deben irse desarrollando de forma gradual, es decir a corto, mediano y largo plazo. Puede que sea un proceso lento, pero en el futuro de la ciudad de Villavicencio con relación al caño va a ser muy gratificante.

Con base al tercer objetivo específico y la actual situación del caño Maizaro con relación a los aspectos sociales y ambientales es necesario que se establezca un orden de propuestas para el mejoramiento del caño Maizaro. Para ello es necesario que los actores tengan en cuenta su entorno y la capacidad de adaptación debido a que se encuentran en la ronda del caño Maizaro.

En la actualidad los usos del suelo cercanos al caño Maizaro si presentaron una afectación significativa con el aumento o disminución en el valor de los índices de contaminación debido a que una gran parte del cuerpo hídrico está comprendido en el área urbana y otro parte menor en el área rural, lo cual ocasiona que se presente una variabilidad significativa en que el uso del suelo influya directamente en los niveles de contaminación del caño Maizaro. Con respecto a lo anterior, los resultados obtenidos evidencian que en la longitud del caño se observan rangos variados de intromisión en los cuales se puede decir que las aguas residuales domésticas y agrícolas se vierten de forma directa al cuerpo hídrico provenientes de un ineficiente servicio de alcantarillado para estos asentamientos subnormales y zonas rurales. Es decir que estas situaciones son las que alteran las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del caño Maizaro, lo cual se evidencia claramente en los resultados dados por los índices de contaminación.

Cabe resaltar la importancia de preservar los beneficios que provee el caño Maizaro al municipio de Villavicencio como fuente hídrica de captación del acueducto municipal en la planta Fuentes Altas y por último es vital visualizar el desarrollo de Villavicencio ya que de allí depende que en un futuro el caño Maizaro no se vea afectado fuertemente a tal grado que sea imposible realizar recuperación. Si bien es cierto que Villavicencio cuenta con una gran cantidad de formas de fuentes hídricas como ríos, caños, humedales y aguas subterráneas, éstas se han visto afectadas por varias razones fundamentales como el desinterés en la protección y cuidado del ambiente, ya sea por falta de cultura, mayor presencia de actores ambientales entre otras. Esto obliga a la

necesidad de conocer el estado de cada fuente hídrica del municipio tomar medidas a tiempo para mejorar la conservación del recurso hídrico.

Partiendo del comportamiento del cálculo de los índices el cual nos permite evaluar situaciones específicas de contaminación, por ello con la presente investigación da evidencia que gran parte del caño Maizaro atraviesa el casco urbano de la ciudad por ende la afectación antrópica es mayor aguas abajo, es decir que la calidad del agua se debe mejorar a raíz de su paso por la ciudad de Villavicencio.

Por otro lado, los resultados de los índices aplicados a esta investigación nos indican que actualmente no es muy grave la contaminación del caño Maizaro, sin embargo, es urgente el mejoramiento de las zonas aledañas al caño y la importancia de aumentar la cobertura vegetal, ya que es importante en época de lluvia cuando se presente el aumento del caudal, además de permitir el mejoramiento de la calidad del agua.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente en pro del mejoramiento de la calidad del agua, es importante que se adhieran aquellos actores fundamentales; los cuales son el gobierno de la ciudad, Bioagricola S.A. E.S.P. y la E.A.A.V, ya que trabajarían como un gran engranaje no solo en el mejoramiento de la calidad del agua del caño Maizaro sino también en la actual problemática de sequía y desabastecimiento de agua

## 9. Recomendaciones y discusiones

Actualmente en el recorrido del caño Maizaro se cuentan con diferentes usos del suelo en algunas zonas hay centros educativos, una penitenciaria, una funeraria, una morgue y asentamientos urbanos subnormales (Ver anexo 1 y 2), algunos de los anteriores deberían contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales ya que sus residuos son de alto riesgo para la salud humana, para ello es importante que se mejore la planta física de aquellas entidades que sus residuos generan un alto impacto ambiental. Es relevante que el gobierno de la ciudad de Villavicencio continúe con el seguimiento del comportamiento del caño Maizaro con respecto a la calidad de sus aguas, puesto que no solo sirve evaluar la calidad del agua al ingresar a la PTAP “Fuentes Altas”, sino que también desarrollar actividades de mejoramiento de las condiciones ambientales llevadas a cabo en la zona, es decir establecer alternativas de recolección de residuos sólidos y vertimientos para aquellas viviendas que no cuentan con un sistema adecuado de alcantarillado. Cabe resaltar que la autoridad ambiental realiza mediciones de caudal para otorgar a los usuarios, es decir mediciones de caudal disponible, caudal ambiental, caudal mínimo, demanda de agua y así concesionar un caudal sobre el caño Maizaro,

