

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD EN LA CALIDAD DEL AGUA, A PARTIR DEL USO
DE INDICES DE CONTAMINACIÓN (ICO's) COMO APOORTE AL POMCA DE LA
CUENCA DEL RÍO GUAYURIBA



VALENTINA MONTERO MURCIA
YAZZIEL RAMÍREZ DALEL

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2018

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD EN LA CALIDAD DEL AGUA, A PARTIR DEL USO
DE INDICES DE CONTAMINACIÓN (ICO's) COMO APOORTE AL POMCA DE LA
CUENCA DEL RÍO GUAYURIBA

VALENTINA MONTERO MURCIA
YAZZIELL RAMÍREZ DALEL

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

Asesor:

Ing. JAIR ESTEBAN BURGOS CONTENTO
Ingeniero Ambiental

Codirector:

Ing. HELBER ROLANDO SOLER
Ingeniero Ambiental
Director del área de POMCAS

Corporación para el Desarrollo Sostenible del área de Manejo Especial de la Macarena
(CORMACARENA)

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2018

Autoridades Académicas

P. JUAN UBALDO LÓPEZ SALAMANCA, O. P.

Rector General

P. MAURICIO ANTONIO CORTÉS GALLEGO

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ARTURO RESTREPO RESTREPO, O. P.

Rector Sede Villavicencio

P. FERNANDO CAJICÁ GAMBO, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de la Facultad de Ingeniería Ambiental

JAIR ESTEBAN BURGOS CONTENTO

Director trabajo de grado

VERONICA DUQUE PARDO

Jurado

JAIME ARTURO OREJARENA CUARTAS

Jurado

Villavicencio, 2 de agosto de 2018

A mis padres y hermana por ser mi soporte durante todo mi proceso de formación profesional y personal, pero sobre todo por su amor incondicional.

Valentina Montero Murcia.

A mi madre quien ha sido mi pilar durante toda mi vida, por haberme forjado como la persona que soy; muchos de mis logros se los debo a ella entre los que se incluye este. Este proyecto no fue fácil, pero estuvo motivándome y ayudándome hasta donde sus alcances se lo permitían.

Yazziell Ramírez Dalel.

Agradecimientos

Gracias a Dios, por darme la oportunidad de vivir, por estar conmigo en cada paso que doy, iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Gracias a nuestro Director del proyecto, Ingeniero Jair Burgos por su gran apoyo, orientación y atención a nuestras consultas para el desarrollo del proyecto y la motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y la elaboración del mismo. De igual manera a todos los docentes que hicieron parte de mi formación profesional y a la entidad CORMACARENA que nos proporcionó la información necesaria para hacer posible este proyecto.

A mi madre Nancy Murcia, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, por los valores que inculco en mí, pero más que nada, por su amor incondicional.

A mi padre Ramiro Montero, por los ejemplos de perseverancia, honestidad y esfuerzo que lo caracterizan, por todo lo que hicimos para lograr este sueño y por su amor.

Valentina Montero Murcia.

Agradezco a Dios por estar siempre a mi lado guiándome y ayudándome a aprender de mis errores, por permitirme culminar mi carrera, gracias también por tener y disfrutar a mi familia, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo bella que es y lo justa que puede llegar a ser.

A la universidad que me dio la bienvenida y me brindo oportunidades incomparables, ayudándome a formar como una profesional integra.

Gracias a nuestro director Jair Burgos, quien se tomó el trabajo de transmitirnos sus conocimientos, por su dedicación y apoyo para encaminar y desarrollar nuestro proyecto pues sin su ayuda y conocimientos no hubiese sido posible realizar este trabajo. Igualmente, a todos los profesores que nos ayudaron con las inquietudes durante todo el desarrollo del proyecto y a CORMACARENA que nos brindó toda la información necesaria para hacer posible este proyecto.

A mis padres, por haberme proporcionado la mejor educación y lecciones de vida.

En especial a mi madre Fairut Dalel, quien ha sido mi principal cimiento en toda mi vida, por luchar inalcanzablemente para verme convertida en profesional, sentó en mi la base de responsabilidad y deseos de superación pues me enseñó que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se consigue, sobre todo por su amor infinito hacia a mí.

Yazziell Ramírez Dalel

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. Introducción	3
2. Planteamiento del problema.....	4
2.1. Descripción del problema	4
2.2. Formulación entorno al problema.....	5
3. Objetivos	6
3.1. Objetivo General.....	6
3.2. Objetivos Específicos	6
4. Justificación	7
5. Alcance del proyecto.....	8
6. Antecedentes	10
7. Marco de referencia	14
7.1. Marco teórico	14
7.2 Marco conceptual.....	15
7.2.1 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.	16
7.2.2 Índices de contaminación (ICO's).	20
7.3. Marco Legal	21
8. Metodología	23
8.1 Fase I. Recolección de información.....	23
8.2 Fase II. Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.	24
8.2.1 Reconocimiento del área de estudio.	24
8.2.2 Diseño de muestreo.....	25
8.2.3 Calculo de ICO's.....	33
8.3 Fase III. Análisis estadístico.	36

8.4 Fase IV. Análisis y comparación de ICO's.....	36
9. Resultados y análisis	37
9.1 Reconocimiento del área de estudio	37
9.2 Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.	38
9.2.1 Resultado de los parámetros con mediciones in situ.	39
9.2.2 Resultados de los parámetros con mediciones ex situ.	41
9.3 Análisis estadístico descriptivo de los parámetros.....	46
9.3.1 Alcalinidad.	50
9.3.2 Conductividad.	52
9.3.3 Coliformes Totales.	54
9.3.4 DBO ₅	56
9.3.5 Dureza.	58
9.3.7 Oxígeno Disuelto.	62
9.3.8 pH.....	64
9.3.9 SSD.	66
9.3.10 Temperatura del agua.....	68
9.4 Cálculo y análisis de los de los ICO's	70
9.4.1 Calculo de ICO's para el año 2018.	70
9.4.2 Variabilidad de los ICO's entre el año 2010 y 2018.....	72
10. Conclusiones	78
Discusión.....	80
Recomendaciones	81
Referencias bibliográficas.....	82
Anexos	91

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Marco Legal	21
Tabla 2. Estaciones de muestreo en el rio Guayuriba para el 2010.	24
Tabla 3. Procedimiento para las soluciones de la DBO5.	28
Tabla 4. Preparación de diluciones para la curva patrón.	30
Tabla 5. Barrido de longitudes para cada patrón	31
Tabla 6. Rangos Índice de contaminación.	34
Tabla 7. Estaciones de muestreo en el río Guayuriba para el 2018.	37
Tabla 8. Fechas de muestreos en el 2018.	38
Tabla 9. Recipientes utilizados por muestreo	38
Tabla 10. Valores para la conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$).	40
Tabla 11. Valores para el oxígeno disuelto (mg/l).	40
Tabla 12. Valores para el pH.	40
Tabla 13. Valores para la temperatura ($^{\circ}\text{C}$).	41
Tabla 14. Valores para la alcalinidad total (mg/l).	41
Tabla 15. Valores para los Coliformes totales.	42
Tabla 16. Valores para DBO5.	43
Tabla 17. Valores para la dureza total (mg/l).	44
Tabla 18. Valores para el fósforo (mg/l).	45
Tabla 19. Valores para los sólidos (mg/l)	46
Tabla 20. parámetros que presentan valores atípicos.	47
Tabla 21. Estadísticos descriptivos para la alcalinidad.	50
Tabla 22. Estadísticos descriptivos para la conductividad.	52
Tabla 23. Estadísticos descriptivos para los Coliformes totales	54
Tabla 24. Estadísticos descriptivos para la DBO5.	56
Tabla 25. Estadísticos descriptivos para la dureza.	58
Tabla 26. Estadísticos descriptivos para el fósforo.	60
Tabla 27. Estadísticos descriptivos para el oxígeno disuelto.	62
Tabla 28. Estadísticos descriptivos para el pH.	64

Tabla 29. Estadísticos descriptivos para los SSD.	66
Tabla 30. Estadísticos descriptivos para la temperatura del agua.....	68
Tabla 31. Resultados de los ICO's para el año 2018 en TS.....	70
Tabla 32. Lectura de los ICO's para el año 2018 en TS	70
Tabla 33. Resultados de los ICO's para el año 2018 en TLL	71
Tabla 34. Lectura de los ICO's para el año 2018 en TLL	71
Tabla 35. Resultados de los ICO's para el año 2010 en TS.....	72
Tabla 36. Lectura de los ICO's para el año 2010 en TS	73
Tabla 37. Porcentaje de variación de los ICO's según los años 2010 y 2018.	74

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Curvas de diferentes longitudes.....	32
Gráfico 2. Curva patrón 500nm	32
Gráfico 3. Comportamiento de la alcalinidad en TS y TLL	32
Gráfico 4. Comportamiento espacial y temporal de la alcalinidad.....	50
Gráfico 5. Comportamiento de la conductividad en TS y TLL	52
Gráfico 6. Comportamiento espacial y temporal de la conductividad.....	52
Gráfico 7. Comportamiento de los Coliformes en TS y TLL	54
Gráfico 8. Comportamiento espacial y temporal de los Coliformes.....	54
Gráfico 9. Comportamiento de laDBO5 en TS y TLL	56
Gráfico 10. Comportamiento espacial y temporal de la DBO5.....	56
Gráfico 11. Comportamiento de la dureza en TS y TLL	58
Gráfico 12. Comportamiento espacial y temporal de la dureza.....	58
Gráfico 13. Comportamiento del fósforo en TS y TLL	60
Gráfico 14. Comportamiento espacial y temporal del Fósforo.....	60
Gráfico 15. Comportamiento del oxígeno disuelto en TS y TLL	62
Gráfico 16. Comportamiento espacial y temporal del oxígeno disuelto.....	62
Gráfico 17. Comportamiento del pH en TS y TLL.....	64
Gráfico 18. Comportamiento espacial y temporal del pH.....	64
Gráfico 19. Comportamiento de los sólidos en TS y TLL.....	66
Gráfico 20. Comportamiento espacial y temporal de los sólidos.....	66
Gráfico 21. Comportamiento de la temp. del agua en TS y TLL	68
Gráfico 22. Comportamiento espacial y temporal de la temperatura del agua.....	68

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Tipos de recipientes.....	38
Ilustración 2. Toma de muestra	38
Ilustración 3. Limpieza del Multiparámetro.....	39
Ilustración 4. Lectura con el Multiparámetro.....	39
Ilustración 5. Cambio de color del método titulación	42
Ilustración 6. Tubos para Coliformes totales.....	43
Ilustración 7. Medición de oxígeno disuelto y botellas Winkler.....	44
Ilustración 8. Cambio de color método EDTA.....	45
Ilustración 9. Muestras con sachet de phosphorus.	45
Ilustración 10. Prueba del cono Imhoff	46

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Cálculo para los Coliformes (mg/l).....	27
Ecuación 2. Cálculo para la alcalinidad (mg/l)	28
Ecuación 3. Cálculo para la DBO5 (mg/l)	29
Ecuación 4. Cálculo para la dureza (mg/l)	30
Ecuación 5. Cálculo para el fósforo (mg/l)	33
Ecuación 6. Cálculo del ICOMO	34
Ecuación 7. Cálculo del ICOSUS	35
Ecuación 8. Cálculo del ICOMI.....	35

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Mapa de ubicación puntos de muestreo.....	91
ANEXO 2. Flujograma metodológico.....	92
ANEXO 3. Registro fotográfico, puntos de muestreo.....	93
ANEXO 4. Precipitación media mensual multianual de la cuenca del río Guayuriba.....	102
ANEXO 5. Tabla NMP.	103
ANEXO 6. Diagramas de cajas y bigotes sin valores atípicos.....	104

Resumen

El presente trabajo realiza un análisis comparativo de la variabilidad de la calidad del agua haciendo uso de los índices de contaminación como un acercamiento a la caracterización general de las aguas superficiales de la cuenca del Río Guayuriba localizado en jurisdicción del departamento del Meta y de la Corporación para el desarrollo sostenible del área de manejo especial la macarena (CORMACARENA). Para ello se han empleado los índices de contaminación, ICO's, estimados a partir de información primaria recolectada en 6 (seis) puntos con 6 (seis) repeticiones de medición distribuidos espacialmente en la cuenca.

En el presente se expone un método no experimental para evaluar y cuantificar la contaminación de la cuenca del río Guayuriba, se aplicaron cuatro índices de contaminación (ICO): índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS), índice de contaminación por mineralización (ICOMI) y el índice de contaminación por trofia (ICOTRO); a través de 36 muestras determinadas en 6 estaciones de muestreo por medio de mediciones en campo (In situ) y en laboratorio (Ex situ).

Los resultados se analizaron en dos momentos (estadístico de los parámetros y comparativo de los índices), para el primero se hallaron las diferencias significativas de los resultados de los parámetros del 2018, en cuanto al segundo se compararon los resultados de los índices de contaminación para el 2010 y el 2018; de manera que fue posible generar un documento apto que presentara los resultados obtenidos en la investigación como insumo para el POMCA de la cuenca.

Se resalta la pertinencia de seguir empleando los índices de contaminación como los usados en este trabajo para caracterizar las aguas superficiales, ya que permiten diferenciar los procesos físicos y antrópicos que ejercen mayor presión sobre la calidad del agua, y responden con menor número de variables la caracterización de las aguas superficiales permitiendo establecer los usos del recurso más adecuados de acuerdo al Decreto 3930 de 2010 del Ministerio de Medio ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Palabras Clave: Índice de contaminación, Río Guayuriba, POMCA, caracterización de aguas superficiales.

Abstrac

This project makes a comparative analysis of the variability of water quality using the pollution indexes as an approach to the general characteristics of the surface waters of the Guayuriba river basin located in the jurisdiction of the Department of Meta and the Corporation for the sustainable development of the special management area la Macarena (Cormacarena). To do this, it has pollution indexes, ICO, estimates of primary information collected in 6 (six) points with 6 (six) repetitions of measurement distributed in the basin.

A non-experimental method to evaluate and quantify the contamination of the Guayuriba river basin is presented, four pollution indices (ICO) were applied: index of contamination by organic matter (ICOMO), index of contamination by suspended solids (ICOSUS), index of contamination by mineralization (ICOMI), and index of contamination by trophy (ICOTRO); through 72 samples determined in 6 sampling stations by means of field measurements (In situ) and laboratory (Ex situ).

The results were analyzed in two moments (statistic of the parameters and comparative of the indices), for the first were found the significant differences of the results of the 2018 parameters, for the second, the results of the contamination indices were compared. 2010 and 2018; so that it was possible to generate a document that presented the results obtained in the research as an input for the POMCA of the basin.

The pertinence of continuing to use pollution indexes such as those used in this project to characterize surface water is highlighted, since it allows to differentiate the physical and anthropic processes that exert greater pressure on water quality, and explain with fewer variables the characterization of surface water allowing to establish the most appropriate uses of the resource according to decree 3930 of 2010 of the Ministry of environment, housing and territorial development.

Keywords: Pollution index, Guayuriba River, POMCA, surface water characterization.

1. Introducción

Como parte del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de una cuenca (Decreto 1729 de 2002) (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) en su fase de diagnóstico, las corporaciones ambientales deben realizar una caracterización de la variabilidad espacial y temporal de la calidad del agua de las fuentes superficiales, que permita establecer los usos del recurso más adecuados de acuerdo con el Decreto 3930 de 2010 del Ministerio de Medio ambiente, vivienda y desarrollo territorial (P. Torres, Cruz, & Patiño, 2009) así como determinar la capacidad asimilativa de los cuerpos de agua para mantener variables de calidad del agua por debajo de intervalos de concentración permisibles según las normas. Por otra parte, los mecanismos de recuperación y/o protección establecidos en la sexta fase de monitoreo y evaluación que permiten alcanzar los objetivos de calidad del agua de las fuentes de una cuenca deben ser aplicados consecutivamente para tener conocimiento de los procesos naturales y antrópicos que ejercen mayor presión sobre las mismas (Jimenez, M y velez, 2007).

En este trabajo se realiza una caracterización de las aguas superficiales de la cuenca del río Guayuriba localizado en la jurisdicción del departamento del Meta y de la Corporación para el desarrollo sostenible del área de manejo especial la macarena, que incumbe a los municipios de Villavicencio, Acacias, San Carlos de Guaroa y Puerto López (cormacarena 2009) orientada a la identificación de las variables físico-químicas y microbiológicas más relevantes en términos de su magnitud (respecto a estándares de calidad) y variabilidad espacio-temporal para un plan de monitoreo adecuado de acuerdo con la sexta fase de monitoreo y evaluación del POMCA establecido en el Decreto 3930 de 2010 (P. Torres et al., 2009)

Para evaluar la caracterización de las aguas y el grado de contaminación en los puntos monitoreados en la cuenca se han empleado los (ICO's) propuestos por (Restrepo; Ramirez; Cardenosa, 1997) que se basan en técnicas de agregación de variables que explican diferentes mecanismos de contaminación, se hace a partir de ecuaciones que contemplan un amplio rango de variación de las variables. Su determinación requiere la medición de parámetros como oxígeno disuelto, Coliformes fecales, potencial de hidrogeno (pH), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), fosfatos, temperatura del agua, alcalinidad, dureza, conductividad y sólidos suspendidos.

2. Planteamiento del problema

2.1. Descripción del problema

La contaminación del recurso hídrico es cualquier alteración de las características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas (Aguayo, 2015), como resultado de procesos producidos de forma inevitable por las fuerzas de la naturaleza. Como, erupciones volcánicas, tormentas, descomposición de materia orgánica y la actividad humana. (Hahn-vonHessberg, Ricardo, & Grajales, 2009).

El agua es un componente imprescindible en la vida del planeta y para el hombre se considera como su principal fuente de vida (Guevara & Liliam, 2009), sin embargo en la actualidad se han incorporado una gran variedad de elementos extraños en las aguas superficiales, que han generado un deterioro en la calidad de las mismas (Segura, 2007).

Las sustancias extrañas presentes en los cuerpos de agua son uno de los mayores problemas que se presentan en el recurso hídrico (Burguet, 2014), la introducción de estas sustancias se está llevando a cabo por vertimientos, derrames, desechos y depósitos directos o indirectos de toda clase de materiales y en general todos los hechos susceptibles de provocar un incremento de la degradación de la calidad del agua (Gómez Hernández & Rojascano, 2014), que generan una modificación de sus características físicas, químicas o bacteriológicas; provocando un impacto a corto y largo plazo sobre la fuente receptora (Margarita & Alfaro, 2015).

Es por ello que actualmente se están generando problemas ambientales en las fuentes hídricas que a su vez provocan problemas de salud como enfermedades digestivas y presencia de vectores como moscas y zancudos. (Margarita & Alfaro, 2015). El problema principal del agua en Colombia es, por tanto, un asunto de calidad por la contaminación proveniente de los patógenos y nutrientes incorporados por vertimientos. (Rendón, Agudelo, & Hernández, 2010).

Según el Decreto 1594 del (Ministerio de Agricultura de Colombia, 1984), en Colombia, el uso del agua está destinada a diversas actividades según los límites permisibles para cada una de ellas.

Su empleo debe ser para actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres, sin causar alteraciones sensibles en ellos (P. Torres et al., 2009), sin embargo a nivel nacional la contaminación hídrica ha desencadenado un sinnúmero de problemas con respecto al uso de las aguas superficiales (Velasquez Muñoz, 2005). La cuenca del río Guayuriba no tiene datos del estado actual de los parámetros necesarios para calcular los Índices de contaminación, por lo que no es posible determinar la condición de sus aguas, esto genera un problema con respecto a la toma de decisiones sobre la planificación de la cuenca que permita establecer los usos del recurso más adecuados y además identificar los posibles daños en todo su ecosistema, teniendo en cuenta que esta fuente es receptora de vertimientos industriales y domésticos. (Cormacarena, 2009c)

De acuerdo con el decreto 1640 del 2012, los POMCA se deben formular bajo seis fases: *Fase de aprestamiento; de diagnóstico; de prospectiva y zonificación; de formulación; de ejecución y de seguimiento y evaluación* (Ministerio de Medio Ambiente y desarrollo, 2012). El POMCA de la cuenca del río Guayuriba se encuentra formulado dando cumplimiento a las cinco primeras fases, al no trabajar en la sexta fase, no se tiene un monitoreo sobre la calidad del agua de la cuenca y por ende se desconoce la situación en la que se encuentra actualmente esta fuente hídrica; cohibiendo a las entidades encargadas de realizar actividades en beneficio de la misma.

2.2. Formulación entorno al problema

¿Cuál es la variabilidad de la contaminación del agua superficial en la Cuenca del río Guayuriba, a partir del uso de los índices de contaminación (ICO's) analizando el estado de sus parámetros desde la formulación del POMCA en el año 2010 y los actuales 2018?

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

1. Analizar la variabilidad de los índices de contaminación (ICO's), a partir de la medición de parámetros físico-químicos y microbiológicos, haciendo una comparación con los índices establecidos del POMCA en el año 2010 y los actuales en la cuenca del río Guayuriba.

3.2. Objetivos Específicos

1. Determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos necesarios para calcular los ICO's a partir de muestreos in situ y ex situ en cada uno de los puntos de muestreo.

2. Analizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a partir de estadística descriptiva y determinar los índices de contaminación ICO's para el año 2018.

3. Analizar y comparar el cambio de la caracterización del agua, según los resultados de los índices de contaminación (ICO's) en el año 2010 y 2018 en la cuenca del río Guayuriba.

4. Justificación

El objeto de la investigación nace por la estratégica posición, riqueza hídrica, biológica y social que posee la Cuenca del Río Guayuriba y la alta productividad de sus suelos, que termina por constituir un escenario de alta importancia para la conservación de la oferta natural y el desarrollo de la región (Cormacarena, 2008b). En este caso es pertinente determinar la variabilidad de la caracterización de agua en la Cuenca del río en jurisdicción de los municipios de Acacias, Villavicencio, San Carlos de Guarao y Puerto López Meta.

El propósito del estudio fue realizar un análisis comparativo de la variabilidad de la caracterización del agua en la Cuenca mediante la implementación de los índices de contaminación (ICO's), ya que con ellos se reconoce de una manera ágil y fácil los problemas de contaminación, sin la necesidad de recurrir a la interpretación de las variables fisicoquímicas por separado teniendo en cuenta que son numerosas las que se encuentran en los cuerpos de agua. (Peña, 1982)

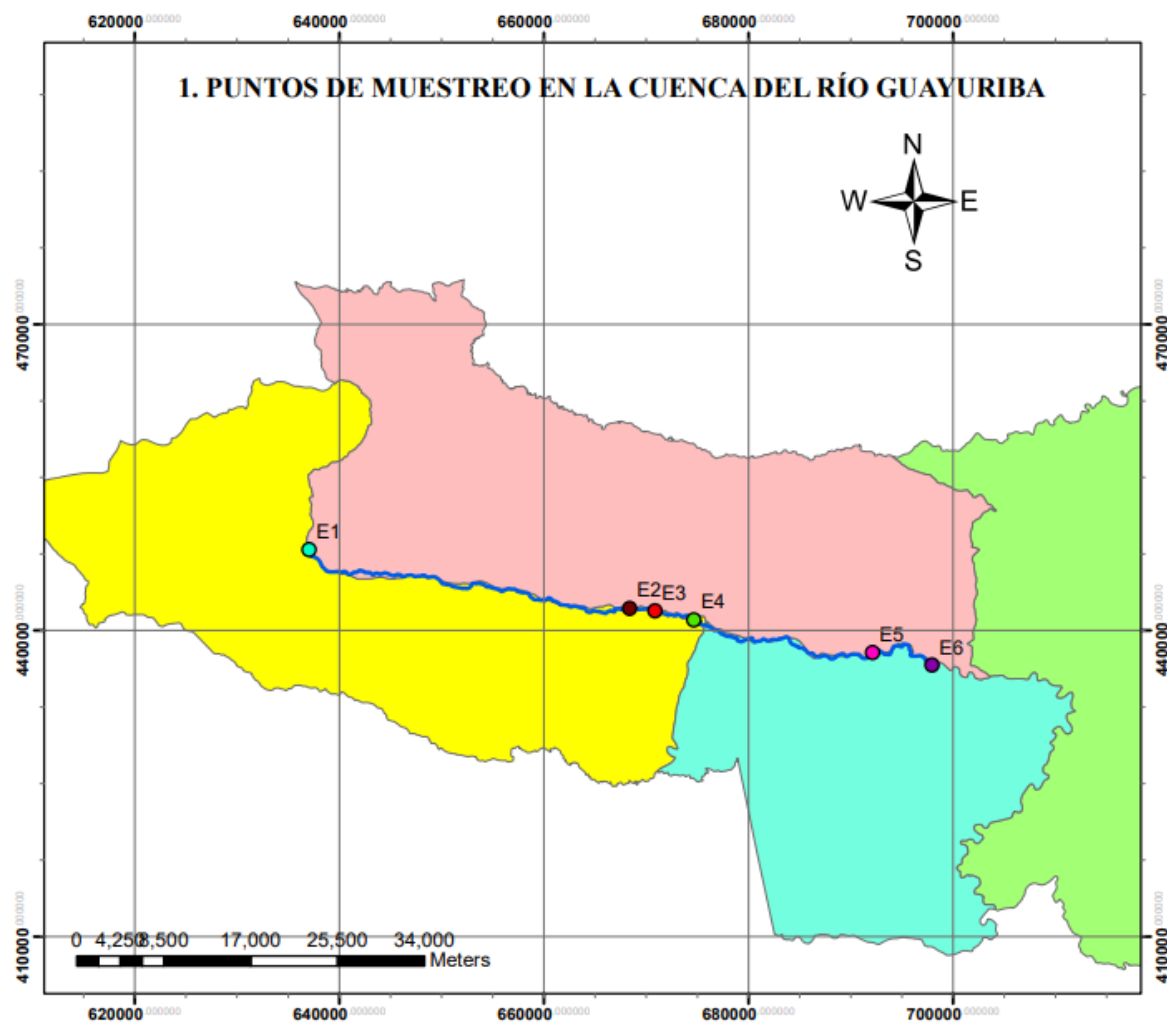
El perfil de un ingeniero ambiental, tienen la capacidad de evaluar los daños en suelo, aire, agua, y atmósfera; y de prevenir, afrontar y reducir los daños al medio ambiente integrando la parte social (Universidad Santo Tomas, 2017), por lo que fue imprescindible en la participación del proyecto para aportar en la formulación del POMCA de la cuenca del río Guayuriba, para que esta pueda mantener un equilibrio entre el aprovechamiento social y económico de los recursos; la conservación de la estructura biofísica de la cuenca y la planificación de programas a la conservación, protección, restauración y prevención del deterioro de la misma. (Ambiente, 2009)

De acuerdo con lo anterior, fue necesario ejecutar el proyecto para la evaluación y seguimiento de la caracterización del agua en la Cuenca media-bajo del río Guayuriba y poder obtener resultados tangibles, que permitieron realizar una evaluación eficiente y objetiva del cambio en las características de dicho componente de la Cuenca a través de los años. A demás este estudio fue apto como insumo para las estrategias que CORMACARENA formulará para la actualización del POMCA en beneficio de la cuenca, aportando en la sexta fase de monitoreo y evaluación de la formulación de un POMCA según lo establecido en el decreto cuenca (Decreto 1729 de 2002) (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial)

5. Alcance del proyecto

Este trabajo se desarrolló en la parte media-baja de la Cuenca del río Guayuriba que hace parte de una cuenca de mayor orden denominada Blanco-Negro Guayuriba, ordenada por CORPORINOQUIA y CORMACARENA, quienes trabajan para planificar y ordenar la cuenca de acuerdo a lo establecido en el decreto 1729 de 2002 (Cormacarena, 2009b).

La cuenca del río Guayuriba hace parte de las cuencas concernientes al río Metica, principal tributario del río Meta, ubicada en la vertiente oriental de la Cordillera Oriental, posee una área aproximada de 116.935 (Hc) y una extensión de 1132.5 km², donde el (1.3%) del territorio se encuentra localizado en el Nor-occidente del departamento del Meta (Anexo 1), en el que 493.7 km², (43.6%) incumben al municipio de Villavicencio, 36.1 km², (38.5%) al municipio de Acacias, 160.7 km², (14.2%) al municipio de San Carlos de Guaroa y 42.0 km², (3.7%) al municipio de Puerto López. La Cuenca limita al sur con los municipios de San Acacias y San Carlos de Guaroa, al oriente con el municipio de Puerto López, al norte con el municipio de Villavicencio y al occidente con el departamento de Cundinamarca, las coordenadas planas de los extremos de la subcuenca con origen Bogotá son 964000E, 1014000N y 922000E, 1111000N (Cormacarena, 2009b). El río recorre aproximadamente 56 kilómetros desembocando en el río Meta. (Cormacarena, 2008b). (**ANEXO 1**)



El presente establece el análisis de la variabilidad de la caracterización del agua, a partir del uso de los índices de contaminación (ICO's) en la Cuenca del Río Guayuriba como insumo al POMCA; teniendo en cuenta los índices analizados en el año 2010 se realizaron muestreos en las seis (6) estaciones específicas para obtención de información sobre el estado actual de los índices de contaminación mencionados anteriormente; el trabajo de campo se llevó a cabo en un periodo de cuatro meses, tomando los meses febrero - marzo como meses de bajas precipitaciones y abril - mayo como meses de altas precipitaciones (IDEAM, 2000) con el fin de tener resultados confiables, debido a que estos factores climáticos alteran significativamente la concentración de los contaminantes en los cuerpos de agua, dando inicio en el primer periodo del 2018.

6. Antecedentes

La contaminación del recurso hídrico, es hoy en día una de las problemáticas ambientales más importantes para la sociedad y la administración de cualquier ciudad o país en el mundo como las corporaciones. Dicha contaminación del agua se manifiesta en la actualidad como la alteración de las características organolépticas, físicas, químicas, radiactivas y microbiológicas(Aguayo, 2015), debido a la incorporación de una gran variedad de elementos extraños en las aguas, que han generado deterioro en la calidad de las mimas(Segura, 2007). Frente a esta problemática se han realizado estudios a nivel mundial, que abarcan diferentes áreas en busca de una solución poniendo en práctica diversas técnicas como el uso de los índices de contaminación y el índice de calidad del agua para determinar el estado actual de los cuerpos hídricos y así tomar decisiones que sean favorables frente al problema.

Tal es el caso donde los ingenieros A. Ramírez, R. Restrepo y G. Viña realizan un documento en 1997 donde formulan cuatro índices de contaminación, los cuales califican diferentes cualidades de las aguas complementando el panorama ambiental de un curso hídrico. Desarrollaron índices acordes con distintas variables y los usos potenciales de las aguas. Dichos índices de contaminación (ICO) son: ICOMI o de mineralización, ICOMO o de contaminación orgánica, ICOSUS relativo a los sólidos suspendidos, e ICOTRO o trófica del sistema. Donde concluyeron que la aplicación de estos índices representaba claras ventajas económicas, en virtud de que reducía el número de variables que involucraba cada uno, por lo que sería muy importante vincularlos a la legislación ambiental nacional (Restrepo; Ramirez; Cardeñosa, 1997).

La aplicación comparativa de los ICO's, ha sido elemento de estudio por distintos autores que han contemplado su estructura matemática, fórmula de agregación y conducta frente a conjuntos de datos iguales, en ambientes tanto dulceacuícolas como marinos. (Gupta & Patil, 2003)(Said, Stevens, & Sehlke, 2004)

Por otro lado, un estudio realizado por Mario Alberto Jiménez y María Victoria Vélez en el año 2006 se hace un análisis comparativo de indicadores de calidad de agua como un acercamiento a la caracterización general de la calidad de las aguas superficiales de la cuenca de la quebrada Doña

María localizada en jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburra (AMVA) y de la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA). Para ello los investigadores emplearon el índice de calidad de agua, WQI NSF e índices de contaminación, ICO's, ambos estimados a partir de información primaria que recolectaron en 110 puntos de medición distribuidos espacialmente en la cuenca. (Jiménez & Velez, 2006)

Ellos resaltan la pertinencia de seguir empleando los índices de contaminación (ICO's) como los usados en su trabajo para caracterizar las aguas superficiales, ya que permiten diferenciar los procesos físicos y antrópicos que ejercen mayor presión sobre la calidad del agua, y explican con menor número de variables, lo que índices de calidad general del agua como el WQI NSF no pueden explicar.

Así mismo, un artículo denominado “afectación ambiental de la calidad del agua de la quebrada cascabel generada por la explotación minera artesanal del municipio de marmato departamento de caldas” desarrollado por Sandra Patricia Gómez Hernández y Sandra Milena Rojas Cano en el año 2014 tuvo como finalidad, determinar el grado de afectación ambiental de la calidad de agua de la quebrada cascabel, en relación al impacto ocasionado por las descargas de las actividades desarrolladas en el proceso productivo de las plantas de oro; a partir de la relación causa - efecto de las áreas de influencia directa de la fuente hídrica. En la elaboración de ese estudio utilizaron métodos cuantitativos que permitieron realizar la identificación, análisis y evaluación de impactos ambientales y cuáles eran las acciones de mayor impacto sobre el componente hídrico.(Gómez Hernandez & Rojas cano, 2014)

La investigación de ellos determino como resultado la importancia de los impactos generados por las actividades mineras en función de la calidad ambiental de la quebrada cascabel y la necesidad de implementar índices de contaminación como los (ICO's) para ríos de condiciones tropicales.

En el año 2015 un estudio nombrado “Análisis de la calidad de varios cuerpos de aguas superficiales en Bahía Solano” realizado por Arlyn Valverde-Solís, Edinson Moreno-Tamayo, Nerlyn Yisseth Ortiz; utilizaron índices de contaminación para determinar la calidad del agua de

las fuentes hídricas, Cacique, Jella, Placer, Cupica-Playa, Mecana, Mecana-Playa. Para caracterizar los cuerpos de agua en Bahía Solano, los investigadores aplicaron tres índices de contaminación (ICO): ICOMI o de mineralización, ICOMO o de contaminación orgánica, e ICOSUS relativo a los sólidos suspendidos los cuales presenta los indicadores de contaminación para fuentes superficiales de Colombia. También utilizaron el protocolo del IDEAM, como guía de monitoreo de las corrientes hídricas. Ellos tomaron muestras de varios cuerpos de agua superficiales y llevaron al laboratorio para conocer las características físico-químicas y bacteriológicas de las aguas y así, determinaron los índices de contaminación de las fuentes hídricas. (Moreno & Ortiz, 2015)

Los resultados de estos estudios permitieron determinar que el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) se situó en el rango de 0,546-0,633, y por sólidos suspendidos (ICOSUS) en el rango de 0,01 a 0,1. concluyendo que los contaminantes asociados con la materia orgánica superaban en 53% lo aportado por los sólidos suspendidos; y que la metodología aplicada es indicada para realizar este tipo de estudios.

En otro estudio realizado en el año 2016 sobre la caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha, elaborado por Andrés Guillermo Chavarro y Elvia Johanna Gélvez Bernal hicieron uso de los índices ambientales ICO con respecto a la precipitación y uso del suelo. Ellos midieron variables fisicoquímicas en tres puntos de muestreo por seis veces, calculando cuatro índices de contaminación (ICOMI, ICOMO, ICOSUS e ICOTRO); a los que le realizaron un análisis multivariado de correlación incluyendo la precipitación y los usos del suelo como variable indicadora. Adicionalmente los investigadores realizaron una tabla ANOVA con los usos del suelo y los valores obtenidos de los índices. (Chavarro & Gélvez Bernal, 2016)

Tras su investigación no encontraron contaminación por mineralización y la quebrada en general presentó condiciones eutróficas, pudieron establecer una correlación estadísticamente significativa entre la precipitación y el índice de contaminación trófica (ICOTRO), así como entre el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) e (ICOTRO). Siendo efectivo el uso de los índices para el análisis del proyecto.

Es por esto que estas investigaciones son base conceptual para plantear alternativas que permitan dar respuesta a la problemática asociada a la contaminación del agua superficial. Por lo cual el presente trabajo hizo uso de los índices de contaminación (ICO's) como clave para facilitar la interpretación de los parámetros físicos químicos y microbiológicos ya que estos permiten evaluar el recurso hídrico, como lo señala CORMACARENA en su fase de diagnóstico en los aspectos biofísicos. (Cormacarena, 2009a)

7. Marco de referencia

7.1. Marco teórico

La calidad del agua se refiere a la composición del agua por sus características fisicoquímicas y microbiológicas, en la medida en que esta es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas (Ministerio de La Protección Social, 2007). Como tal, es un término neutral que no puede ser clasificado como bueno o malo, sin hacer referencia al uso para el cual el agua es destinada. (Flores & Alejandro, 2008) De acuerdo con lo anterior, tanto los criterios como los estándares y objetivos de calidad de agua, variarán dependiendo de si se trata de agua para: consumo humano, uso agrícola, uso industrial, recreación, mantenimiento de la calidad ambiental, etc. (Severiche, Barreto, & Acevedo, 2013)

Las cuencas hidrográficas almacenan la mayor parte de reservas de agua dulce renovable en aguas subterráneas y humedad del suelo (FAO, 2007); además sirven como albergue de una gran variedad de recursos naturales (Muñoz & Valderrama, 2005), entre las funciones de las cuencas se encuentran el almacenamiento y distribución en forma de escurrimiento del agua lluvia (Muñoz & Valderrama, 2005); regula la distribución del agua lluvia durante el invierno, evitando las inundaciones en la parte baja de la cuenca; suministra recursos naturales para el desarrollo de productividad que dan sustento a la población y proveen espacios para el desarrollo social y cultural de la sociedad (FAO, 2008).

La gestión del recurso hídrico, es un medio que contribuye al manejo sostenible de un territorio (Dep. Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas, 2017), en Colombia, se ha promovido esta gestión con la creación de leyes, reglamentos y guías de orden nacional y regional (Ladino, 2008); una de estas iniciativas es el Plan de Manejo y Ordenamiento de una Cuenca (POMCA), dónde se plantea el uso y manejo sostenible de los recursos naturales renovables, para mantener o restablecer un equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura biofísica de la cuenca (Secretaría distrital de ambiente, 2010).

La contaminación del recurso hídrico puede ser determinada a partir de los indicadores de contaminación del agua (ICO), como el elaborado en Colombia por (Rámirez, Restrepo, & Viña, 1997)

Los ICO's, consisten en una expresión matemática simple, en la que se realiza una combinación de parámetros físicos, químicos y/o microbiológicos, que sirven como medida de la calidad del agua para sus diversos usos (Valcarcel, Alberro, & Frías, 2009). El valor numérico obtenido oscilan entre 0 a 1, estos rangos se clasifican asignando una descripción cualitativa del grado de contaminación del agua, con los cuales se puede valorar el recurso (Cumaca & Fernández, 2007).

Los índices de contaminación (ICO's) se han propuesto y empleado en la última década, estos tienen como propósito simplificar en una expresión numérica las características positivas o negativas de cualquier fuente de agua (Rámirez et al., 1997).

Finalmente la determinación de estos índices se hace mediante la recolección de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos por medio del software ICATEST V 1.0, esta herramienta computacional facilita el cálculo de índices de calidad del agua, permitiendo generar y guardar reportes históricos y realizar estudios comparativos de calidad del agua (Fernández & Ramos, 2003)(Pamplona, 2006).

7.2 Marco conceptual

En la clasificación de la calidad del agua y contaminación de un río se comparan los resultados medidos de la concentración de un parámetro fisicoquímico o microbiológico, con las pautas de calidad establecidas en algún instrumento legal, y definiciones determinadas de acuerdo con criterios de uso del agua. (Kowalkowski, Zbytniewski, & Szpejna, 2006) Igualmente se efectúan los índices de contaminación para conocer el rango de contaminación del agua superficial.

A continuación, se especifican los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos e igualmente los índices de contaminación empleados en la clasificación de la contaminación del agua superficial del río Guayuriba.

7.2.1 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

7.2.1.1 Alcalinidad.

La alcalinidad de muchas aguas superficiales está sujeta a su contenido en carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Los valores determinados pueden incluir también la contribución de boratos, fosfatos, silicatos y otras bases.

Es la medida de su capacidad de neutralizar ácidos La alcalinidad de las aguas naturales se debe fundamentalmente a las sales de ácidos débiles, aunque las bases débiles o fuertes también pueden contribuir (Clair, Perry, & McCarty, 2000).

7.2.1.2 Coliformes Totales.

Son Bacterias gram negativas, no esporoformadoras, oxidasa negativa, con capacidad de crecimiento aeróbico y facultativamente anaeróbico en presencia de sales biliares, que a temperatura especificada de 35°C +/- 2°C causan fermentación de lactosa con producción de gas. Poseen la enzima B-galactosidasa (Navarro, 2007).

Su presencia en el agua denota contaminación microbiana reciente sin informar de su origen y una deficiente calidad del agua. Sin embargo, no son específicos de contaminación fecal, excepto el género *Escherichia* (Cabanillas Ramon, 2011).

7.2.1.3 Conductividad.

La conductividad hace referencia a la capacidad del agua de conducir una corriente eléctrica, esta capacidad está sujeta a la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia

y concentraciones relativas, así como de la temperatura de la medición (Eaton, 2017). Es sensible a las fluctuaciones de sólidos disueltos, principalmente de sales marinas.

En un determinado cuerpo de agua, se relaciona con los sólidos disueltos totales y con los iones mayoritarios, el agua pura tiene poca conductividad, por lo que la medida de la conductividad de un agua nos da un panorama de los sólidos disueltos en la misma (Chapman, 1996).

La conductividad de la mayoría de las aguas dulces naturales se encuentra entre los 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a los 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$; aunque, depende del tipo de geología. En áreas con influencia marino costera las concentraciones pueden ir desde los 125 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta los 2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$; mientras que en lagos y reservorios las conductividades son generalmente más bajas (Anzecc & Armcanz, 2000)

7.2.1.4 DBO₅.

La materia orgánica no sólo son carbohidratos, por ende, una forma más práctica de analizar el consumo de oxígeno en la degradación de la materia orgánica en general es medir los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) (Eaton, 2017).

La DBO es la cantidad de oxígeno consumido por microorganismos para la degradación biológica en un medio aeróbico de la materia orgánica un medio aeróbico, a mayor cantidad de materia orgánica mayor contenido de microorganismos en una muestra.

Las bacterias heterótrofas, son las que oxidan la materia orgánica presentes en el agua a mayor cantidad de materia orgánica mayor consumo de oxígeno disuelto lo que significa aumento de las bacterias, lo que puede producir riesgos (Metalf & Eddy, 1999).

7.2.1.5 Dureza.

La dureza total se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambos expresados como carbonato cálcico, en miligramos por litro. El agua dura se origina cuando el magnesio y el calcio los dos minerales disuelven en el agua, igualmente a la presencia de hierro; su grado de dureza aumenta, cuanto más calcio y magnesio hay disuelto (Eaton, 2017).

Magnesio y calcio son iones positivamente cargados. Debido a su presencia, otros iones cargados positivamente se disolverán menos fácil en el agua dura que en el agua que no contiene calcio y magnesio (Metalf & Eddy, 1999).

7.2.1.6 Fósforo.

El fósforo es un macronutriente fundamental; es acumulado por amplia variedad de seres vivos. Este parámetro es estratégico en la construcción de los ácidos nucleicos y en el almacenamiento y uso energético en las células. En aguas no contaminadas, es fácilmente utilizado por las plantas y convertido a las estructuras celulares por acción fotosintética (Holmes, 1996).

Es el principal nutrimento para considerarse en el control del grado de eutroficación de un ecosistema acuático, puesto que influye directamente en el crecimiento de las algas y por tanto puede interferir en la actividad productiva primaria del agua (Iqbal, Brown, & Clayton, 2006).

Su regulación de los niveles permisibles en aguas naturales es difícil ya que no es un elemento tóxico y es también un nutrimento requerido y limitante es las aguas naturales, pues en bajas concentraciones estimula la productividad acuática.