Por otro lado, la autoridad ambiental Cormacarena realiza un programa de monitoreo a 20 ríos y caños del Meta (Obtenido de la prensa libre del Casanare), el cual inició labores en los meses de marzo a abril del 2017 en la temporada seca con el objeto de hacer seguimiento a través de monitoreo, muestreo y aforo en 20 afluentes del Meta entre estos se encuentra el caño Maizaro (Caño de estudio), Humadea, Ocoa, Caney, Upín Río negro, caño Seco entre otros. Este monitoreo se realiza 2 veces al año para establecer la oferta de agua en los municipios y documentar el comportamiento que tengan las fuentes hídricas seleccionadas para construir una línea de base ambiental. Lo anterior da el nivel de importancia de este caño como aportante de agua dulce para las comunas del municipio.

Cuando se desarrollaron algunos muestreos bajo condiciones de precipitación se notaron cambios moderados en algunos parámetros, por ejemplo, la temperatura aumentaba lo cual afectaba la solubilidad de los gases, de sales y por ende la conductividad disminuía al igual que el pH, ya que al aumentar la temperatura disminuye el crecimiento. Sin embargo, al presentarse

precipitación se optimizaron algunas condiciones como la presencia de los sólidos suspendidos totales y el incremento del oxígeno disuelto.

Por otra parte, los datos de fosfatos indican una contaminación por fertilizantes en la cuenca alta, donde se realizan este tipo de actividades. Con relación a la carga orgánica se encontró que las mayores concentraciones se dieron a medida que se iba avanzando con los puntos de muestreo, es decir, el punto tres, cuatro y cinco. Lo anterior se puede relacionar con los asentamientos educativos, centro comercial Unicentro, la penitenciaría y comunas que se encuentran cerca al caño Maizaro que es donde se encuentran los puntos de muestro mencionados anteriormente.

En el desarrollo de la presente tesis se nota claramente que existen dos problemáticas principales en el caño Maizaro, la primera radica que en la adecuada disposición de los residuos sólidos que se observar en diversos puntos del cuerpo hídrico, la segunda y no menos importante es el incumplimiento al establecer centros urbanos a 30 metros de la ronda de un cuerpo de agua, lo cual genera no solo problemas en cambio de las características del agua ocasionados por lo vertimientos directos sino que también ponen en riesgo a la comunidad y a las viviendas que se encuentran mal ubicadas. Por ende, los vertimientos de las aguas provenientes de las actividades y asentamientos mencionados necesitarían un pretratamiento antes de ser vertidas al caño Maizaro, debido a que los índices de contaminación evaluados en la presente investigación indicaron un aumento a medida que los muestreos del cuerpo hídrico avanzaban por el casco urbano de la ciudad.

## 10. Conclusiones

En el momento del desarrollo de los muestreos se observa que la tendencia con referencia a las concentraciones y valores numéricos de los demás parámetros de la calidad del agua en el caño Maizaro, tiende a incrementar levemente a partir del segundo punto de muestreo, sin embargo la calidad del cauce no se altera drásticamente debido a los procesos de autodepuración natural del cuerpo hídrico, es decir que los resaltos en la topografía del caño permiten que en el caño se genere oxigenación permitiendo que las condiciones del agua sea buena y favorable para la presencia de organismos vivos.

De acuerdo a los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación los puntos más problemáticos fueron aquellos que se encuentran al interior del casco urbano de la ciudad, es decir el punto 2, 3, 4 y 5 debido a que se encontraban en zonas de difícil acceso y la afectación antrópica se evidenciaba por vertimientos y residuos que se realizaban en estos puntos lo que generaba un aumento en los parámetros analizados, lo nombrado anteriormente ocasionaba que los procedimientos y los análisis en el laboratorio se llevaran a cabo de una forma muy rigurosa en cada muestreo en campo para así tener mayor fiabilidad de los datos obtenidos.

El incremento a partir de punto de muestreo tres, cuatro y cinco con relación al grado de eutrofización por las concentraciones de fósforo posiblemente se debe a que las aguas del caño Maizaro se enriquecen con nutrientes de diversas fuentes, debido a que los puntos nombrados anteriormente tienen a diario vertimientos constantes, es decir que el caño Maizaro al irse cargándose de nutrientes entra en un grado de eutrofia. El efecto de lo anterior genera que el agua se enturbie y que las algas y algunos organismos cuando mueran sean descompuestos por las bacterias y que se haga un gasto de oxígeno en el caño. Por ende, no podrían vivir peces en algunos puntos del caño Maizaro debido al consumo de oxígeno.