7.2.1.7 Oxígeno Disuelto.

Este es uno de los parámetros más importantes para la vida acuática en los ríos, puede ser agregado o removido al agua por varios procesos fisicoquímicos o reacciones biológicas; sus concentraciones en el agua dependen de la presión parcial del oxígeno en la atmosfera y de la temperatura del agua (Dirección General de Salud, 2017).

Si un cuerpo de agua tiene un nivel de oxígeno disuelto abajo de 3 mg O₂ / L es considerado hipóxico. Las bajas concentraciones de oxígeno o depleción del oxígeno por lo general resultan de la combinación de una alta productividad biológica y un intercambio de agua reducido (Dai, Guo, Zhai, 2006).

7.2.1.8 Potencial de hidrogeno (pH).

El pH es controlado por el balance entre el dióxido de carbono, los iones bicarbonato y carbonato, así como los ácidos húmicos y fúlvicos. La mayor parte de las aguas naturales tienen un pH en el ámbito de 6,5 a 8,0 y es controlado principalmente por el sistema carbonato – bicarbonato (Morgan & Stumm, 1996)

A pesar de lo anterior, existen aguas húmicas acidas, cuyo rango va de 5,0 a 6,0 y es controlado por la concentración natural de materia orgánica en lugar del sistema de amortiguamiento de carbonato-bicarbonato. La mayoría de las aguas tienen la capacidad de resistir los cambios de pH, en los ríos esta capacidad se debe a la presencia de iones bicarbonato (HCO_3^-), aportados al sistema por la disolución de rocas y suelos (Drever, 1988)

Los cambios de pH en el recurso hídrico deben ser medidos puesto que cuando se presentan concentraciones bajas de pH, pueden ocurrir efectos adversos sobre peces e insectos acuáticos que perturban sus funciones fisiológicas (CCME, 2005).

7.2.1.9 Sólidos Suspendidos Totales.

El material suspendido en las aguas se compone por arcilla, arena, plancton y otros organismos microscópicos; su entrada en los cuerpos de agua es por diversos factores de la erosión del terreno debido a las prácticas agrícolas y del arrastre de material durante la escorrentía de las aguas de lluvia.

Los sólidos pueden adherir en su superficie nutrientes y distintos tipos de contaminantes como residuos de plaguicidas; igualmente, pueden afectar la entrada de la luz en los cuerpos de agua y el aumento de temperatura debido a la absorción de la radiación; esta variable es indispensable para estimar la dinámica de los ríos (Chapman, 1996).

7.2.1.10 Temperatura.

La temperatura es un parámetro físico descriptivo de un sistema que caracteriza la transferencia de energía térmica, entre ese sistema y otros. Afecta tanto los procesos físicos (volatilización, solubilidad de sales y gases, estratificación de estanques), como los procesos químicos (pH, equilibrio de ionización, velocidad de reacción) (Osorio & Céspedes, 2000).

Los procesos fisiológicos de los organismos se ven influenciados por la temperatura del agua, como la respiración microbiana, que es responsable, en gran parte, de la auto purificación que ocurre en los cuerpos de agua (Chapman, 1996).

7.2.2 Índices de contaminación (ICO's).

7.2.2.1 Índice de contaminación por mineralización (ICOMI).

Se expresa en diversas variables, como lo son: 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 carbonates y bicarbonatos (Rámirez et al., 1997).

EL ICOMI se determina en un rango de 0 a 1 en el cual los valores cercanos a cero indican baja contaminación por mineralización, mientras que los valores cercanos a uno indican una alta contaminación por mineralización (Ramírez, 1988).

7.2.2.2 Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO).

Se halla a través de la demanda bioquímica de Oxígeno (DBO5), Coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno, las cuales, en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica (Rámirez et al., 1997)

Se define entre un rango de 0 a 1 donde el aumento desde el valor más bajo se relaciona con el aumento de contaminación en el cuerpo del agua.

7.2.2.3 Índice de Contaminación por Trofía (ICOTRO).

Se calcula mediante la concentración del fósforo total en mg/l, este parámetro incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico (Cañas, 2010).

7.2.2.4 Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS).

Este índice se determina mediante un único parámetro como su nombre lo indica la cantidad de sólidos suspendidos disueltos, los cuales pueden ser de origen doméstico e industrial. Su rango va de 0 a 1, si su resultado es 0 sus concentraciones se consideran nulas lo cual no generan problema alguno a la salud o a las actividades cotidianas en las personas en contacto con la zona de estudio (Cañas, 2010).

7.3. Marco Legal

La normatividad ambiental nacional e internacional vigente aplicada al presente proyecto se basa en torno a un marco legal comprendido por resoluciones, decretos, y leyes pertenecientes al recurso hídrico.

Tabla 1. Marco Legal

Norma	Art	Descripción
Decreto- Ley Código Nacional de los Recursos Naturales 2811 de 1974	13, 15 137	El Estado y los particulares participaran en la preservación y manejo del ambiente, el gobierno ayudará con incentivos económicos y así mismo las industrias deberán realizar controles periódicos que por el origen de sus procesos puedan contaminar el recurso hídrico. De esta manera se asegurará la calidad del agua para sus diferentes usos. Serán objeto de protección y control especial las aguas destinadas al consumo doméstico humano y animal y a la producción de alimentos.

Tabla 1. (Continuación)

Ley 9 de 1979	3,6, 21, 50	Determina normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar u mejorar las condiciones necesarias en lo que concierne a la salud humana; las medidas y los procedimientos que se deben acoger para la regulación, legalización y control de los descargos de residuos y materiales que perjudican o pueden afectar las condiciones sanitarias del Ambiente.
Constitución Política Colombiana de 1991	79, 80	En el título II capítulo 3 (de los derechos colectivos y del ambiente) se resalta el artículo 79 establece que “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo” así mismo el artículo 80 reconoce que “El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales - entre estos el agua-, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución”.
Decreto 1594 de 1984	39-45	En él se estipulan los criterios de calidad admisibles para los distintos usos del recurso hídrico, tales como uso agrícola, consumo humano y doméstico, pecuario, recreativo y preservación de flora y fauna.
Decreto 3930 de 2010	7	Fija los parámetros mínimos que deben emplearse en los modelos de simulación utilizados en la ordenación del recurso hídrico. Entre estos se encuentran DBO ₅ , DQO, SST, pH, T, OD, Q, Datos Hidrobiológicos, Coliformes Totales y Fecales.

Nota. Normatividad ambiental a nivel nacional e internacional. Adaptado de “Decreto Ley 2811 de 1974”, “Ley 9 de 1979”, “Constitución de 1991”, “Decreto 1594 de 1984”, “Decreto 3930 de 2010”; por Montero & Ramírez, 2018.

8. Metodología

Actualmente existen diferentes índices de contaminación, sugeridos e implementados, instruidos a representar la situación ambiental a nivel local, regional y nacional; pues estos constituyen una herramienta efectiva de fácil determinación, que prestan gran utilidad en la caracterización de la calidad de las aguas (Pamplona, 2006). Por ende, para determinar la variabilidad de la caracterización del agua en el cauce principal del Río Guayuriba se adoptaron los lineamientos metodológicos correspondientes al muestreo de la calidad del Río Guayuriba por CORMACARENA en el año 2010.

Para el desarrollo del presente se establecieron dos temporadas de muestreos, la primera en temporada de bajas precipitaciones y la segunda en temporada de altas precipitaciones, con el fin de conocer las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y su variación en cada una de las temporadas, debido a la influencia de los niveles de precipitación de estas en el comportamiento de la fuente hídrica en estudio.

En torno al análisis estadístico aplicado a los datos, se utilizó el método de estadística descriptiva empleando el software IBM SPSS Statistics y diagramas de cajas y bigotes para reconocer los datos atípicos; el software Excel se empleó para el análisis de los parámetros espacio-temporal en temporada seca y de lluvias en el año 2018 y por último se realizó una comparación entre los años 2010 y 2018 de los ICO's.

A continuación, se reconocen las fases de desarrollo del presente proyecto, ilustradas por el flujograma procedimental (**ANEXO 2**) que describe las fases y las actividades que se llevaron a cabo para poder cumplir con los objetivos establecidos.

8.1 Fase I. Recolección de información

Se realizó una revisión bibliográfica llevada a cabo por fuentes de información secundaria, esta hace referencia a información complementaria, obtenida por artículos científicos, normatividad legal y datos aplicables para el presente trabajo, como el muestreo puntual sobre calidad de agua

del río Guayuriba llevado a cabo por la autoridad ambiental CORMACARENA en el año 2010, esta corporación colaboro con las bases de datos ya que el presente se trabajó de la mano con esta entidad.(Cormacarena, 2008a)

Se seleccionaron los índices de contaminación (ICO's) (ICOMO, ICOSUS, ICOMI, ICOTRO) los cuales explican las diferentes cualidades del agua del río Guayuriba, permitiendo puntualizar el tipo de problema ambiental existente y así caracterizar el agua (Rámirez et al., 1997)

8.2 Fase II. Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

8.2.1 Reconocimiento del área de estudio.

Esta actividad se llevó a cabo realizando visitas técnicas al área de estudio (Cauce principal del río Guayuriba). El tramo seleccionado inicia desde la estación uno (E1) con coordenadas N 4° 3' 9.23" O 73° 45' 56.332" y finaliza en la estación seis (E6) con coordenadas N 3° 56' 56.555" O 73° 13' 1.955". (**Tabla 2**) (**ANEXO 1**)

Igualmente se identificaron las actividades que se desarrollaron en cercanía a las estaciones, las características generales del entorno y los vertimientos de origen doméstico, agrícola o industrial. (**ANEXO 3**)

Tabla 2. Estaciones de muestreo en el río Guayuriba para el 2010.

CODIGO	ESTACIONES	N	O
E1	Puente carretera	4° 3' 9.23"	73° 45' 56.332"
E2	Rio Guayuriba aguas arriba de vertimiento Estación Acacias	4° 0' 10.955"	73° 28' 58.35"
E3	Rio Guayuriba aguas arriba del vertimiento la Estación Suria	3° 59' 55.5"	73° 27' 39.69"
E4	Rio Guayuriba aguas abajo Vertimiento Estación Suria	3° 59' 32.518"	73° 25' 32.404"
E5	Rio Guayuriba - Puente Pompeya	3° 57' 41.814"	73° 15' 58.928"
E6	Rio Guayuriba antes desembocadura a Rio Metica	3° 56' 56.555"	73° 13' 1.955"

Nota. Coordenadas de los puntos de muestreo adaptado de CORMACARENA, 2010; por Montero & Ramírez, 2018.

Cabe aclarar que los colores presentados en la tabla anterior corresponden a los mismos utilizados por los autores del presente, para la clasificación de las estaciones en el mapa de la ubicación de los sitios de muestreo (**ANEXO 1**)

Las coordenadas de los sitios de muestreo cambiaron un poco, ya que a la hora de encontrar el punto se observó que el cauce del río en varias estaciones había cambiado su rumbo.

8.2.2 Diseño de muestreo.

El muestreo correspondió a un muestreo manual simple efectuado, teniendo en cuenta que este muestreo manual se realiza cuando los puntos de muestreo son de fácil acceso, permitiendo observar los cambios en las características del agua (ANDI, 1997). Debido a que la cuenca posee un ciclo anual bimodal de precipitación como se puede apreciar en el (**ANEXO 4**) se realizaron dos muestreos (seca-húmeda).

8.2.2.1 Tipo y toma de muestra.

Se definieron seis puntos de muestreo distribuidos espacialmente como se observa en la (**Tabla 2**) y el (**ANEXO 1**) teniendo como referente los mismos sitios de muestreo utilizados en el muestreo sobre calidad de agua del Río Guayuriba para el año 2010 (Cormacarena, 2008a) los cuales se establecieron a partir de factores fundamentales y condicionales tales como principales vertimientos, zonas de desarrollo industrial y urbano, dificultad de acceso, seguridad de los equipos y facilidad para la recolección de las muestras (IDEAM, 2013)

Las muestras fueron puntuales y se recolectaron en un lugar representativo establecidos con base a los factores fundamentales en un determinado momento teniendo en cuenta el orden de los puntos las primeras muestras se tomaron aguas arriba. (Instituto Nacional de Salud (INS), 2011) las muestras para medición *ex situ* fueron recolectadas en frascos plásticos y de vidrio esterilizados. Los primeros se usaron en los parámetros fisicoquímicos y los segundos para las pruebas

microbiológicas. La toma de la muestra fue a 1 metro de la orilla del río y el recipiente se introdujo a 20 cm de profundidad del mismo, una vez lleno el recipiente se tapó y se almacenaron las muestras recolectadas en una nevera con hielo a 4°C y se transportaron al laboratorio de aguas claras de la universidad Santo Tomás de Villavencio (Icontec, 2004) (Moreno & Ortiz, 2015). Esta fase metodológica se tomó del trabajo citado anteriormente ya que los estudios del mismo hacen referencia a la calidad de agua de fuentes superficiales similares a la del río Guayuriba.

Cada recipiente se rotuló con un marcador de tinta resistente al agua, la etiqueta contenía la localización y nombre del sitio de muestreo, la fecha, el tipo de muestreo, hora del muestreo y preservante. (Icontec, 2004) Los muestreos se dividieron en *in situ* y *ex situ* donde se midieron diferentes parámetros según las necesidades de cada uno.

8.2.2.1.1 Medición in situ.

- **Parámetros fisicoquímicos:** Por medio del medidor Multiparámetro HANNA HI 9829, que utiliza una sonda de la serie HI 76x9829 para la detección, se midieron los siguientes parámetros fisicoquímicos (Hanna Instruments, 2017). Conductividad, oxígeno disuelto, potencial hidrogeno (pH) y la temperatura del agua.

8.2.2.1.2 Medición ex situ.

Las variables analizadas en el laboratorio de la Universidad Santo Tomás de Villavencio para el presente trabajo son:

- **Parámetros microbiológicos:**

Coliformes fecales: Procedimiento experimental NUMERO MAS PROBABLE (NMP)

Primero se auto clavarón 144 tubos de ensayo de 16 X 150 mm con 144 campanas de Durham con medio de cultivo caldo lauril sulfato preparado a 35,9gr por cada litro de agua destilada y 144 pipetas para esterilizar el material. Después de esterilizar, se esperó a que llegaran a temperatura ambiente.

Seguido de esto se enumeraron las gradillas y los tubos, 8 diluciones de la muestra por 8 tubos, o sea realizar una serie de diluciones de 10⁻¹ a 10⁻⁸, a partir de un mililitro de muestra a analizar. Se sembró 1 ml iniciando en cada uno de ellos desde la dilución más alta a la más baja, utilizando pipetas estériles para ello. Entre siembra y siembra, se mezcló con el vórtex, para que se homogenizara la muestra con el caldo lauril sulfato.

Se esperaron 48 horas de incubación, si se observaba que los tubos tenían gas atrapado en la campana de fermentación y si el medio de cultivo había cambiado de color (presencia de turbiedad); si estaban estas dos condiciones, el ensayo presuntivo era indicativo de la presencia del grupo Coliformes.

Finalmente se halló el NMP por medio de una tabla estipulada en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition, 2017 (**ANEXO 5**) para la lectura de los resultados de los tubos y seguido a esto se realiza la (**Ecuación 1**)

Ecuación 1. Cálculo para los Coliformes (mg/l)

$$(NMP), \frac{mg}{l} = \frac{NMP * \#dilución}{100ml}$$

Fuente: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition, 2017.

- Parámetros fisicoquímicos:

Alcalinidad: Procedimiento experimental por método de TITULACIÓN.

Primero se midió el pH de la muestra para seleccionar el indicador, para lo cual todas las muestras estuvieron con un pH < 8.5 y >6, por ende, se seleccionó el indicador naranja de metilo.

Se vertieron 50 ml de la muestra en el Erlenmeyer de 250 ml y se agregó agitando 3 gotas de reactivo indicador, hasta que se notó una coloración leve naranjada. Después, se tituló bajo la

bureta automática con solución de ácido sulfúrico, agitando y añadiendo gota a gota hasta el viraje a color amarillo.

Finalmente se determinó el volumen del ácido gastado con la (**Ecuación 2**) propuesta por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition, 2017.

Ecuación 2. Cálculo para la alcalinidad (mg/l)

$$(\text{Alcalinidad total}), \frac{mgCaCO_3}{L} = \frac{A * N}{MUESTRA \text{ ml}} * 50000$$

Donde:

A= ml utilizados de ácido estándar,

N= normalidad del ácido estándar

Fuente: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition, 2017.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅): Método experimental por método WINKLER

Primero se prepararon las soluciones necesarias para preparar el agua de dilución del método. (**Tabla 3**).

Tabla 3. Procedimiento para las soluciones de la DBO₅.

Solución	Procedimiento
Solución buffer de fosfato	Se disolvió 8.5g de hidrogeno de potasio (KH_2PO_4), 21.75g de fosfato dipotasico (K_2HPO_4), 33.4g de fosfato de sodio ($Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$) y 1.7g de cloruro de amonio (NH_4Cl) en 500 ml de agua destilada y se diluyo a 1 L.
Solución de sulfato de magnesio	Se disolvió 22.5g de sulfato de magnesio ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) en agua destilada y se diluyo a 1L.
Solución de cloruro de calcio	Se disolvió 27.5 g de cloruro de calcio ($CaCl_2$) en agua destilada y se diluyo a 1 L.
Solución de cloruro férrico	Se disolvió 0.25g de cloruro férrico ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) y se diluyo a 1 L.

Nota. Procedimiento de las soluciones para preparar la solución general de la DBO. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

Seguidamente se preparó el agua de dilución, colocando el volumen necesario de agua destilada según la cantidad de botellas Winkler que utilizamos en un recipiente adecuado y 1 ml de las soluciones preparadas por cada litro de agua destilada: de buffer fosfato, sulfato de magnesio, cloruro de calcio, y cloruro férrico por litro de agua. Se termostatizó el agua de dilución previo a su uso a 20°C.

Se continuó con el proceso de incubación, para lo cual se preparó el blanco del agua de dilución, incubando una botella de DBO llena de agua de dilución por 5 días a 20°C junto con el ensayo de la muestra que correspondió a 25ml de la muestra más el agua de dilución.

Finalmente se procedió a medir la concentración de oxígeno antes y después de la incubación y se resolvió la ecuación propuesta por el IDEAM. (**Ecuación 3**)

Ecuación 3. Cálculo para la DBO5 (mg/l)

$$(DBO5), \frac{mg}{l} = \frac{odf - odi}{ml \text{ de muestra}}$$

Donde:

Odf= oxígeno disuelto final

Odi= oxígeno disuelto inicial

Fuente: IDEAM, 2018.

Dureza total: Método experimental por método de TITULACIÓN

El método titulométrico EDTA (ácido etilendiaminotetraacético y sales de sodio), se empleó para hallar la dureza total, donde se agregó 25 ml de la muestra en un Erlenmeyer de 250 ml, luego se adiciono 2ml de buffer pH 10 verificando que el pH estuviera en 10, se agregó 50 mg de negro de eriocromo, donde la muestra tomo un color morado.

Finalmente se tituló con EDTA (0.01 N) en una bureta automática, para cada prueba se diluyo 0.94 g de EDTA los cuales se diluyeron en 250 ml de agua destilada; el Erlenmeyer se encontraba en una plancha agitadora con su respectivo agitador, se tomó el volumen gastado hasta obtener un color azul.

Para obtener la concentración final de la dureza total se realizó la siguiente formula que estipula el IDEAM (**Ecuación 4**)

Ecuación 4. Cálculo para la dureza (mg/l)

$$(Dureza\ total), \frac{mgCaCO_3}{L} = \frac{VEDTA * MEDTA}{VMUESTRA} * 100091$$

Donde:

VEDTA = Volumen de Titulante (EDTA) para valorar dureza, ml.

MEDTA = Concentración de EDTA, mol/L.

VMUESTRA = Alícuota de muestra titulada, ml.

100091 = Peso atómico del carbonato de calcio (100,091 g/mol) x 1000 mg/g.

Fuente: IDEAM, 2018.

Fósforo total: Método experimental por método de ESPECTOFOTOMETRIA

Inicialmente se realizó la construcción de la curva patrón para esto se lavó el material de vidrio con Solución de H₂ SO₄ al 10%. Posteriormente se preparó la muestra sólida, pesando 0,25 g de Fosfato Monobásico de fosfato (KH₂PO₄) y se secó por 2 h a 105 °C, luego se enfrió en el desecador para después pesar 0,2195 g de KH₂PO₄ seco y se disolvió en agua libre de fosfatos en un matraz aforado de 1 L (Solución Madre de 50 mg/L P-PO 4 -3). Se realizaron las diluciones a partir de la solución madre en matraces siguiendo la (**Tabla 4**).

Tabla 4. Preparación de diluciones para la curva patrón.

Patrón	Preparación	Concentración resultante (mg/L PO ₄ ⁻)
Blanco	Agua libre de Fosfatos	0
1	Patrón 4, tomar 10 ml y llevar a 200 ml	0,05
2	Patrón 4, tomar 10 ml y llevar a 100 ml	0,1
3	Patrón 6, tomar 10 ml y llevar 200 ml	0,5
4	Patrón 6, tomar 10 ml y llevar a 100 ml	1
5	(Sln madre 50 mg/L) tomar 10 ml y llevar a 100 ml	5
6	(Sln madre 50 mg/L) tomar 20 ml y llevar a 100 ml	10

Nota. Concentraciones de la preparación de diluciones para la construcción de la curva patrón para lectura del fósforo adaptado de Rojas, 2018; por Montero & Ramírez, 2018.

Después se realizó la reacción, se tomaron 10 ml de la muestra y un satchet y se esperó 20 minutos, luego se hizo un barrido de longitudes para cada Patrón en el Espectrofotómetro (**Tabla 5**) y se midió la absorbancia. Para obtener los resultados del fósforo total se realizó de la curva como se sigue la Ley de Lambert-Beer, siendo esta recta.