Actualmente la relación DBO y DQO es muy relevante en caño Maizaro ya que aunque el valor máximo permisible de la DQO se encuentre dentro de lo establecido por la norma, en contraste con lo que refleja la DBO, la capacidad de autodepuración del caño es muy baja, es decir que el cociente DBO/DQO se encuentra por encima de 0,6 lo cual se interpreta que los vertimientos del caño Maizaro son de aguas residuales urbanas. Por ello, aunque la DQO se encuentre el rango permitido por la norma la DBO no lo está, por ello el agua del caño Maizaro no cumple con la

normatividad colombiana con el parámetro de DBO para su posterior captación, tratamiento y distribución. Cabe resaltar que por lo mencionado anteriormente no sería viable realizar la captación desde uno de los puntos seleccionados para el muestreo que se encuentre dentro del área urbana de Villavicencio debido a las altas cargas orgánicas que se vierten a diario al caño Maizaro.

## 11. Bibliografía

- Aguilera, K. L., Quintero, J. A., & Rojas, K. N. (2017). *Modelación hidráulica para el sector comprendido entre el K18+000 hasta el K20+000 de la cuenca del caño Maizaro (zona baja)*. Villavicencio, Meta. Tesis de grado. Universidad Cooperativa de Colombia. Villavicencio, Colombia. Obtenido de: [http://repository.ucc.edu.co/bitstream/ucc/4355/1/2017\\_modelacion\\_hidraulica\\_sector.pdf](http://repository.ucc.edu.co/bitstream/ucc/4355/1/2017_modelacion_hidraulica_sector.pdf)
- Baptista, C. B. (S.f). *Contaminación de agua y suelos*. Recuperado el 25 de febrero de 2018, del Instituto de Investigaciones Tecnológicas de Sao Paulo. Obtenido de: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/agua-suelos.pdf>
- Binder, K. G. (2002). Factores determinantes de la contaminación ambiental y del uso de los recursos naturales. *Universidad Nacional de Colombia. Innovar* (20), 101-110. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/inno/v12n20/v12n20a07.pdf>
- Calderón, L. J. (2017). *Lineamientos metodológicos en función de la participación y formación de líderes comunitarios que permita mitigar la vulnerabilidad de comunidades asentadas en zonas de riesgo: Caso de estudio Comunidad Siete de Agosto "Caño Maizaro"*. Tesis de grado. Universidad de la Salle, Villavicencio, Colombia. Obtenido de: <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/18647>
- Chavarro, A. G., Gélvez, E J. (2016). Caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha, utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo. *Mutis*, 6 (2), 19-31. Obtenido de: [https://www.researchgate.net/publication/309137343\\_Caracterizacion\\_de\\_la\\_calidad\\_de\\_las\\_aguas\\_de\\_la\\_quebrada\\_Fucha\\_utilizando\\_los\\_indices\\_de\\_contaminacion\\_ICO\\_con\\_respecto\\_a\\_la\\_precipitacion\\_y\\_usos\\_del\\_suelo](https://www.researchgate.net/publication/309137343_Caracterizacion_de_la_calidad_de_las_aguas_de_la_quebrada_Fucha_utilizando_los_indices_de_contaminacion_ICO_con_respecto_a_la_precipitacion_y_usos_del_suelo)
- Coello, J. R., Ormazá, R. M., Déley, Á. R., Recalde, C. G., & Ríos, A. C. (2013). Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador. *Revista de Investigación UNMSM*, 16(31). Obtenido de: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11281>