Tabla 5. Barrido de longitudes para cada patrón

Longitud de Onda (nm)	Concentración de Ortofosfatos (mg/L P-PO ₄ ⁻³)							
	0	0,05	0,1	0,5	1	2,5	5	10
400	0	0,004	0,001	0,047	0,081	0,154	0,157	0,234
500	0	0,04	0,038	0,114	0,218	0,439	0,394	0,437
600	0	0,064	0,094	0,186	0,355	0,700	0,644	0,679
700	0	0,082	0,106	0,244	0,469	0,986	0,898	0,915
800	0	0,088	0,118	0,219	0,426	0,959	0,949	0,945
900	0	0,16	0,22	0,327	0,649	1,266	1,136	1,143

Nota. Concentraciones de ortofosfatos según la longitud de onda adaptado de Rojas, 2018; por Montero & Ramírez, 2018.

Se escogió la longitud de onda donde se obtuvo la mayor absorbancia. Desde Patrón 5 se eliminaron, ya que estaban muy alejado de la linealidad (**Gráfico 1**). Por lo que la recta obtenida es válida hasta el rango de 2,5 mg/L de Fosfatos. En esta se seleccionó la longitud de 500nm debido a que en la toma de datos el espectrofotómetro se programó a 440nm y se puede trabajar con esta longitud ya que su R2 es de 0,9949 (**Gráfico 2**).

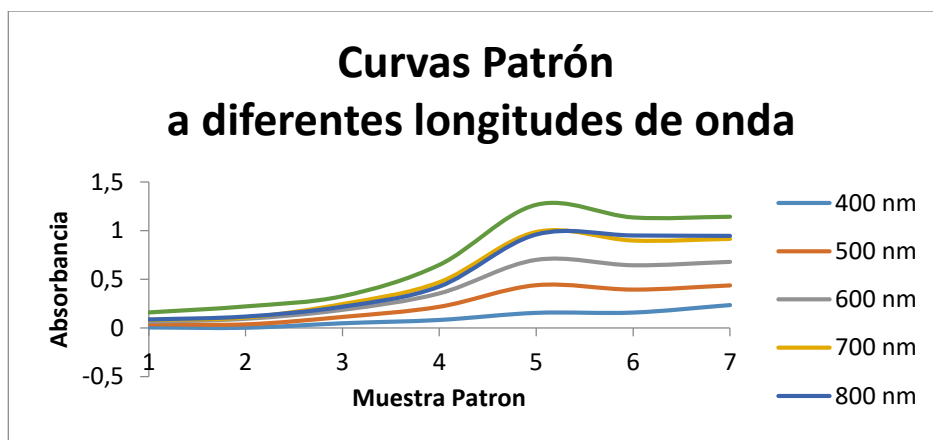


Gráfico 1. Curvas de diferentes longitudes. Adaptado de Rojas, 2018; por Montero & Ramírez, 2018.

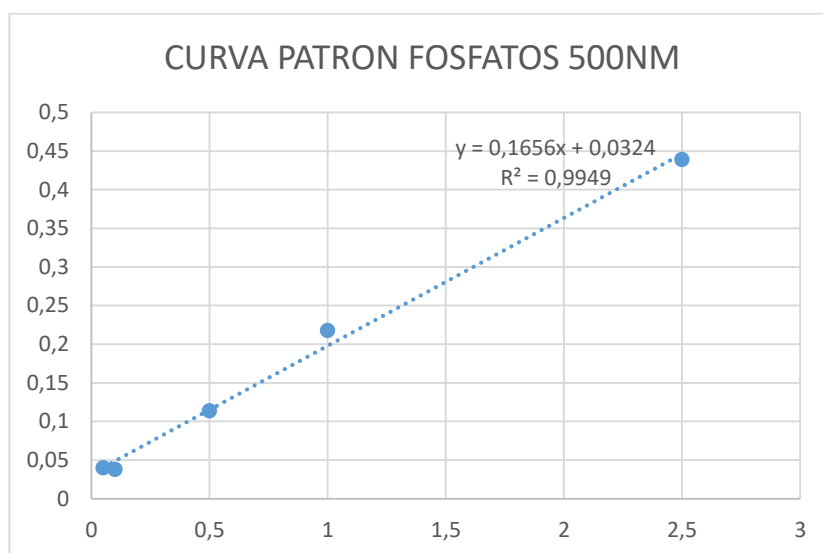


Gráfico 2. Curva patrón 500nm. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

Una vez obtenida la curva patrón procedimos a tomar los datos de absorbancia de las muestras, para esto se vertieron 10ml de la muestra en los vasos de precipitado, seguidamente se adicionó el sachet de Orión ac4p59 phosphorus y se agito el vaso durante 30 segundos.

Pasados 30 segundos se llevó la muestra al espectrofotómetro, donde se midió el valor de la absorbancia de luz y posteriormente se contrasto con la curva patrón de fósforo realizada por el docente Christian José Rojas Reina de la universidad Santo Tomás de Villavicencio.

Finalmente se realizó la medición de las muestras reemplazando los resultados obtenidos de absorbancia en la (**Ecuación 5**) de la curva patrón fosfatos 500nm. (**Gráfico 2**)

Ecuación 5. Cálculo para el fósforo (mg/l)

$$(\text{fósforo}), \frac{mg}{l} = 0,1656(x) + 0,0324$$

Donde:

X= Al resultado de la absorbancia tomado en el laboratorio.

Fuente: Rojas, 2018.

Sólidos suspendidos (SSD): Método experimental por método de CONO IMHOFF

Primero se vertió en el cono Imhoff 1000 ml de muestra perfectamente mezclada, dejándola sedimentar.

A los 30 minutos, se raspo las paredes del cono con una varilla de vidrio para desprender las partículas adheridas. Se dejó sedimentar 15 minutos más y se leyó el volumen del sedimento en la escala a los 45 minutos de iniciado el ensayo.

Fuente: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition, 2017.

8.2.2.2 Tamaño de la muestra y frecuencia del muestreo.

El tamaño de la muestra se determinó a partir del número de estaciones establecidas en el río y el número de repeticiones medidas en los meses febrero, marzo, abril y mayo; para lo cual se estableció dos muestreos cada uno con tres repeticiones, para un total de 216 muestras y 6 días en campo (**ANEXO 1**)

8.2.3 Calculo de ICO's.

Para evaluar la calidad del agua en la cuenca del río Guayuriba se emplearon los índices de contaminación (ICOMO, ICOSUS, ICOMI, ICOTRO) con los parámetros obtenidos durante el muestreo los cuales se analizaron por medio del software ICATEST versión 1.0 para evitar errores

manuales en las fórmulas que presentan cada uno; estos índices manejan un rango para sus valores los cuales van desde 0.0 a 1.0 como se observa en la (**Tabla 6**) indicando así la caracterizaron del agua (Pamplona et al., 2004).

Tabla 6. Rangos Índice de contaminación.

Valor de los ICOs	Caracterización	Clasificación de la contaminación	Leyenda
0.8 – 1.0	Áreas muy contaminadas	Contaminación muy alta	
0.6 – 0.8	Incidencia importante de contaminación	Contaminación alta	
0.4 – 0.6	Notable actividad antrópica	Contaminación media	
0.2 – 0.4	Con leve incidencia antrópica	Contaminación baja	
0.0 – 0.2	Aguas puras y quizá con aportes biogénicos	Contaminación ninguna	

Nota. Caracterización, clasificación y leyenda de los índices de contaminación adaptado de Ramírez, A. y Viña, G, 1997; por Montero & Ramírez, 2018.

A continuación, se describen las fórmulas que representa el cálculo de cada uno de los ICO's, estas fórmulas son las que utiliza el programa.

- Índice de contaminación ICOMO. (**Ecuación 6**)

Ecuación 6. Cálculo del ICOMO

$$(ICOMO) = \frac{1}{3} (IDBO5 + ICFT + IO\%)$$

Donde:

IDBO5= Resultado del parámetro DBO5

ICFT= Resultado del parámetro de Coliformes totales

IO%= Resultado del parámetro de oxígeno disuelto en porcentaje

Fuente: (Restrepo; Ramirez; Cardeñosa, 1997)

- Índice de contaminación ICOSUS. (**Ecuación 7**)

Ecuación 7. Cálculo del ICOSUS

$$(ICOSUS) = -0,02 + 0,003 (SSD)$$

Donde:

SSD= Resultado del parámetro sólidos suspendidos.

Los sólidos suspendidos > 340 mg/l Tienen ICOSUS =0

Los sólidos suspendidos < 10 mg/l Tienen un ICOSUS = 1

Fuente: (Restrepo; Ramirez; Cardeñosa, 1997)

- Índice de contaminación ICOMI. (**Ecuación 8**)

Ecuación 8. Cálculo del ICOMI

$$(ICOMI) = \frac{1}{3} (ICON + IDU + IAL)$$

Donde:

ICON= Resultado del parámetro de conductividad

IDU= Resultado del parámetro de dureza

IAL= Resultado del parámetro alcalinidad

Fuente: (Restrepo; Ramirez; Cardeñosa, 1997)

- Índice de contaminación ICOTRO

El ICOTRO se fundamenta en la concentración del fósforo total. A diferencia de los índices anteriores, en los cuales se determina un valor particular entre 0 y 1, la concentración del fósforo total define por sí misma una categoría discreta a saber: (Restrepo; Ramirez; Cardeñosa, 1997)

Oligotrofia: < 0.01

Mesotrofia: 0.01 – 0.02

Eutrofia: 0.02 – 1.00

Hipereutrofia: > 1.00

8.3 Fase III. Análisis estadístico.

Los resultados de los parámetros obtenidos en el muestreo se procesaron en el software estadístico IBM SPSS Statistics y en Excel.

Los análisis de los datos se evidenciaron en dos momentos, en primer lugar, se realizó un diagrama de cajas y bigotes para reconocer los datos atípicos de cada parámetro.

Seguido de un análisis estadístico descriptivo donde se expresan la media, varianza de la muestra, curtosis y coeficiente de asimetría.(Manuel & Espinosa, 2010), con dos gráficos de barras que ilustran el comportamiento de los parámetros para las temporadas de sequía y de lluvias en el año 2018 por estaciones y por fechas.

8.4 Fase IV. Análisis y comparación de ICO's.

Se realizó la determinación de los ICO's por medio del programa ICATEST versión 1.0 y posteriormente se hizo una comparación entre los años 2010 y 2018 de los ICO's mediante las gráficas de barras de los valores por cada estación arrojadas por el software y la variación espacial por medio del software ArcGIS.

9. Resultados y análisis

Atendiendo al objetivo general de este proyecto, así como considerando los tres objetivos específicos, en este ítem se muestran los resultados obtenidos en el desarrollo de las últimas cuatro fases metodológicas, dando respuesta a estos de la siguiente manera: Primero se evidencia el reconocimiento del área de estudio, seguido se reconocen los resultados obtenidos de cada parámetro, posteriormente se realiza el análisis estadístico de los mismos y por último se hace la determinación y comparación de los índices de contaminación ICO's.

9.1 Reconocimiento del área de estudio

Mediante un GPS GARMIN se logró ubicar los puntos de muestreo, a partir de las coordenadas que estaban establecidas en el 2010, sin embargo, las coordenadas para el 2018 fluctuaron debido a que el cauce del río cambio su rumbo. En la (**Tabla 7**) se presentan las nuevas coordenadas.

Tabla 7. Estaciones de muestreo en el río Guayuriba para el 2018.

CODIGO	ESTACIONES	N	O
E1	Puente carretera	4° 6' 55,426"	73° 41' 14,042"
E2	Rio Guayuriba aguas arriba de vertimiento Estación Acacias	3° 59' 18.319"	73° 9' 45.183"
E3	Rio Guayuriba aguas arriba del vertimiento la Estación Suria	3° 59' 28.993"	73° 26' 47.201"
E4	Rio Guayuriba aguas abajo Vertimiento Estación Suria	3° 59' 23.845"	73° 26' 35.131"
E5	Rio Guayuriba - Puente Pompeya	3° 57' 29.239"	73° 16' 11.298"
E6	Rio Guayuriba antes desembocadura a Rio Metica	3° 59' 11.832"	73° 24' 54.536"

Nota. Coordenadas de los puntos de muestreo para el año 2018. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

9.2 Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Diseño de muestreo

Para el diseño de muestreo se establecen las fechas de recolección de cada muestra (**Tabla 8**) y las denotaciones TS para la (temporada seca) y TLL para la (temporada de lluvias).

Tabla 8. Fechas de muestreos en el 2018.

Muestra	Fecha de muestreo
Muestra 1 TS	28/02/2018
Muestra 2 TS	8/03/2018
Muestra 3 TS	14/03/2018
Muestra 4 TLL	24/04/2018
Muestra 5 TLL	2/05/2018
Muestra 6 TLL	7/05/2018

Nota. Fechas de muestreo para el año 2018. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

Toma de muestra

A continuación, se exponen los tipos de materiales utilizados para recolectar las muestras en las seis estaciones y la toma de la muestra (**Ilustración 1**) (**Ilustración 2**) (**Tabla 9**).



Ilustración 1. Toma de muestra



Ilustración 2. Tipos de recipientes.

Tabla 9. Recipientes utilizados por muestreo

Parámetro	Recipiente	Cantidad
DBO ₅ , Sólidos Suspendidos	Plástico 2L	6
Alcalinidad, Dureza, Fosforo	Vidrio Ámbar 250 ml	6
Coliformes Totales	Vidrio tapa rosca de 5ml	6

Nota. Lista de recipientes utilizados para la toma de muestra. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

A parte de los materiales exhibidos en la (**Tabla 9**) se necesitó un decámetro, agua destilada, Multiparámetro HANNA, cavas pequeñas (2), geles refrigerantes (16) y fontaneros (2).

A continuación, se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con mediciones in situ y finalmente los ex situ para el año 2018.

9.2.1 Resultado de los parámetros con mediciones in situ.

Las mediciones in situ se realizaron mediante el Multiparámetro HANNA (**Ilustración 3**) (**Ilustración 4**) donde se extrajo una cantidad de agua en un recipiente plástico para luego proceder con la lectura de los parámetros.



Ilustración 3. Limpieza del Multiparámetro



Ilustración 4. Lectura con el Multiparámetro

A continuación, se exponen los valores medidos en campo para los siguientes parámetros:

- Conductividad
- oxígeno disuelto
- pH
- temperatura del agua.

9.2.1.1. Conductividad. Ver Resultados en la (Tabla 10)**Tabla 10.** Valores para la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

TS	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	TLL	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
E1	230	169.7	233	E1	111	140	146.3
E2	204	160	208	E2	151.6	130	134.4
E3	230	202	234	E3	166.2	131.6	148.9
E4	303	232	306	E4	246	117.3	261
E5	234	223	238	E5	162.2	110.9	157.5
E6	180	415	181.4	E6	164.1	116.9	106.5

Nota. Resultados obtenidos del muestreo in situ para la conductividad. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

9.2.1.2 Oxígeno disuelto. Ver Resultados en la (Tabla 11)**Tabla 11.** Valores para el oxígeno disuelto (mg/l).

TS	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	TLL	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
E1	6.53	8.57	8.02	E1	8.2	8	8.17
E2	6.17	8.05	7.9	E2	8.05	7.5	7.99
E3	6.1	8.04	7.86	E3	8.08	8.08	8.2
E4	5.97	7.94	7.68	E4	7.82	8.2	8.1
E5	6.01	7.46	7.65	E5	7.8	7.58	7.78
E6	5.44	6.45	6.04	E6	6.3	7.44	7.4

Nota. Resultados obtenidos del muestreo in situ para el oxígeno disuelto. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

9.2.1.3 Ph. Ver Resultados en la (Tabla 12)**Tabla 12.** Valores para el pH.

TS	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	TLL	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
E1	7.97	7.3	7.97	E1	7.7	7.4	7.5
E2	7.93	7.4	7.93	E2	8	7.5	7.6
E3	8.01	7.53	8.01	E3	7.9	7.5	7.5
E4	8	7.8	8	E4	8	7.96	7.4
E5	7.9	7.78	7.9	E5	7.7	7.2	7
E6	6.96	6.97	6.96	E6	7.2	7.3	6.8

Nota. Resultados obtenidos del muestreo in situ para el pH. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

9.2.1.4 Temperatura del agua. Ver Resultados en la (Tabla 13)

Tabla 13. Valores para la temperatura (°C).

TS	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	TLL	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
E1	20.8	20.4	22.09	E1	20	22	22.2
E2	24.8	21.5	24.3	E2	23.5	21	21.5
E3	25	25.4	24.1	E3	24	21.5	22.8
E4	25.6	25.3	27	E4	26	21	22
E5	22.3	27.6	26.9	E5	25.5	24.5	23.1
E6	23.8	27.6	26	E6	28.2	22	24.2

Nota. Resultados obtenidos del muestreo in situ para la temperatura del agua. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

9.2.2 Resultados de los parámetros con mediciones ex situ.

Estas mediciones se realizaron en el laboratorio de aguas en la Universidad Santo Tomás de Villaviciencio en la sede de Aguas Claras, para la metodología de las pruebas se siguieron los lineamientos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition y el IDEAM como se mencionó anteriormente en la metodología.

A continuación, se exponen los valores hallados de los siguientes parámetros: Alcalinidad, Coliformes totales, DBO, Dureza, Fósforo, Sólidos suspendidos.

9.2.2.1 Alcalinidad por método de titulación. Ver Resultados en la (Tabla 14) y la (Ilustración 5) como evidencia del procedimiento en los laboratorios.

Tabla 14. Valores para la alcalinidad total (mg/l).

TS	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	TLL	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
E1	3	20	4	E1	17.1	12	14.9
E2	3	20	4	E2	11.2	16	16.8
E3	2	25	3	E3	10.9	12.7	15.8
E4	5	23	6	E4	10.9	16.9	17.4
E5	5	31	5	E5	12.2	18.5	15.4
E6	3	27	4	E6	12.7	17	11.8

Nota. Resultados obtenidos del muestreo ex situ para la alcalinidad. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

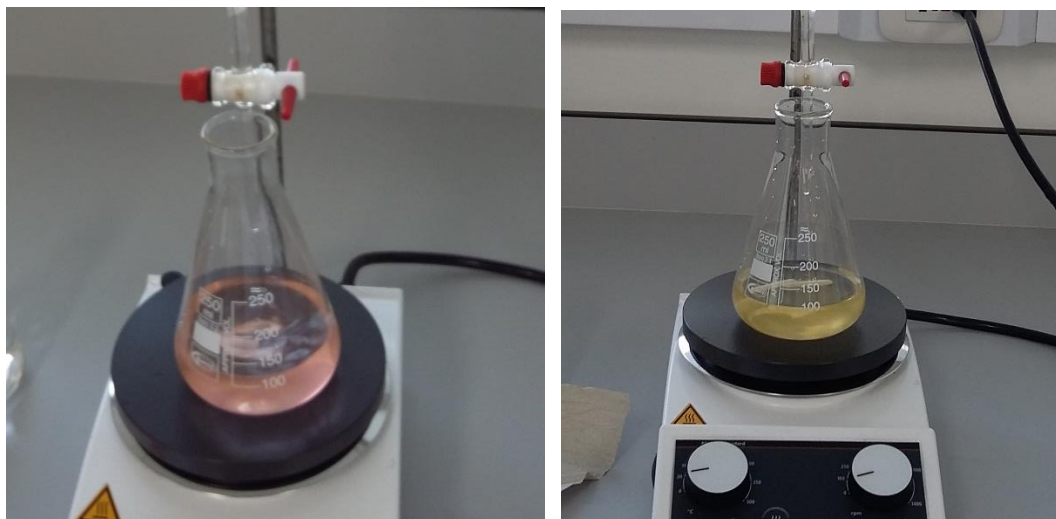


Ilustración 5. Cambio de color del método titulación

9.2.2.2 Coliformes totales por método del número más probable (NMP). Ver Resultados en la (Tabla 15) y la (Ilustración 6) como procedimiento en los laboratorios.

Como se observa en la (tabla 14), en los Coliformes totales no se presentan valores para los dos primeros muestreos en la temporada seca, puesto que había ausencia de material en el laboratorio, por ende, no se pudieron analizar las muestras uno y dos.

Tabla 15. Valores para los Coliformes totales.

TS	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	TLL	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
E1	-	-	210/100ml	E1	43/100ml	240/100ml	1100/100ml
E2	-	-	23/100ml	E2	1100/100ml	43/100ml	240/100ml
E3	-	-	460/100ml	E3	23/100ml	460/100ml	460/100ml
E4	-	-	9.1/100ml	E4	43/100ml	460/100ml	460/100ml
E5	-	-	210/100ml	E5	43/100ml	460/100ml	1100/100ml
E6	-	-	3.6/100ml	E6	75/100ml	460/100ml	460/100ml

Nota. Resultados obtenidos del muestreo ex situ para los Coliformes. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

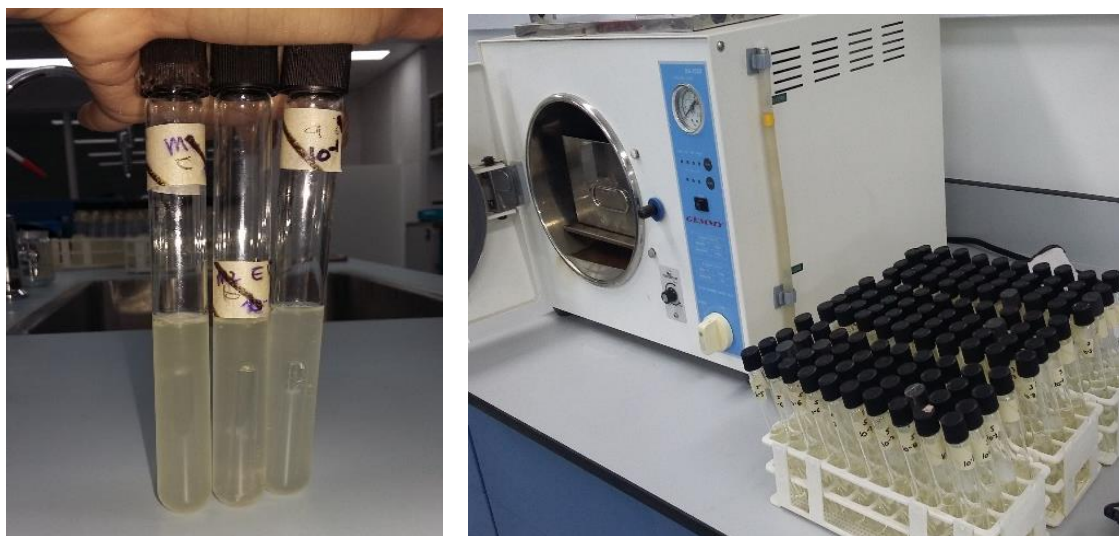


Ilustración 6. Tubos para Coliformes totales.

9.2.2.3 DBO₅ por método Winkler. Ver Resultados en la (Tabla 16) y la (Ilustración 7) como procedimiento en los laboratorios.

Los valores de DBO₅ para el muestreo uno y dos en temporada seca, no fueron posibles hallar puesto que había ausencia de material en el laboratorio.

Tabla 16. Valores para DBO₅

TS	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	TLL	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
E1	-	-	7.6	E1	7.67	7.91	7.86
E2	-	-	7.89	E2	7.68	7.8	7.82
E3	-	-	7.99	E3	7.69	7.85	7.8
E4	-	-	7.68	E4	7.7	7.88	7.98
E5	-	-	7.5	E5	7.78	7.89	7.87
E6	-	-	7.54	E6	7.72	7.9	7.94

Nota. Resultados obtenidos del muestreo ex situ para la DBO₅. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.



Ilustración 7. Medición de oxígeno disuelto y botellas Winkler

9.2.2.4 Dureza por método titulométrico de EDTA. Ver Resultados en la (Tabla 17) y la (Ilustración 8) (Ilustración 7) como procedimiento en los laboratorios.

Tabla 17. Valores para la dureza total (mg/l).

TS	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	TLL	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
E1	600	148	640	E1	498.8	66	71.6
E2	560	144	620	E2	625.2	52	61.6
E3	640	148	740	E3	736.8	72.8	57.6
E4	520	192	648	E4	728.8	84	86
E5	400	148	440	E5	469.6	58.8	66.8
E6	400	128	448	E6	508	50	54.4

Nota. Resultados obtenidos del muestreo ex situ para la dureza. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

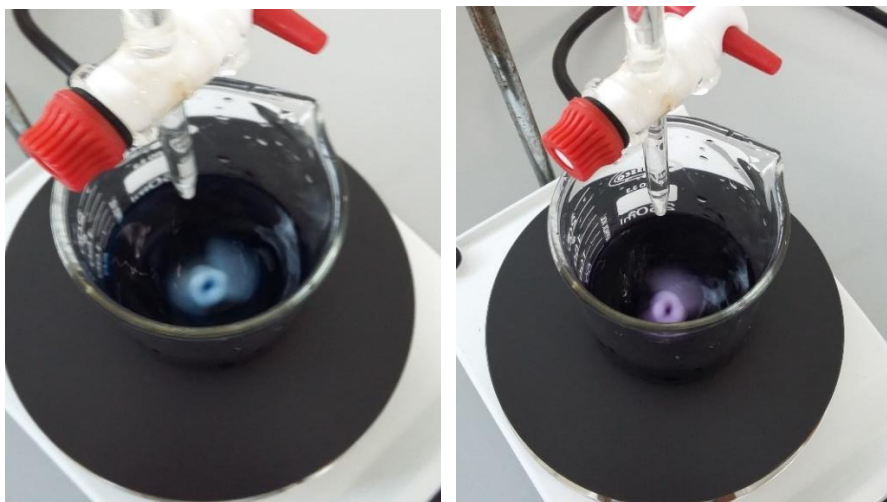


Ilustración 8. Cambio de color método EDTA

9.2.2.5 Fósforo por método Espectrofotométrico. Ver Resultados en la (Tabla 18) y la (Ilustración 9) como procedimiento en los laboratorios.

Tabla 18. Valores para el fósforo (mg/l)

TS	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	TLL	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
E1	0,118	0,100	0,083	E1	0,278	0,383	0,131
E2	0,353	0,180	0,110	E2	0,114	0,510	0,174
E3	0,104	0,070	0,095	E3	0,112	0,464	0,201
E4	0,255	0,099	0,074	E4	0,069	0,439	0,188
E5	0,111	0,096	0,104	E5	0,128	0,455	0,155
E6	0,122	0,102	0,044	E6	0,076	0,459	0,113

Nota. Resultados obtenidos del muestreo ex situ para el fósforo. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.



Ilustración 9. Muestras con sachet de phosphorus.

9.2.2.6 Sólidos suspendidos por método del cono Imhoff. Ver Resultados en la (Tabla 19) y la (Ilustración 10) como procedimiento en los laboratorios.

Tabla 19. Valores para los sólidos (mg/l)

TS	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	TLL	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
E1	2,0	1,1	1,4	E1	7	0,5	0,6
E2	2,0	1	1,1	E2	1,1	0,3	0,7
E3	1,5	2	4	E3	0,8	7,5	0,7
E4	2,0	1,1	2	E4	0,7	11	0,7
E5	1,2	1,5	5	E5	0,7	15	0,5
E6	1	1	1	E6	0,8	7,5	0,5

Nota. Resultados obtenidos del muestreo ex situ para los sólidos en suspensión. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.



Ilustración 10. Prueba del cono Imhoff

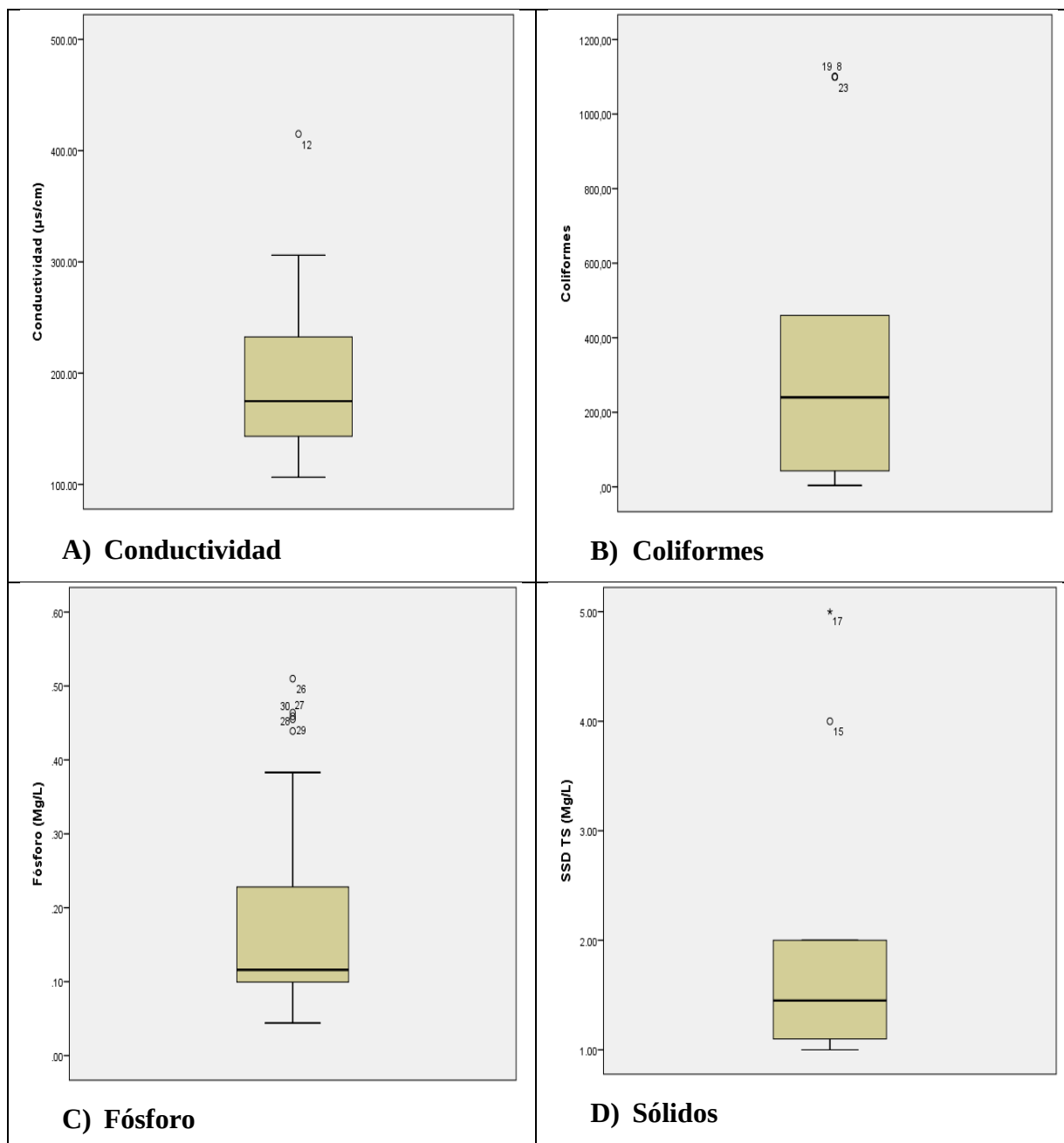
9.3 Análisis estadístico descriptivo de los parámetros.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los muestreos se realiza el análisis de datos en dos momentos, el primero para los diagramas de cajas y bigotes, seguido del análisis estadístico descriptivo mediante el software estadístico IBM SPSS Statistics.

En primer lugar, se realizan diagramas de cajas y bigotes para identificar los valores atípicos y la normalidad de las concentraciones medidas; donde se encontraron valores atípicos para la

Conductividad, Coliformes Totales, Fósforo Total y Sólidos suspendidos los cuales serán analizados.

Tabla 20. Parámetros que presentan valores atípicos.



Nota. Resultados obtenidos de diagramas de cajas y bigotes para determinar valores atípicos de los parámetros. Adaptado de “Software IBM SPSS Statistics”; por Montero & Ramírez, 2018.

En el (A) se observa la presencia de un dato atípico el cual corresponde a la casilla 12, este hace referencia a la temporada seca en la estación seis el cual se midió en la fecha 8/3/2018 con un valor de 415 $\mu\text{S}/\text{cm}$; este valor fue el más alto entre todos los muestreos de conductividad, pero no se despreció ya que para ese muestreo las condiciones climáticas no fueron las mejores puesto que se presenciaron precipitaciones altas a la hora de tomar la muestra, a pesar de estar en temporada seca.

En el (B) se evidencia presencia de datos atípicos para los Coliformes totales, en las casillas 8, 19, y 23, la primera casilla hace referencia a la temporada seca para el muestro del día 24/04/2018 y las dos últimas para la fecha 7/05/2018 en temporada de lluvias, la concentración para todas es de 1100/100ml siendo el máximo valor presentado.

Para el fósforo se presentaron datos atípicos en el (C) en la temporada de lluvias en las casillas 26, 27, 28, 29 y 30 donde se estipulan valores de 0.510 mg/l, 0.464 mg/l, 0.439 mg/l, 0.455 mg/l y 0.459 mg/l. Los anteriores valores fueron muestreados en la fecha 2/5/2018 en las estaciones 2, 3, 4, 5 y 6, ya que para ese mismo muestreo se presentan mayores condiciones oxidantes, el fósforo queda ligado a los sedimentos disminuyendo su concentración en la columna de agua, y por ello se observó una reducción en estas estaciones en la temporada de lluvia (Caho-rodríguez & López-barrera, 2017).

Para la temporada seca de los sólidos suspendidos disueltos en el (D), se presentaron dos valores atípicos en las casillas 15 y 17 para lo cual corresponden valores de 4 mg/l y 5 mg/l, estos valores hacen parte de los más altos en las estaciones 3 y 5. Los valores no son menospreciados puesto que para la fecha 14/03/2018 en la estación tres se presenciaron retroexcavadoras y en cuanto a la estación cinco se evidenciaron personas bañándose; lo anterior pudo aumentar el nivel de sólidos pues las actividades presenciadas pudieron interferir, ya que para aguas superficiales los sólidos suspendidos varían mucho en función del origen y las circunstancias de la captación. (Rigola Lapeña, 1989).

En cuanto a los otros parámetros no se encontraron datos atípicos lo cual nos indica una buena distribución de los datos, por ende, no se exponen en este capítulo, pero se pueden observar en el (**ANEXO 6**) como soporte del análisis de los mismos.

Seguido de esto se presenta el análisis estadístico aplicado a los resultados donde se determinó con base a una estadística descriptiva, para la cual se tuvo en cuenta cuatro momentos estadísticos; el primero que indica la media como tendencia central, que son los valores alrededor del cero.

El segundo momento, la desviación estándar como datos de valores con dispersión, esta se obtiene dividiendo por N-1 la suma de los cuadrados de las diferencias entre cada puntuación y las medias, (Cladera Munar, 2009), estos datos describen como los datos se agrupan o se dispersan alrededor del promedio; permitiendo conocer si el promedio representa adecuadamente la distribución de los datos, cuanto menor es el grado de dispersión mayor es la representatividad del promedio.

El tercer momento siendo el coeficiente de asimetría, representa como los datos se agrupan a la derecha y/o izquierda de la media, esta se puede clasificar según la inclinación de la agrupación de la siguiente manera; asimetría negativa cuando la cola de la distribución se alarga para valores inferiores a la media., simétrica cuando hay el mismo número de elementos a izquierda y derecha de la media y asimetría positiva cuando la cola de la distribución se alarga para valores superiores a la media.(Díaz & Luna, 2015)

Por último, el cuarto momento corresponde a la curtosis que representa el grado de achatamiento de una distribución en comparación a la distribución normal y se puede clasificar según sus valores como leptocúrtica cuando el valor es mayor a 0; mesocúrtica si el valor es igual a 0 y platicúrtica si el valor es menor a 0. (Chile, 2008).

En los siguientes análisis se describen los valores obtenidos para los parámetros según la información anterior y además se soporta con análisis de los gráficos de barras.

9.3.1 Alcalinidad.

Tabla 21. Estadísticos descriptivos para la alcalinidad.

Alcalinidad TS (mg/l)		Alcalinidad TLL (mg/l)
Media	10.722	12.915
Desviación estándar	10.214	7.480
urtosis	-0.931	-0.255
Coefficiente de asimetría	0.97	0.395

Nota. Valores descriptivos de la alcalinidad. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

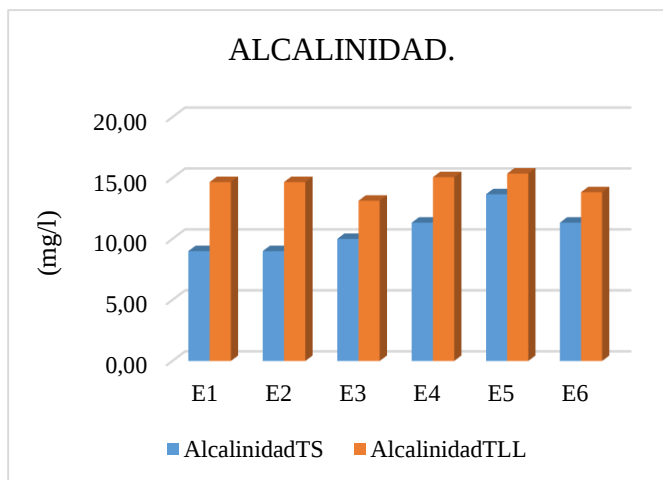


Gráfico 3. Comportamiento de la alcalinidad en TS y TLL. Adaptado de "Software Excel"; por Montero & Ramírez, 2018.

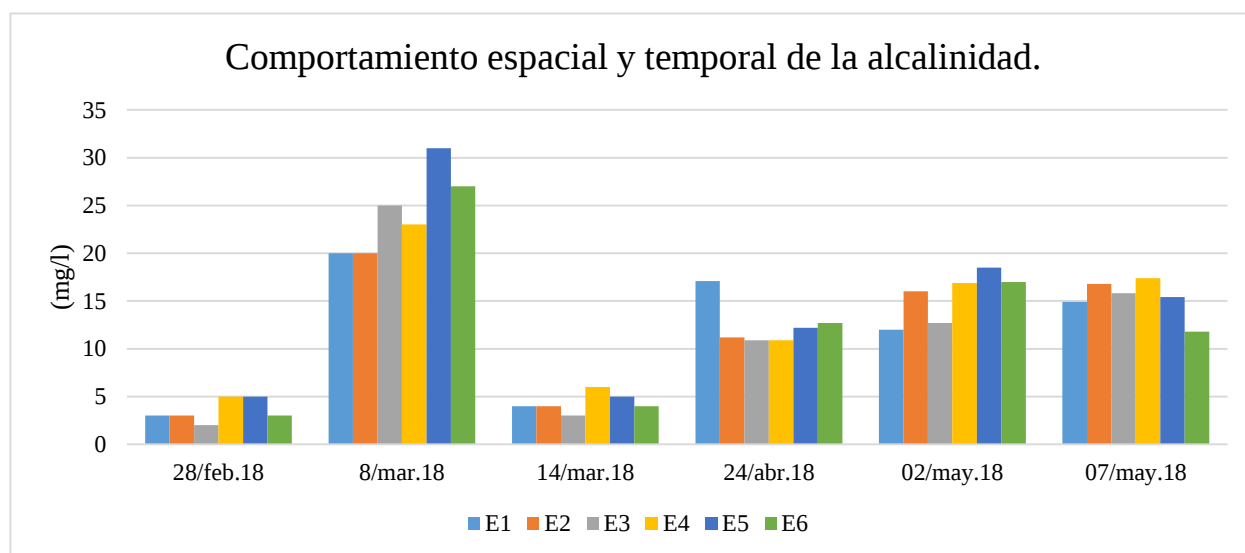


Gráfico 4. Comportamiento espacial y temporal de la alcalinidad. Adaptado de "Software Excel"; por Montero & Ramírez, 2018.

En la (Tabla 21) se observan los valores de la media para la alcalinidad de 10.722 mg/l para TS y 12.915 mg/l para la TLL, indicándonos que los niveles de la TLL son directamente proporcionales con las concentraciones de la alcalinidad ya que en esta temporada es mayor el valor de la media, por otra parte la desviación estándar indica que los valores son más dispersos para la TS por lo que la representatividad de los datos del promedio es mayor para la TLL; los datos presentan una

curtosis platicúrtica de forma muy achatada y su asimetría es positiva para las dos temporadas ya que se concentran más valores a la derecha de la media que a su izquierda.

Dichos análisis se corroboran en el (**Gráfico 3**) donde se observa el comportamiento de la alcalinidad en las seis estaciones durante la temporada seca (barras de color azul) y en la temporada de lluvias (barras de color naranja); en temporada de lluvia aumenta su nivel, esto se puede atribuir a que en estas temporadas el caudal del río aumenta y los minerales son arrasados, sin embargo son niveles bajos en ambas estaciones según el rango tomado de Kevern (1989) (Miller, 2012) esto es bueno ya que el agua con altos niveles de alcalinidad puede ser más dura, más salada y contener más minerales. También puede llevar a la toxicidad del amoníaco que puede dañar los cultivos de regadío, así como afectar a los peces y otras especies de agua dulce. (Bueno-Zabala, Torres-Lozada, & Delgado-Cabrera, 2014).

Por otra parte en el (**Gráfico 4**) se observaron los niveles de la alcalinidad en las seis estaciones de las seis fechas de muestreo, en la que se esperaba que el comportamiento de las tres fechas por temporadas tuvieran una similitud en su comportamiento como se observa en la primera y tercera fecha de la TS donde el rango de diferencia de datos es mínimo, sin embargo, la segunda fecha de TS muestra un aumento exponencial de los niveles de concentración en todas las estaciones, esto debido a que ese día hubieron precipitaciones. En la TLL si se presenta un rango de concentraciones para las tres fechas, incluso los resultados del segundo muestreo en TS entran en ese rango evidenciando que los niveles de la alcalinidad son mayores en TLL.

Este comportamiento como se escribió anteriormente se puede atribuir a que en general, en las aguas naturales, los compuestos que más contribuyen a la alcalinidad son los bicarbonatos, puesto que se forman fácilmente por la acción del dióxido de carbono atmosférico sobre los materiales constitutivos de los suelos en presencia de agua, a través de la siguiente reacción: $CO_2 + CaCO_3 + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + H_2CO_3^-$; Es decir que las aguas adquieren su alcalinidad por medio de la disolución de minerales básicos carbonatados, como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ ; (Pérez & Torres, 2008) y en TLL estas aguas pueden generar una escorrentía que arrastre toda esta disolución de minerales aumentando los niveles de alcalinidad del río.

9.3.2 Conductividad.

Tabla 22. Estadísticos descriptivos para la conductividad.

Conductividad TS		Conductividad TLL (us/cm)
Media	196.612	187.591
Desviación estándar	66.144	67.679
Curtosis	2.314	2.651
Coefficiente de asimetría	1.157	1.392

Nota. Valores descriptivos de la conductividad. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

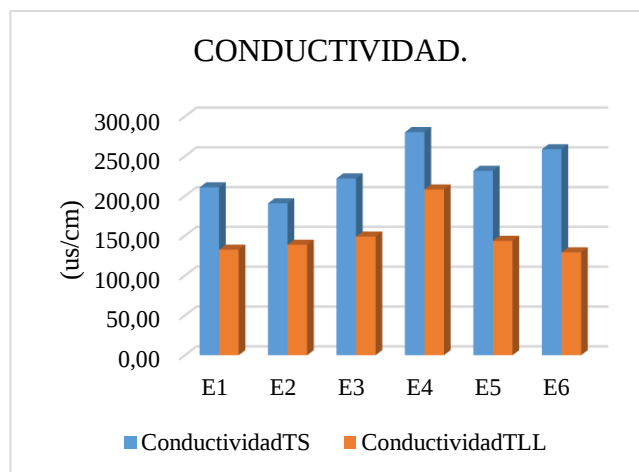


Gráfico 5. Comportamiento de la conductividad en TS y TLL. Adaptado de "Software Excel"; por Montero & Ramírez, 2018.