- Espinal, T., Sedeño, J., & López, E. (2013). Evaluación de la calidad del agua en la Laguna de Yuriria, Guanajuato, México, mediante técnicas multivariadas: un análisis de valoración para dos épocas 2005, 2009-2010. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29(3). Obtenido de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992013000300002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000300002)
- Fernández, N., & Solano, F. (2005). Índices de calidad (ICAs) y de contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial. En *índices de Calidad y contaminación del Agua*, (págs. 56-60). España: Universidad de Pamplona. Obtenido de: [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIG/home\\_10/recursos/general/pag\\_c\\_ontenido/libros/06082010/icatest\\_capitulo3.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIG/home_10/recursos/general/pag_c_ontenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf)
- García, V. (2014). *Análisis y aplicación de estrategias para la recuperación del Caño Buque en Villavicencio, Colombia. Tesis de grado*. Instituto Universitario en Ciencia y Tecnologías de la Sostenibilidad, Bogotá, D.C., Colombia. Obtenido de : <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/78359>
- Guarín, W. A., & Herrera, L. C. (2018). *Propuesta diseño parque lineal a la ronda caño Maizaro tramo central entre la comuna 3 y 7 de Villavicencio, Meta. Tesis de grado*. Universidad Cooperativa de Colombia, Villavicencio, Colombia. Obtenido de: [http://repository.ucc.edu.co/bitstream/ucc/4267/1/2018\\_propuesta\\_diseno\\_%20parque.pdf](http://repository.ucc.edu.co/bitstream/ucc/4267/1/2018_propuesta_diseno_%20parque.pdf)
- Mejía, M. R. (2005). *Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El Limón. Tesis de grado*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. San Jerónimo, Honduras. Obtenido de: [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/302/Analisis\\_de\\_la\\_calidad\\_del\\_agua\\_para\\_consumo\\_humano.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/302/Analisis_de_la_calidad_del_agua_para_consumo_humano.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (S.f). *Protección de la calidad y el suministro de los recursos de agua dulce: Aplicación de criterios integrados para el aprovechamiento, ordenación y uso de los recursos de agua dulce*. en Departamento de Asuntos Economicos y Sociales, División de Desarrollo sostenible. Programa 21. Obtenido de: <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter18.htm>

- Ramírez, A., & Reina, F. (1990). *Estudio Preliminar de las Aguas de la Cuenca del Caño Maizaro : Calidad, contaminación y usos. Tesis de grado*. Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia. Obtenido de: [https://catalogo.unillanos.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=930&shelfbrowse\\_itemnumber=2069](https://catalogo.unillanos.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=930&shelfbrowse_itemnumber=2069)
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Cardeñosa, M. (1999). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. Formulación y aplicación. *Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(5), 135-153. Obtenido de: [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)
- Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. (S.f ). *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. Recuperado el 2 de mayo de 2018*, de CYTED. Obtenido de: <https://www.revistavirtualpro.com/revista/el-agua-potable/29>
- Romero, S., García, J., Valdez, B., & Vega, M. (2010). Calidad del Agua para Actividades Recreativas del Río Hardy en la Región Fronteriza México-Estados Unidos. *Información tecnológica*, 21(5), 68-78. Obtenido de: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642010000500010](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642010000500010)
- Samboni, N., Carvajal, E., & Reyes, T. (2011). Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta. *Ingeniería y competitividad*, 13(2), 49-60. Obtenido de: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/3448/1/04Art.pdf>
- Segura, L. E. (2007). *Estudio de antecedentes sobre la contaminación hídrica en Colombia. Tesis de grado*. Escuela Superior de Administración Pública. Bogotá, Colombia. Obtenido de: <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/estudio%20de%20antecedentes%20sobre%20la%20contaminaci%C3%B3n%20h%C3%ADdrica.pdf>
- Soode, T., Mehran, A., & Afshin, T. (2011). Study of chemical, physical and microbial quality of Gargar river, SW, IRAN, using NSF Water Quality Index. *Jundishapur Journal Of Health Sciences*, 3(4), 55-64. Obtenido de: <https://www.sid.ir/En/Journal/ViewPaper.aspx?ID=246870>
- Torres, D. P. (2008). Diagnóstico de la calidad del agua de la Microcuenca Sancotea. *Investigación y Tecnología. Universidad Libre de Colombia*, Socorro, Santander. Obtenido de:

<http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista7/articulos/Diagnostico-de-la-calidad-del-agua-de-la-microcuenca-Sancotea.pdf>

Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Ingenierías de Medellín*, 8(15 especial), pp., 79-94. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO]. (2003). *Water for people, water for life: Executive Summary of the UN World Water Development Report*. Paris, France: First published by the United Nations. <https://sswm.info/node/458>

Universidad de Pamplona. (S.f). Índices en Colombia. En *Índices de calidad (ICAs) y de Contaminación (ICOs) del agua de importancia mundial* (págs. 105-112). Obtenido de: <https://es.investing.com/indices/colombia-indices>

Valverde, A., Moreno, E., & Ortiz, N. Y. (2015). Análisis de la calidad de varios cuerpos de aguas superficiales en Bahía Solano utilizando índices de contaminación. *Investigación, Biodiversidad y Desarrollo*, 1(34), 14-21. Obtenido de: <http://revistas.utch.edu.co/ojs5/index.php/revinvestigacion/article/view/553>

Yunes, M. (2017). *Licenciatura en saneamiento y protección ambiental*. Argentina: Universidad Nacional del Comahue. Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud. Obtenido de: <http://www.universia.com.ar/estudios/universidad-nacional-comahue/licenciatura-saneamiento-proteccion-ambiental/st/226054>