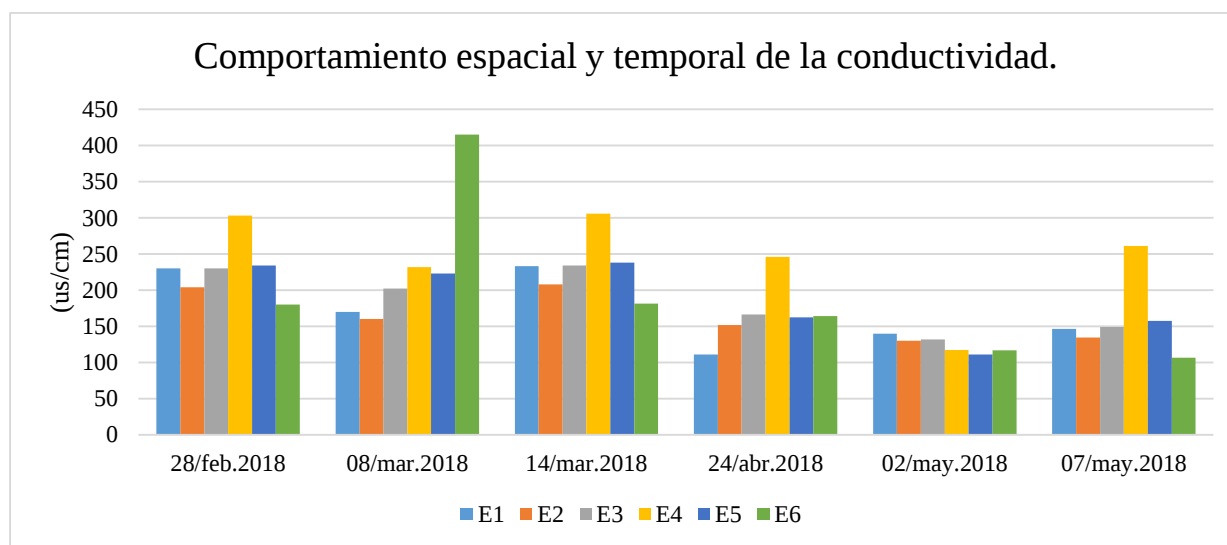


Gráfico 6. Comportamiento espacial y temporal de la conductividad. Adaptado de "Software Excel"; por Montero & Ramírez, 2018.

La (Tabla 22) indica que el valor de la media para la conductividad en TS es de 196.612 $\mu\text{s/cm}$ y 187.591 $\mu\text{s/cm}$ en TLL evidenciando un comportamiento directamente proporcional de la TS con las concentraciones de la conductividad, por otra parte la desviación estándar presenta mayores datos de dispersión para la TLL, es decir que los datos enseñan menor representatividad del

promedio en esta temporada, la conductividad presenta una curtosis leptocúrtica en las dos temporadas lo cual indica que los datos están muy concentrados en la media con una curva muy apuntada, su asimetría es positiva en las dos temporadas.

En el (**Gráfico 5**) se observa el comportamiento de la conductividad en las seis estaciones durante la temporada seca (barras de color azul) y en la temporada de lluvias (barras de color naranja); teniendo en cuenta que la conductividad de una solución es una medida de la capacidad de la misma para transportar la corriente eléctrica y permite conocer la concentración de especies iónicas presentes en el agua (Gloria Inés Giraldo Gómez, 1995) la presente determina que existe mayor conductividad en TS que en TLL.

En el (**Gráfico 6**) se observaron los niveles de la conductividad en las seis estaciones de las primeras tres fechas de muestreo que corresponden a la TS y las siguientes tres fechas que corresponden a la TLL, en estas se evidencia una anomalía en la E6 en la segunda fecha de la TS donde los niveles de la conductividad aumentan significativamente, esto puede relacionarse con la cantidad de sólidos disueltos que habían ya que es el último punto de muestreo y en esa fecha las precipitaciones fueron altas; sin embargo el rango de valores para cada temporada es mínima.

Por otro lado este grafico nos permite ver que los niveles de conductividad fueron mayores en la E4 para las dos temporadas, esto se puede atribuir a la posición del punto ya que está ubicado aguas debajo de un vertimiento puntual de la empresa Ecopetrol (Blanco & Salamanca, 2015) teniendo en cuenta que este parámetro se puede relacionar con la pureza química del agua (mientras más pura es el agua, menor es la concentración de electrolitos en el agua y por ende, mayor es la resistencia del medio a la transmisión de una corriente eléctrica), la cantidad de sólidos disueltos en una solución y la concentración de sólidos disuelto. (Castro, Leda; Fraile, Julio ; Vargas, 1996)

9.3.3 Coliformes Totales.

Tabla 23. Estadísticos descriptivos para los Coliformes totales

CFT TS		CFT TLL
Media	152.62	403.89
Desviación estándar	179.26	93.43
Curtosis	0.63	-2.12
Coefficiente de asimetría	1.09	0.34

Nota. Valores descriptivos de la Coliformes. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

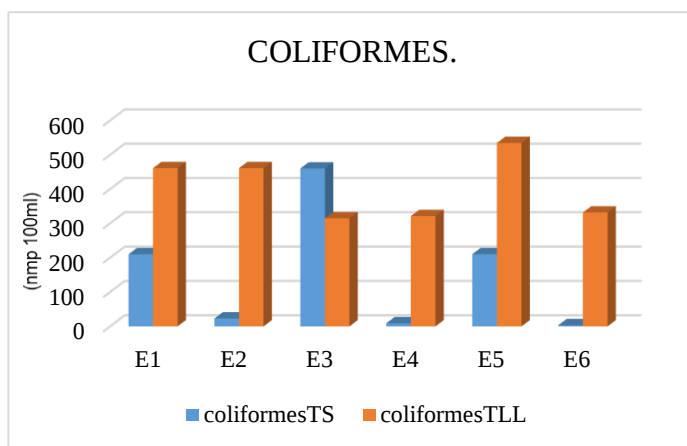


Gráfico 7. Comportamiento de los Coliformes en TS y TLL. Adaptado de "Software Excel"; por Montero & Ramírez, 2018.

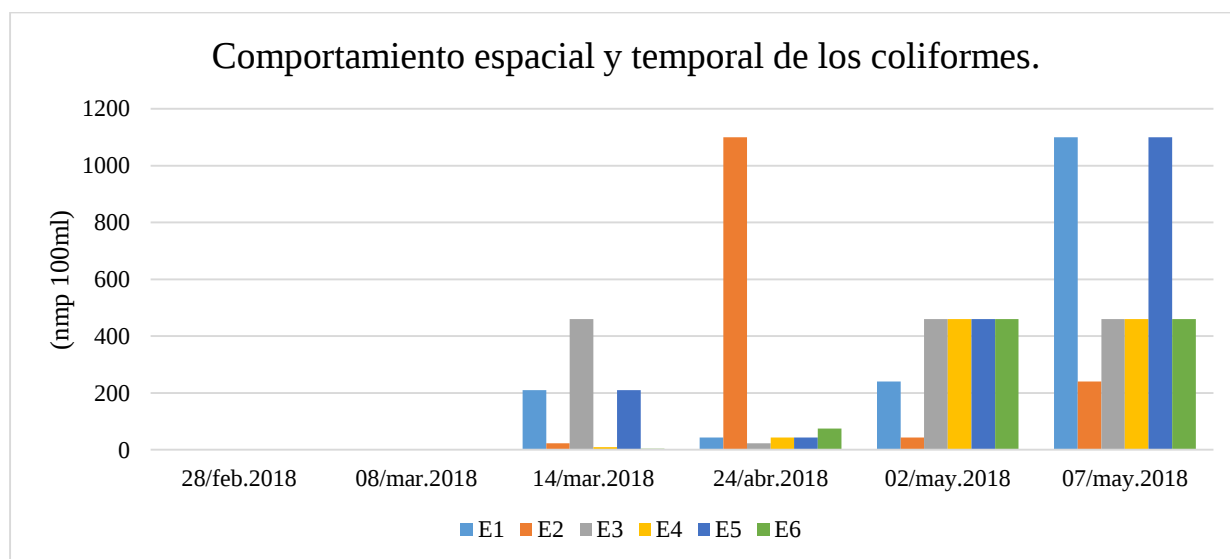


Gráfico 8. Comportamiento espacial y temporal de los Coliformes. Adaptado de "Software Excel"; por Montero & Ramírez, 2018.

La (Tabla 23) indica que el valor de la media para los Coliformes Totales en la TS es de 152.62/100ml y 403.89/100ml en TLL comprobando una relación directamente proporcional con la TLL, sin embargo se tiene en cuenta la ausencia de datos para la TS que puede afectar la lectura de la estadística, por otra parte los valores de la TS presentan mayor dispersión de los datos según su desviación estándar esto nos indica que los datos tienen mayor representatividad en la TLL, los

Coliformes totales presenta una curtosis leptocúrtica en temporada seca lo cual indica que los datos están muy concentrados en la media y en cambio en temporada de lluvia su curtosis es platicúrtica, su asimetría es positiva en las dos temporadas.

Según el análisis descriptivo, en el (**Gráfico 7**) se observa el comportamiento de los Coliformes totales en las seis estaciones durante la temporada seca (barras de color azul) y en la temporada de lluvias (barras de color naranja); los niveles de concentración aumentan en temporadas de lluvias, cabe resaltar que en este muestreo solo se tiene en cuenta un dato de la TS por lo que los resultados de dicha temporada tienen un margen de error debido a su falta de repeticiones.

En el (**Gráfico 8**) se observa el comportamiento de los Coliformes en una sola fecha de la TS debido a que no se pudieron realizar los dos primeros muestreos en los laboratorios; en esta se evidencia un aumento significativo de los Coliformes en la E3, esto se puede atribuir a que en esta estación se hace un vertimiento industrial de la estación Suria que puede estar generando nutrientes en exceso para que exista mayor presencia de los Coliformes; también se observan las el comportamiento en las tres fechas de TLL, en este se observa que el nivel de los Coliformes aumenta en todas las estaciones con forme pasan las fechas, excepto por la primera fecha de muestreo en la E2, donde hay un aumento significativo de la concentración, esto pudo suceder por alguna actividad de la planta extractora de minerales que hay aguas arriba y frente al punto de muestreo.

Por otro lado, en el comportamiento de los Coliformes para las dos temporadas, se observa y corrobora el comportamiento de las concentraciones en las estaciones en las diferentes fechas, el aumento de estas se hace más evidente en TLL, donde los niveles de la E1, E2 y E5 se elevan en las diferentes fechas de dicha temporada; esto se puede atribuir a que en la temporada de lluvias los niveles de Coliformes aumentan debido en gran medida a las descargas de escorrentía que se realizan por los terrenos. (Ramos-Ortega, Vidal, & Vilardy, 2008) que en este caso son utilizados para plantaciones de palmas, plantas extractoras de minerales y pasea ganado; generando gran contenido de nutrientes y patógenos en dichas descargas de escorrentía.

9.3.4 DBO₅.

Tabla 24. Estadísticos descriptivos para la DBO₅.

DBO ₅ TS		DBO ₅ TLL
Media	4.53	7.82
Desviación estándar	0.40	0.04
Curtosis	0.38	-2.07
Coefficiente de asimetría	0.53	-0.52

Nota. Valores descriptivos de la DBO₅. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

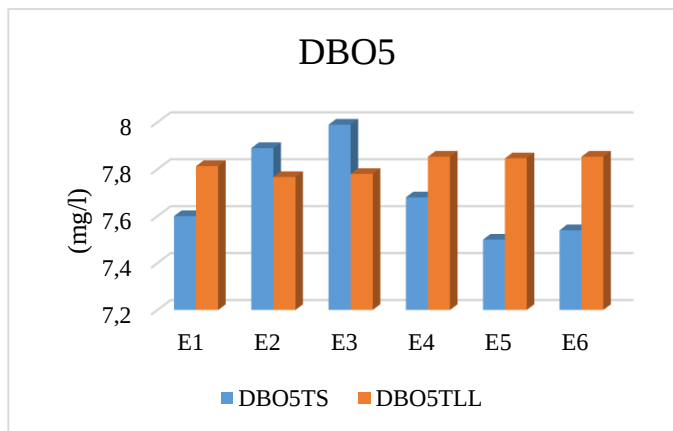


Gráfico 9. Comportamiento de la DBO₅ en TS y TLL. Adaptado de “Software Excel”; por Montero & Ramírez, 2018.

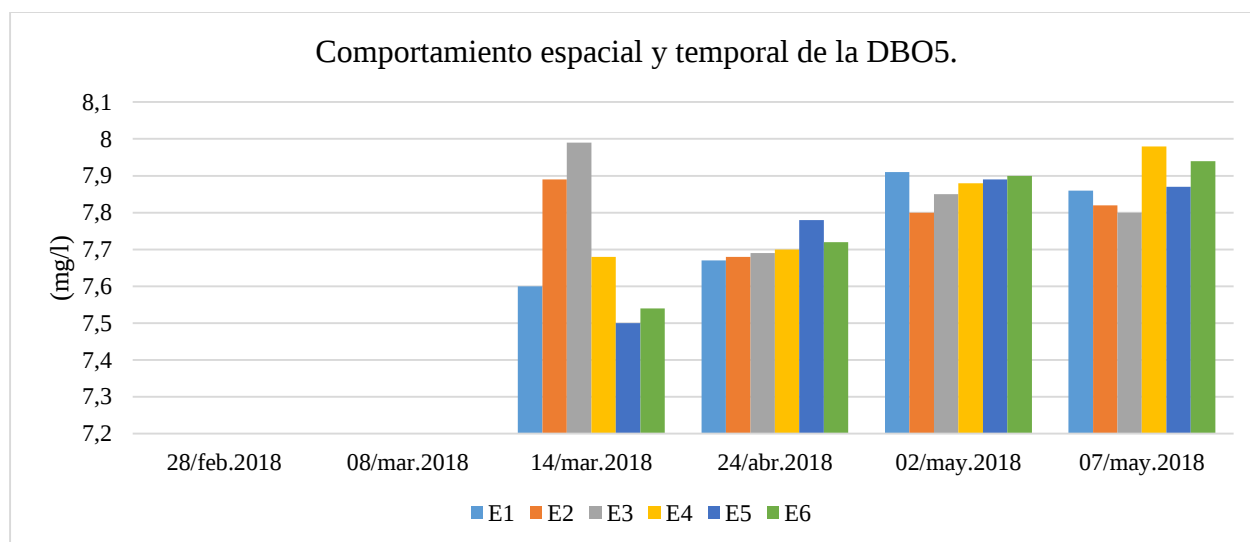


Gráfico 10. Comportamiento espacial y temporal de la DBO₅. Adaptado de “Software Excel”; por Montero & Ramírez, 2018.

La (Tabla 24) indica que el valor de la media para la DBO₅ en TS es de 4.53 mg/l y 7.82 mg/l en TLL por lo que se puede decir que el comportamiento de la DBO₅ es directamente proporcional con la TLL, sin embargo se tiene en cuenta que al igual que en los Coliformes no se tienen los datos completos de la TS por lo que se puede ver afectado el cálculo de la estadística, por otra parte con la desviación estándar se observa mayor número de dispersión de datos en la TS es decir

que en esta temporada la representatividad del promedio de los datos es menor, la DBO_5 presenta una curtosis leptocúrtica para la sequía lo cual indica que los datos están muy concentrados en la media con una curva muy apuntada, mientras que en tiempo de lluvias es platicúrtica y su asimetría es positiva en las dos temporadas.

Según el análisis descriptivo, en el (**Gráfico 9**) se observa el comportamiento de la DBO_5 en las seis estaciones durante la temporada seca (barras de color azul) y en la temporada de lluvias (barras de color naranja); los valores de la DBO_5 varían entre rangos de 7,5 a 7,8 para ambas temporadas que indica que son aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable, se clasifica como agua de buena calidad.(Mejia, 2006), cabe resaltar que para este muestreo solo se tiene un dato de la TS por lo que los resultados de dicha temporada tienen un margen de error debido a su falta de repeticiones.

En el (**Gráfico 10**) se observaron los niveles de la DBO_5 en las seis estaciones de la tercera fecha muestreo que corresponde a la TS y las siguientes tres fechas que corresponden a la TLL; como se mencionó anteriormente los datos de los dos primeros muestreos no se tienen por falta de material en los laboratorios, en estas se observa que los rangos de los valores oscilan entre 7,5 y 7,8 (mg/l), teniendo en cuenta que mientras más alta sea la DBO, mayor el grado de contaminación y según la clasificación de la DBO, el río Guayuriba es un río moderadamente contaminado ya que a mayor cantidad de materia orgánica que contiene la muestra, más oxígeno necesitan sus microorganismos para oxidarla (degradarla).

Por otro lado, se observa la similitud de los valores en todos los puntos de muestreo en TLL y un aumento de la DBO_5 en las E2 y E3 de los valores para la TS, este aumento se puede atribuir a que en esta zona baja de la cuenca existe un vertido agroindustrial proveniente de una planta procesadora de fruto de palma de aceite (Blanco & Salamanca, 2015) y plantas extractoras de material mineral del río, que pueden generar mayor concentración de medios biológicos por los desechos que durante sus procesos se generan y vierten al mismo.

9.3.5 Dureza.

Tabla 25. Estadísticos descriptivos para la dureza.

Dureza TS		Dureza TLL
Media	341.709	331.055
Desviación estándar	256.313	263.487
Curtosis	-1.676	-1.734
Coefficiente de asimetría	0.187	0.245

Nota. Valores descriptivos de la dureza. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

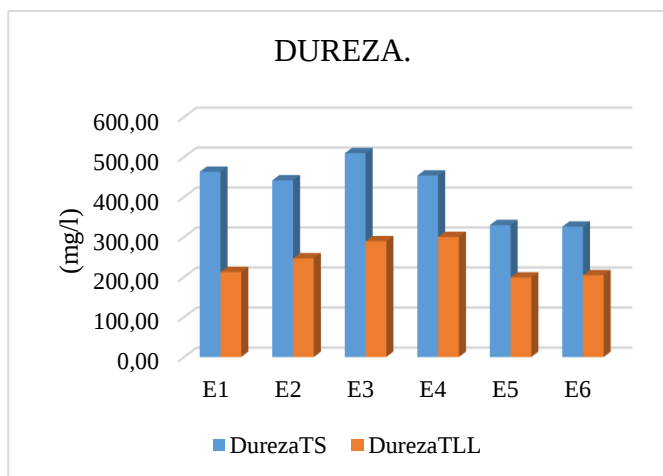


Gráfico 11. Comportamiento de la dureza en TS y TLL. Adaptado de “Software Excel”; por Montero & Ramírez, 2018.

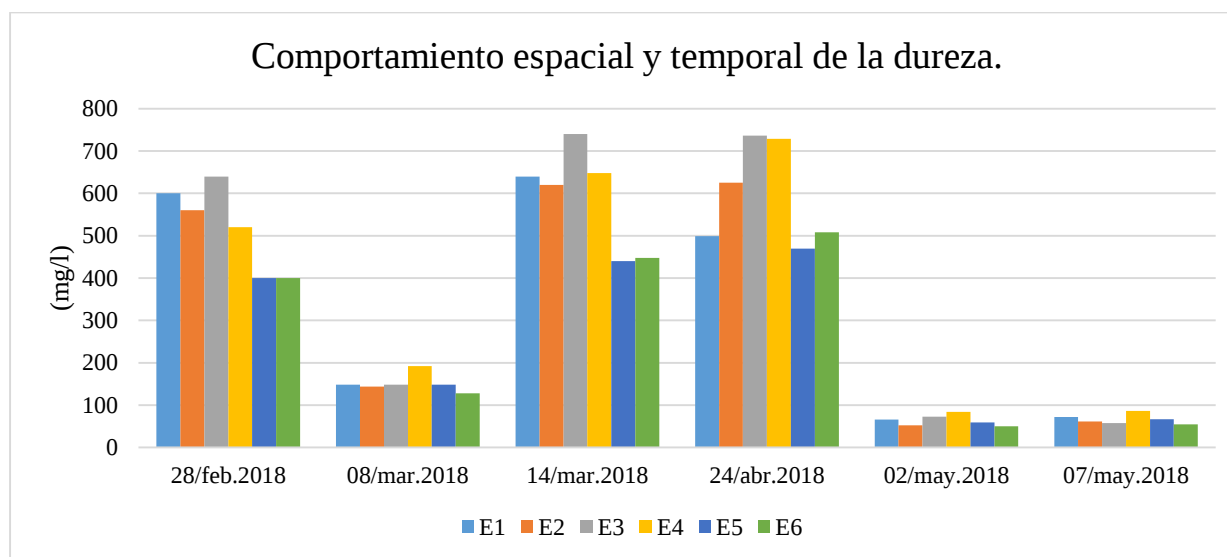


Gráfico 12. Comportamiento espacial y temporal de la dureza. Adaptado de “Software Excel”; por Montero & Ramírez, 2018.

De acuerdo a la (Tabla 25) el valor de la media para la TS es de 341.709 mg/l y 331.055 mg/l para la TLL indicando un comportamiento directamente proporcional de la TS con las concentraciones de la dureza, del mismo modo la representatividad del promedio de la TS es mayor debido a que

la desviación estándar presenta menor dispersión de datos para la esta temporada, la curtosis es platicúrtica para las dos temporadas y presenta una asimetría positiva para la TS y la TLL.

Según el análisis descriptivo, en el (**Gráfico 11**) se observa el comportamiento de la dureza en las seis estaciones durante la temporada seca (barras de color azul) y en la temporada de lluvias (barras de color naranja); esta nos indica que el agua es más dura en la temporada seca teniendo en cuenta que el agua dura se crea cuando el magnesio y el calcio los dos minerales disuelven en el agua. También se debe a la presencia de hierro, el grado de dureza de un agua aumenta, cuanto más calcio y magnesio hay disuelto (Dirección General de Salud, 2017) se puede determinar que en temporada de lluvias el aumento del caudal arrastra estos dos elementos impidiendo que las concentraciones del calcio y el magnesio aumenten y a su vez la dureza, sin embargo los niveles de concentración de la dureza la clasifican como aguas muy duras en TS y duras en TLL según el trabajo realizado por (Gutiérrez, 2006)

En el (**Gráfico 12**) se observaron los niveles de la dureza en las seis estaciones de las primeras tres fechas de muestreo que corresponden a la TS y las siguientes tres fechas que corresponden a la TLL; en el presente se observa un comportamiento similar para la TLL recordando que en la segunda fecha de la TS hubo precipitaciones, la primera fecha de muestreo para TLL aumenta los valores de la dureza en todas las estaciones, esto se puede atribuir a que por esos días no hubo mucha precipitación; según los rangos de clasificación de la dureza y los datos obtenidos las aguas del río Guayuriba son muy duras en TS y duras en TLL.

Por otra parte, se determina la similitud en la tendencia de los datos de todas las estaciones en un mismo día de muestreo; sin embargo, la E5 y E6 presenta menos niveles de concentración de dureza que las demás estaciones, por lo general la dureza del agua es causada por la presencia de iones calcio (Ca^{2+}), y iones magnesio, (Mg^{2+}) disueltos en el agua. (Gutiérrez, 2006) por lo que la disminución en estas dos estaciones se puede asociar a que en el río se encuentran dos puntos con vertimientos de la industria de hidrocarburos en el zona media y un vertido agroindustrial proveniente de una planta procesadora de fruto de palma de aceite en la zona baja (Blanco & Salamanca, 2015) estos vertimientos pueden inhibir la presencia de estos iones al generar un intercambio iónico con iones de sal.

9.3.6 Fósforo.

Tabla 26. Estadísticos descriptivos para el fósforo.

Fósforo TS		Fósforo TLL
Media	0.12	0.25
Desviación estándar	0.07	0.16
Curtosis	5.67	-1.46
Coeficiente de asimetría	2.32	0.57

Nota. Valores descriptivos del fósforo. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

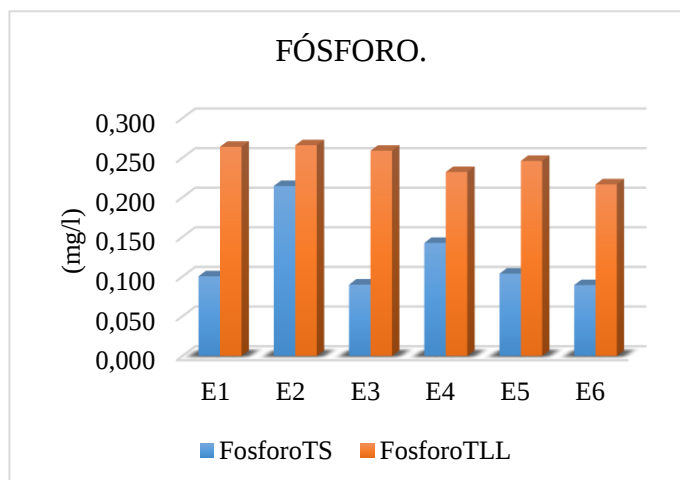


Gráfico 13. Comportamiento del fósforo en TS y TLL. Adaptado de “Software Excel”; por Montero & Ramírez, 2018.

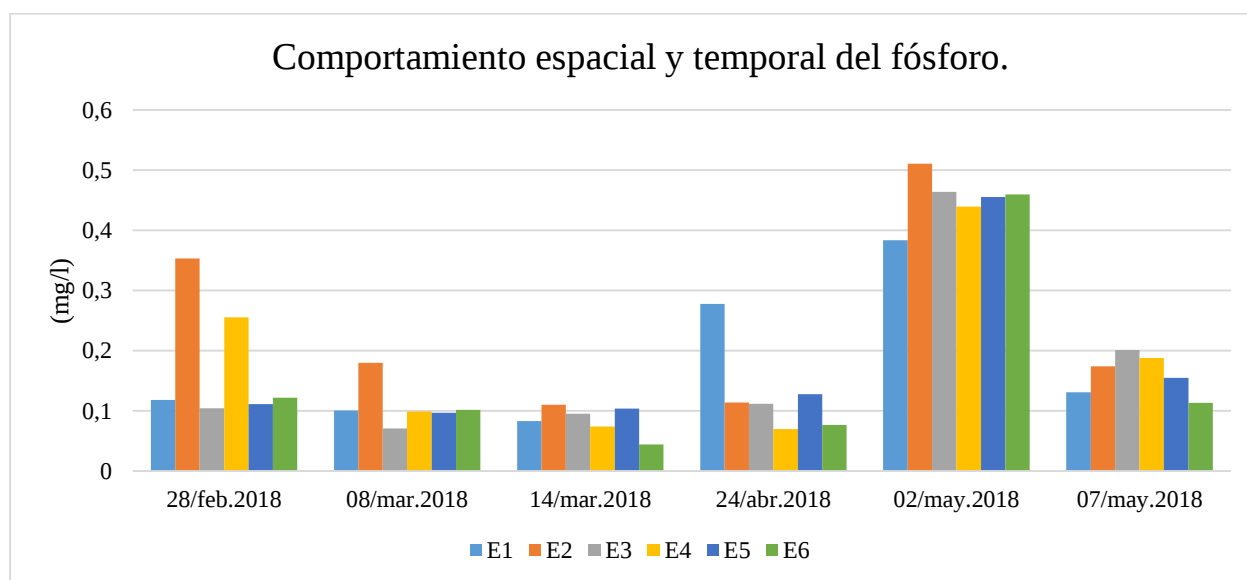


Gráfico 14. Comportamiento espacial y temporal del Fósforo. Adaptado de “Software Excel”; por Montero & Ramírez, 2018.

La (Tabla 26) demuestra que los valores de la media en TS es de 0.12 mg/l y 0.25 en TLL, esta nos muestra que las concentraciones del fósforo tienen un comportamiento directamente proporcional con la TLL, los datos de la desviación estándar muestran que existe mayor dispersión de los datos en la TLL por lo que la representatividad del promedio de los datos es menor para esta

temporada, la curtosis es leptocúrtica, para la TS y platicúrtica en la TLL teniendo en cuenta que este valor es menor que la media y presentan una asimetría negativa para las dos temporadas teniendo en cuenta que los valores son mayores que la media.

En el (**Gráfico 13**) se observa el comportamiento del fósforo en las seis estaciones durante la temporada seca (barras de color azul) y en la temporada de lluvias (barras de color naranja); en el presente se puede definir que los niveles de concentración del fósforo son mayores en la temporada de lluvias, esto se puede imputar a que las lluvias contribuyen con una cantidad importante del fósforo total presente en las aguas superficiales (Severichel, Luna, & González, 2013) por el proceso de lavado que hace en la atmosfera y la escorrentía por los suelos que finalmente arrastran los fosfatos al cuerpo de agua.

En el (**Gráfico 14**) se observaron los niveles del fósforo en las seis estaciones de las primeras tres fechas de muestreo que corresponden a la TS y las siguientes tres fechas que corresponden a la TLL; en él se determina que los rangos de valores oscilan entre 0,1 y 0,4 (mg/l) y que aumento exponencialmente en el segundo muestreo de la TLL, la concentración del fósforo en agua determina el grado de eutrofización, donde las consecuencias son ríos con mucha vegetación y otros organismos que agotan el oxígeno del agua y que llevan a la ausencia de vida en ella, sin embargo los niveles obtenidos no superan los 0,5 mg/l y según la clasificación no es un río con eutrofización. (Vázquez & Rios, 2001)

Esta permite observar que en las dos primeras fechas para TS en las estaciones E2 y E4 hay un aumento de la concentración del fósforo, esto se puede atribuir a que los valores de fósforo generalmente se deben a la distribución de desechos de animales provenientes de terrenos aledaños, al uso excesivo de fertilizantes en la agricultura, y a desechos sanitarios de comunidades cercanas que carecen de alcantarillados sanitarios (Blanco & Salamanca, 2015), contribuyendo a que los cuerpos de agua reciban nutrientes en exceso y en estas estaciones hay actividades de plantaciones de palma, sin embargo, los niveles no aumentaron de manera exponencial para que puedan generar un crecimiento excesivo de plantas acuáticas, por lo tanto no representa un problema actual.

9.3.7 Oxígeno Disuelto.

Tabla 27. Estadísticos descriptivos para el oxígeno disuelto.

Oxigeno TS		Oxigeno TLL
Media	7.1	7.8
Desviación estándar	1.0	0.5
Curtosis	-1.6	6.2
Coeficiente de asimetría	-0.2	-2.2

Nota. Valores descriptivos del oxígeno disuelto. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

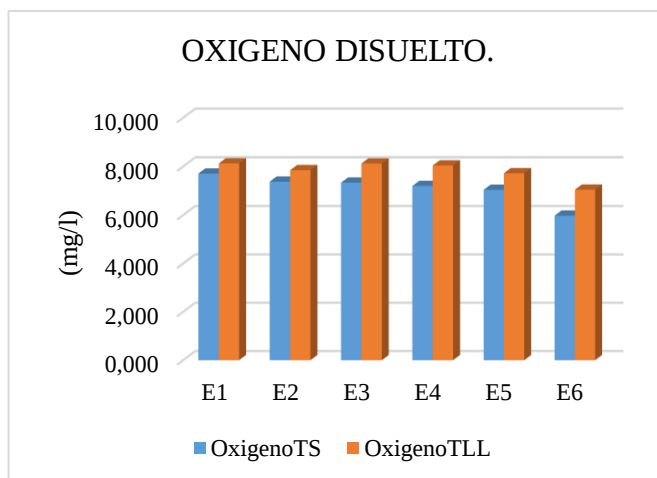


Gráfico 15. Comportamiento del oxígeno disuelto en TS y TLL. Adaptado de “Software Excel”; por Montero & Ramírez, 2018.

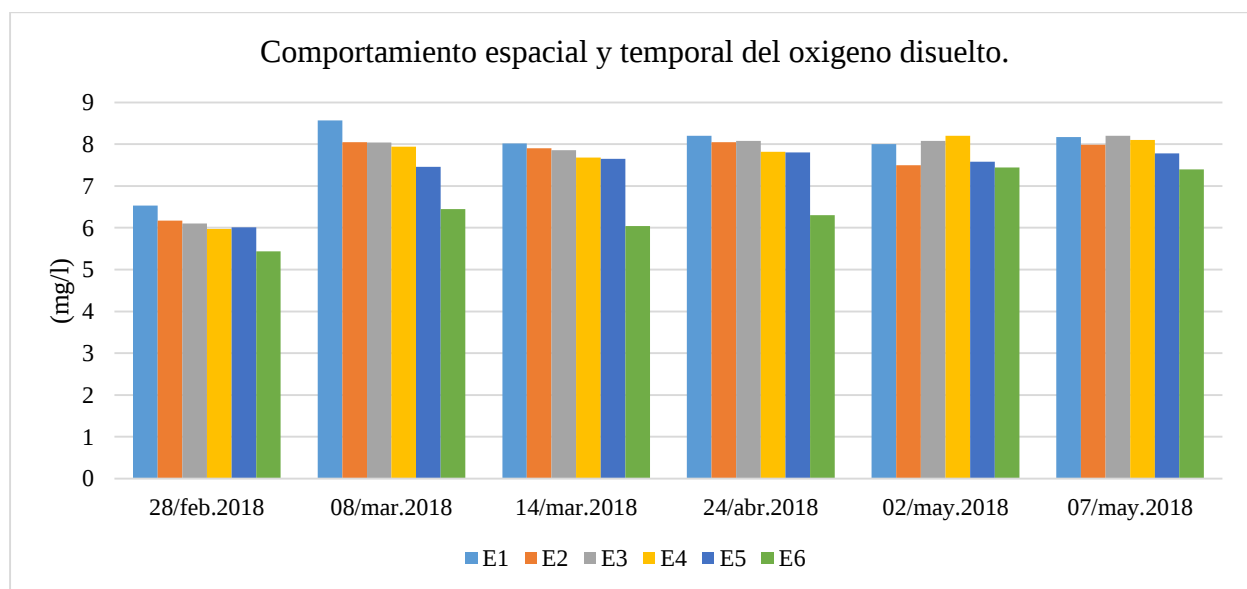


Gráfico 16. Comportamiento espacial y temporal del oxígeno disuelto. Adaptado de “Software Excel”; por Montero & Ramírez, 2018.

Se puede evidenciar que en la (Tabla 27) que los valores de la media para la TS es de 7.1 mg/l y 7.8 mg/l para la TLL, donde se indica que el comportamiento del oxígeno disuelto es directamente proporcional con la TLL, en la desviación estándar se observa mayor dispersión de los valores en la TS, es decir que la TLL tiene mayor representatividad del promedio de datos; la curtosis en

temporada seca es platicúrtica y en lluvias es leptocúrtica, en cuanto a su asimetría es positiva para las dos temporadas.

En el (**Gráfico 15**) se observa el comportamiento del oxígeno disuelto en las seis estaciones durante la temporada seca (barras de color azul) y en la temporada de lluvias (barras de color naranja); en esta se evidencia que el oxígeno disuelto es mayor en la temporada de lluvias sin embargo en la temporada baja el oxígeno disuelto se encuentra en el rango de condición (buena) con un [OD] adecuado para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos. (Ott, 1987) este O.D se puede asociar a la temperatura que se registró para los mismos puntos de monitoreo debido a que las aguas más cálidas son capaces de disolver menores cantidades de oxígeno por lo que el agua caliente puede significar la disminución del OD a niveles por debajo del límite necesario para algunas formas de vida mientras que la temperatura mayor fue de 28°C. (Ott, 1987).

En el (**Gráfico 16**) se observaron los niveles del oxígeno disuelto en las seis estaciones de las primeras tres fechas de muestreo que corresponden a la TS y las siguientes tres fechas que corresponden a la TLL; en este se determina que el rango de valores para este parámetro oscila entre 5,9 y 8,1(mg/l), el oxígeno es un indicador de la capacidad del río para mantener la vida acuática, en un cuerpo de agua se produce y a la vez se consume oxígeno, según los rangos de concentración de oxígeno disuelto entre 5-8 es clasificada como aceptable (Beltrán, Pedro, & Ramírez, 2012)

El presente muestra el comportamiento de los valores en las estaciones por fechas, en el que se puede determinar que los niveles más bajos de O.D están en la E6 las barras de color verde para todas las fechas, esto se puede atribuir a que este por ser el último punto de muestreo la toma de la muestra se llevaba a cabo en las últimas horas del recorrido en hora de la tarde donde la temperatura del agua y del ambiente eran mayores y por ende los niveles de OD pudieron disminuir, sin embargo, estos valores aunque son los más bajos de OD son valores aceptables para la vida acuática (Carrillo, 2013)

9.3.8 pH.

Tabla 28. Estadísticos descriptivos para el pH.

pH TS		pH TLL
Media	7.60	7.57
Desviación estándar	0.39	0.38
Curtosis	-0.98	-1.01
Coeficiente de asimetría	-0.59	-0.42

Nota. Valores descriptivos del pH. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018

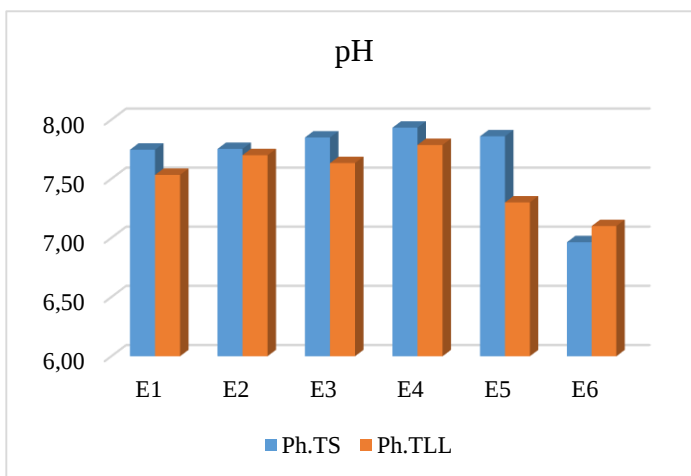


Gráfico 17. Comportamiento del pH en TS y TL. Adaptado de "Software Excel"; por Montero & Ramírez, 2018.

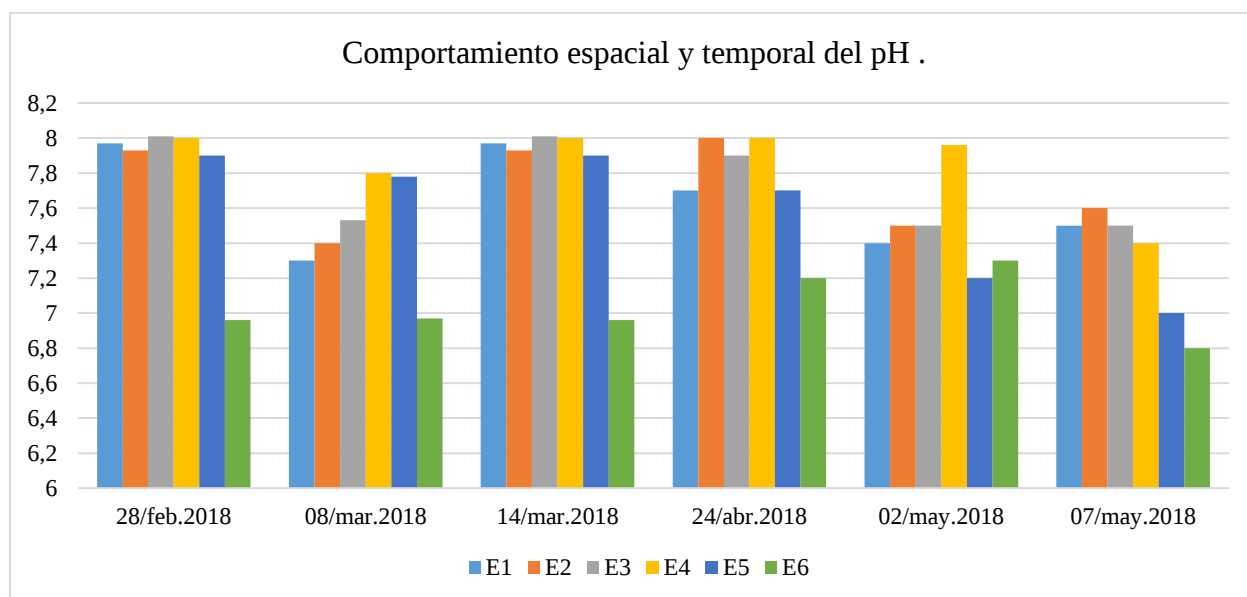


Gráfico 18. Comportamiento espacial y temporal del pH. Adaptado de "Software Excel"; por Montero & Ramírez, 2018.

Según la (Tabla 28) los valores la media para la TS son de 7.60 y 7.57 en TLL, evidenciando un comportamiento directamente proporcional de la TS con las medidas del potencial de hidrogeno, por otra parte la desviación estándar muestra que existe mayor cantidad de dispersión de datos en la TS indicándonos que la representatividad de los datos es menor en esta temporada, presenta una

curtosis platicúrtica en la TS y TLL indicando que los datos presentan un valor menor a la normal y una asimetría positiva para las dos temporadas.

En el (**Gráfico 17**) se observa el comportamiento del pH en las seis estaciones durante la temporada seca (barras de color azul) y en la temporada de lluvias (barras de color naranja); la presente muestra mayores niveles de pH en la temporada seca, el pH tiene una relación inversamente proporcional con la alcalinidad haciéndola depender de él como se muestra en la gráfica de la alcalinidad; sin embargo los niveles del pH en las dos temporadas oscilan entre 6,8 y 8,0 indicándonos que el agua es una sustancia básica apta para el uso de varias actividades.

En el (**Gráfico 18**) se observaron los niveles del pH en las seis estaciones de las primeras tres fechas de muestreo que corresponden a la TS y las siguientes tres fechas que corresponden a la TLL; en el que se observa un comportamiento similar por temporadas, los niveles del pH variaron entre 6,7 y 6,8, el pH es la concentración de iones hidronio (H_3O^+) presente en el agua, según la clasificación del pH el agua del Río Guayuriba es un agua neutra.

En el presente se observa como los niveles de pH son más bajos en la E6, con valores que acerca a este punto a ser un agua ligeramente ácido; esto se puede deber a las actividades de la zona, ya que la plantación de palmas y el vertimiento industrial presente pueden generar la disminución de los iones hidronio debido a que se expone a una mayor cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera generando una asociación de pH con los gases atmosféricos y las temperaturas que aumentan en este punto. (Monte Pérez, 2016)

9.3.9 SSD.

Tabla 29. Estadísticos descriptivos para los SSD.

SSD TS		SSD TLL
Media	1.77	3.14
Desviación estándar	1.08	4.44
Curtosis	4.59	1.77
Coeficiente de asimetría	2.16	1.64

Nota. Valores descriptivos de los sólidos. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018

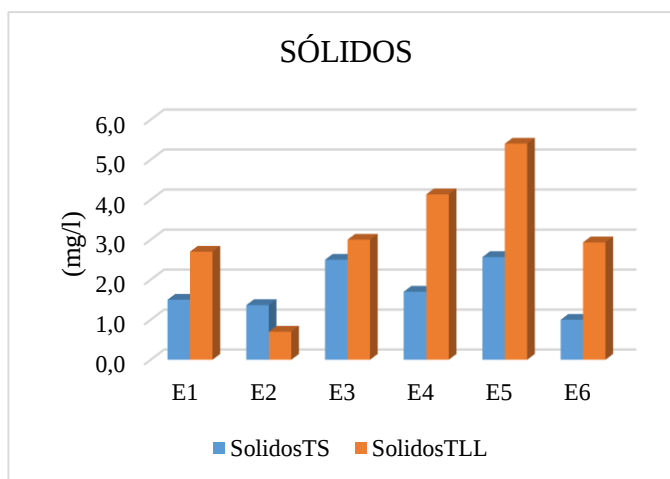


Gráfico 19. Comportamiento de los sólidos en TS y TLL. Adaptado de “Software Excel”; por Montero & Ramírez, 2018.

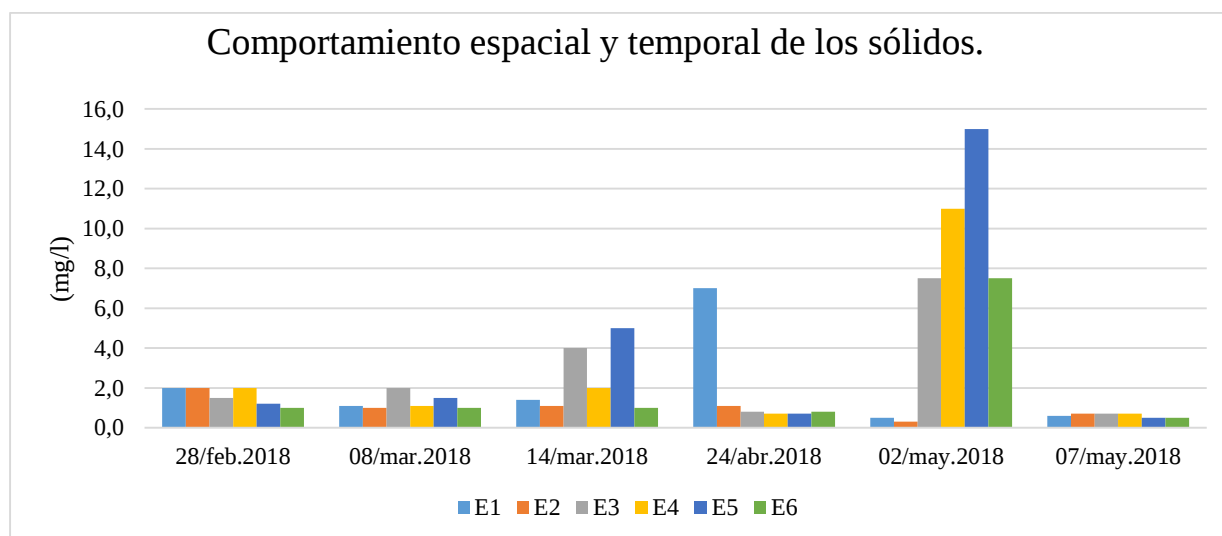


Gráfico 20. Comportamiento espacial y temporal de los sólidos. Adaptado de “Software Excel”; por Montero & Ramírez, 2018.

En la (Tabla 29) se muestran los valores de la media para la TS de 1.77 mg/l y 3.14 en TLL, en esta se define un comportamiento directamente proporcional de los sólidos en suspensión con la TLL, la desviación estándar presenta mayor número de dispersión de datos en la TLL indicando menor representatividad del promedio en esta temporada, se evidencia una curtosis leptocúrtica ya que sus valores son mayores a 0, una asimetría positiva para la TLL y negativa en la TS.

En el (**Gráfico 19**) se observa el comportamiento de los sólidos en las seis estaciones durante la temporada seca (barras de color azul) y en la temporada de lluvias (barras de color naranja); en esta podemos observar que los niveles de los sólidos son mayores en la temporada de lluvias debido a que en esta temporada el caudal del cuerpo hídrico aumenta arrastrando mayor cantidad de sedimentos que pueden provocar la suspensión de los sólidos; además de esto se evidencia que en la estación 5 (E5) el nivel de los sólidos durante las dos temporadas es mayor con respecto a las otras estaciones esto puede suceder a que es un punto muy visitado para los bañistas que generan el levantamiento de las partículas del fondo del río.

En el (**Gráfico 20**) se observaron los niveles de los sólidos en las seis estaciones de las primeras tres fechas de muestreo que corresponden a la TS y las siguientes tres fechas que corresponden a la TLL; en ellos se puede observar que el comportamiento de estos presenta una similitud de valores en la TS y en el segundo muestreo de la TLL presenta un aumento exponencial de la concentración de los mismos, esto se puede atribuir a que en esa fecha las precipitaciones fueron tan altas que el caudal del río se desbordó, este crecimiento de nivel del río genera que el cuerpo arrastre mayor cantidades de sólidos que pudo causar este resultado de datos.

Las barras corroboran la información y el aumento de la concentración de los sólidos para la fecha (02/mayo/18) en TLL en la que se muestra sus niveles exponenciales para todas las estaciones teniendo en cuenta que los sólidos en suspensión tienen implicaciones como depositarse en el fondo de un cuerpo de aguas, cubriendo organismos acuáticos, huevos, o larvas de macro invertebrados que puede impedir la transferencia de oxígeno y resultar en la muerte de los organismos enterrados bajo esta capa pueden ser de origen orgánico o inorgánico, se puede decir que en las TLL representan un problema para el cuerpo de agua con respecto a este parámetro.

Estos sólidos en suspensión pueden ser contaminantes de origen orgánico e inorgánico que son absorbidos en la tierra y que subsiguientemente aumentan la concentración de contaminantes presentes en los sólidos. Es decir que contaminantes absorbidos en sólidos pueden ser transportados a otros cuerpos de agua, resultando en la exposición de contaminantes a organismos lejos del origen de contaminación. (Sánchez & Viáfara, 2014)

9.3.10 Temperatura del agua.

Tabla 30. Estadísticos descriptivos para la temperatura del agua.

TA TS		TA TLL
Media	24.47	23.06
Desviación estándar	2.27	2.06
Curtosis	-0.86	0.81
Coefficiente de asimetría	-0.39	0.94

Nota. Valores descriptivos de la temperatura del agua. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

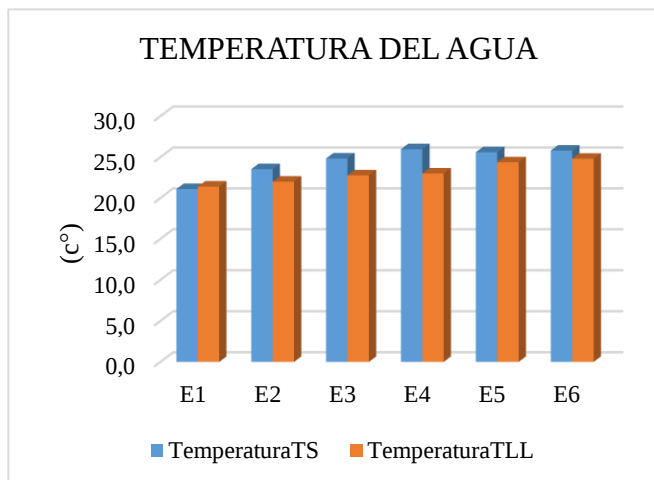


Gráfico 21. Comportamiento de la temp. del agua en TS y TLL. Adaptado de “Software Excel”; por Montero & Ramírez, 2018.

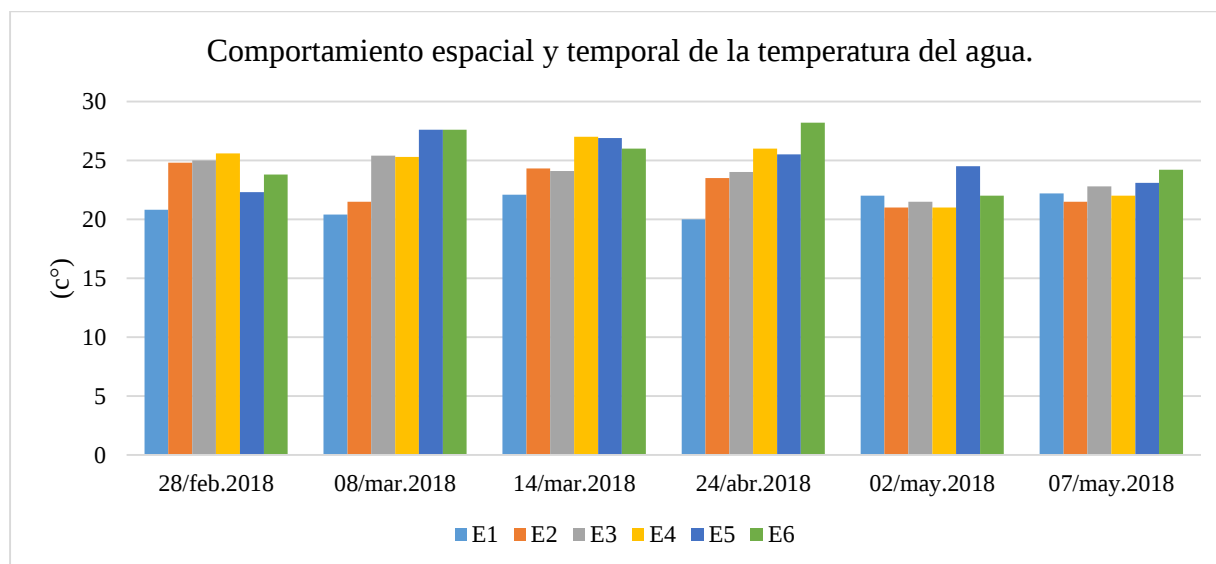


Gráfico 22. Comportamiento espacial y temporal de la temperatura del agua. Adaptado de “Software Excel”; por Montero & Ramírez, 2018.

Según la (Tabla 30) los valores de la media son de 24.47°C en TS y 23.06 °C en TLL, demostrando un comportamiento directamente proporcional de la TS con la temperatura del agua donde se los niveles de la temperatura son más altos; por otra parte la desviación estándar muestra mayor

número de dispersión en la TS indicando que la representatividad de los datos es menor en esta temporada, en la TS se presenta una curtosis platicúrtica y en TLL leptocúrtica, en cuanto a su asimetría en la TS es negativa y en TLL es positiva.

En el (**Gráfico 21**) se observa el comportamiento de la temperatura del agua en las seis estaciones durante la temporada seca (barras de color azul) y en la temporada de lluvias (barras de color naranja); en esta podemos evidenciar que los grados centígrados son mayores en la temporada seca o de verano, aquí podemos ver que la temperatura del agua y el oxígeno tienen una relación inversamente proporcional y que por lo tanto el oxígeno depende de la temperatura como ya se había mencionado anteriormente en la gráfica del oxígeno disuelto. Por otra parte, las temperaturas oscilan entre los 18 y 25°C en las dos temporadas esto supone que son superiores a 15 °C favoreciendo el desarrollo de microorganismos e intensificando los olores y sabores del agua. (Dirección General de Salud, 2017)

En el (**Gráfico 22**) se observaron los niveles de la temperatura del agua en las seis estaciones de las primeras tres fechas de muestreo que corresponden a la TS y las siguientes tres fechas que corresponden a la TLL; este representa la similitud de la temperatura en las dos temporadas para todas las estaciones; este parámetro es un factor abiótico que regula procesos vitales para los organismos vivos, así como también afecta las propiedades químicas y físicas, las temperaturas variaron de 20 a 29°C las temperaturas ideales para la supervivencia de organismos vivos y necesarias para una buena concentración de oxígeno disuelto.

La información que se observa muestra la similitud de los valores para todas las fechas en todas las estaciones, también se puede determinar que la temperatura del agua aumenta en las estaciones E4, E5 y E6 aguas abajo del cauce; esto puede deberse a que por el orden de las estaciones estas últimas muestras se tomaban en las horas de la tarde donde los rayos del sol penetran con mayor intensidad y la temperatura ambiente también es mayor.

9.4 Cálculo y análisis de los de los ICO's

9.4.1 Calculo de ICO's para el año 2018.

Haciendo uso del software ICATEST versión 1.0 se obtuvieron los resultados y las lecturas de los ICO's para la TS y TLL expuestos en las (**Tabla 31**) y (**Tabla 33**)

Tabla 31. Resultados de los ICO's para el año 2018 en TS

ICO'S (TS) 2018	E1	E2	E3	E4	E5	E6
ICOMO	0,437	0,463	0,467	0,477	0,477	0,507
ICOSUS	0	0	0	0	0	0
ICOMI	0,733	0,733	0,589	0,772	0,81	0,772
ICOTRO	0,100	0,214	0,090	0,142	0,104	0,089

Nota. Resultados obtenidos de los ICO's para el año 2018 en TS. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

Según los resultados arrojados por el software ICATEST versión 1.0 y la (**Tabla 6**) de rangos de lectura de contaminación ICO's se obtiene la (**Tabla 32**) donde se describe el estado de contaminación para cada estación en temporada seca y se identifica con el respectivo color.

Tabla 32. Lectura de los ICO's para el año 2018 en TS

ICO'S (TS) 2018	E1	E2	E3	E4	E5	E6
ICOMO	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
ICOSUS	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja
ICOMI	Alto	Alto	Medio	Alto	Muy Alto	Alto
ICOTRO	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia

Nota. Lectura según la leyenda de los ICO's para el año 2018 en TS. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

De la misma manera se realiza la tabla de resultados de rangos de los índices de contaminación para la temporada de lluvias como se observa en la (**Tabla 34**) y su respectiva lectura según los resultados de los valores.

Tabla 33. Resultados de los ICO's para el año 2018 en TLL

ICO'S (TLL) 2018	E1	E2	E3	E4	E5	E6
ICOMO	0,433	0,443	0,44	0,443	0,482	0,473
ICOSUS	0	0	0	0	0	0
ICOMI	0,827	0,827	0,802	0,667	0,838	0,813
ICOTRO	0,264	0,266	0,259	0,232	0,246	0,216

Nota. Resultados obtenidos de los ICO's para el año 2018 en TLL. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

Tabla 34. Lectura de los ICO's para el año 2018 en TLL

ICO'S (TLL) 2018	E1	E2	E3	E4	E5	E6
ICOMO	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
ICOSUS	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja
ICOMI	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Alto	Muy Alto	Muy Alto
ICOTRO	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia

Nota. Lectura según la leyenda de los ICO's para el año 2018 en TLL. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

Teniendo en cuenta los resultados y las lecturas de los ICO's (**Tabla 31**) (**Tabla 32**) (**Tabla 33**) y (**Tabla 34**) en las diferentes temporadas se puede determinar que los índices de contaminación aumentan en temporada de lluvias, sin embargo, en la variación de los resultados de los índices ICOMO, ICOSUS e ICOTRO no se alcanza a generar un cambio de rango en la lectura de los mismos por lo que no se le atribuye un cambio significativo en la característica del agua por causa de la temporada, por otro lado los resultados del índice de contaminación ICOMI aumentan significativamente provocando un cambio de rango de alto (naranja) a muy alto (rojo) y de medio (amarillo) a alto (naranja); este índice se expresa en diferentes variables, entre las cuales se encuentran: conductividad como reflejo del conjunto de sólidos disueltos, la dureza recoge los cationes calcio y magnesio, y alcalinidad porque hace lo propio con los aniones carbonates y bicarbonatos; (Restrepo; Ramirez; Cardeñosa, 1997) que asociadas a los análisis estadísticos descriptivos de estos parámetros podemos corroborar que durante la temporada de lluvias se obtuvieron mayores concentraciones y niveles que en temporada seca.

La estación que más se vio afectada por el tiempo de muestreo fue la estación tres en los valores del ICOMI, ya que paso de tener un valor de 0,589 (medio) a 0,802 (muy alto); lo anterior se ratifica en las mediciones de la conductividad, dureza y alcalinidad, puesto que sus concentraciones tuvieron variaciones significativas debido al tiempo en que se tomaron los datos, por ejemplo el promedio de la dureza en la estación tres en temporada seca fue de 509.33 mg/l mientras que en temporada de lluvias bajo drásticamente a 289.07 mg/l; seguido de las estaciones uno, dos, seis y cinco.

La estación que menos presencio variabilidad por consecuencia a la temporada fue la estación cuatro, sin embargo, se presentaron disminuciones para el ICOMO del 7.13% y el ICOMI del 13.60% y aumento significativamente el ICOTRO en un 62.87% por consecuencia a las bajas y altas precipitaciones. Pese a lo anterior fue la única estación que se mantuvo en sus mismos rangos para las dos temporadas en el año 2018.

9.4.2 Variabilidad de los ICO's entre el año 2010 y 2018.

Los cálculos para los índices de contaminación se realizaron para las dos temporadas, sin embargo, teniendo en cuenta que los ICO's calculados en el año 2010 por la corporación para el desarrollo sostenible del área de manejo especial la macarena (CORMACARENA) fueron en temporada seca solo se realizó el análisis comparativo entre las temporadas secas de los dos momentos.

Tabla 35. Resultados de los ICO's para el año 2010 en TS

ICO'S (TS) 2010	E1	E2	E3	E4	E5	E6
ICOMO	0,382	0,287	0,349	0,362	0,33	0,351
ICOSUS	0	0	0	0	0	0
ICOMI	0,347	0,383	0,413	0,439	0,401	0,409
ICOTRO	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1

Nota. Resultados obtenidos de los ICO's para el año 2010 en TS. Adaptado de CORMACARENA, 2010; por Montero & Ramírez, 2018.

Tabla 36. Lectura de los ICO's para el año 2010 en TS

ICO'S (TS) 2010	E1	E2	E3	E4	E5	E6
ICOMO	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
ICOSUS	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja
ICOMI	Baja	Baja	Media	Media	Media	Media
ICOTRO	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia	Eutrofia

Nota. Lectura según la leyenda de los ICO's para el año 2018 en TLL. Adaptado de CORMACARENA, 2010; por Montero & Ramírez, 2018.

Con respecto a los resultados y las lecturas obtenidas en las (**Tabla 31**) (**Tabla 32**) (**Tabla 35**) y (**Tabla 36**) para los dos momentos en temporada seca año 2010 con datos obtenidos por la corporación para el desarrollo sostenible del área de manejo especial la macarena (CORMACARENA) y para el año 2018 con datos obtenidos por los autores, podemos determinar que el comportamiento de la contaminación en la cuenca del río Guayuriba aumento en las 6 estacione significativamente durante este lapso de tiempo; la variación de los resultados para los índices ICOMO, ICOMI e ICOTRO se elevó tanto que generaron un cambio en la lectura de los índices pasando los estados de medio (amarillo) a alto (naranja) y muy alto (rojo) y de bajo (verde) a medio (azul); el cambio tan representativo de estos índices se puede atribuir a dos razones principales; la primera es la diferencia de tiempos del momento 1 (año 2010) al momento 2 (año 2018) ya que un monitoreo constante no presentaría este tipo de cambios a menos de que sucediera un desastre natural o antrópico que afecte directamente al cuerpo hídrico, la segunda razón se puede deber a la creciente actividad antrópica a lo largo de la cuenca ya que esta fuente como se mencionó anteriormente es receptora de vertimientos agrícolas, domésticos e industriales, también tiene permisos de captación, plantas extractoras y plantas de palmeras a menos de 300mts del borde de la cuenca según datos obtenidos por la corporación. (Cormacarena, 2008b).

A partir de lo anterior que generan los porcentajes de variación de los ICO's según los años 2010 y 2018. (**Tabla 37**)

Tabla 37. Porcentaje de variación de los ICO's según los años 2010 y 2018.

% de variación	E1	E2	E3	E4	E5	E6
ICOMO	14.40%	61.32%	33.81%	31.77%	44.55%	44.44%
ICOSUS	0	0	0	0	0	0
ICOMI	111.24%	91.38%	42.62%	75.85%	102.00%	88.75%
ICOTRO	0.40%	114.34%	-55.03%	42.48%	3.70%	-10.74%

Nota. Variación de la contaminación según los ICO's del año 2010 y 2018 en TS. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

ICOMO

La contaminación por materia orgánica fluctuó más para el año 2018 en la estación dos puesto que aumentó un 61.32% con respecto al año 2010, este índice relaciona tres parámetros fisicoquímicos tales como la DBO₅, Coliformes totales y porcentaje de saturación, por ende se identifica una alta carga orgánica que está siendo vertida en este punto, puesto que su índice fue de 0.463 lo cual lo ubica en el rango de 0.4 – 0.6, este pasa de ser un punto con leve incidencia antrópica o sea con una contaminación baja a ser un área con notable actividad antrópica (amarillo) es decir con una contaminación media, lo cual se ve reflejado en el aumento que tuvieron las concentración DBO₅, según cañas el aumento de estas concentraciones están sujetas a los contaminantes orgánicos que pueden tener origen agrícola, domestico, industrial y de la erosión del suelo (Cañas, 2010).

Lo anterior se puede corroborar debido a que en esta estación se encuentran aproximadamente cinco plantas extractoras de aceite de palma, a la cercanía de vertimientos aguas arriba a la estación dos tales como un vertimiento avícola con aproximadamente 10000 aves, un vertimiento porcícola de aproximadamente de 80 cerdos, un vertimiento de hidrocarburos y un vertimiento agroindustrial de una planta extractora de palmera. Por ende, pueden ser responsables de productos químicos industriales como aceites, grasas, herbicidas, insecticidas, heces fecales etc.

Sin embargo, al aumentar los valores de DBO₅ disminuyeron los de oxígeno disuelto debido a los contaminantes orgánicos ya mencionados, los cuales ocasionaron las bajas concentraciones de oxígeno disuelto creando afectaciones para la vida y el medio acuático. En cuanto a los Coliformes

totales disminuyeron en su totalidad para el año 2018, para su subíndice no se presentaron valores por encima de 0 lo cual no indica riesgo para la salud.

ICOMI

En cuanto al índice de contaminación por mineralización aumento significativamente en todas las estaciones al cambiar de un rango a otro, excepto de la estación tres que se mantuvo en su rango, pero de igual manera aumento un 42.62%, este valor fue el menor aumento con respecto a los otros. El mayor aumento se evidencio en la estación uno con un 111.24% sin embargo se clasifico como contaminación alta, en cambio la estación cinco se clasifico como contaminación muy alta presentando un aumento de 102%.

Este índice se halla mediante las variables de alcalinidad, conductividad y dureza (Rámirez et al., 1997); los incrementos de los ICO's se pueden verificar mediante los valores medidos para los dos primeros parámetros, ya que no presentaron incrementos de concentraciones, excepto de la conductividad en la estación cuatro; sin embargo, el incremento del ICOMI en este caso se atribuye más a las elevadas concentraciones de dureza, presentando altos niveles de cationes de calcio y magnesio.

Lo anterior se evidencia por la presencia de explotación minera en la estación uno a su margen derecha y la proximidad a un vertimiento puntual de una mina extractora de material, donde se puede observar filtros de sedimentación; por consecuencia el fenómeno de mineralización en el recurso hídrico está relacionado con la capacidad del cuerpo de agua de disolver tanto cationes como aniones, lo cual se ve reflejado en la cantidad de solidos disueltos que se pueden presenciar, lo que puede incrementar o disminuir el resultado final del índice de contaminación por mineralización (Cañas, 2010)

ICOSUS

El índice de contaminación por sólidos suspendidos se determina solamente con la concentración de los sólidos suspendidos como su nombre lo indica (Rámirez et al., 1997), los cuales pueden ser de origen industrial o doméstico (Boulton, A.J. and Lake, 1990).

En cuanto al análisis de porcentaje de variación no se tienen cambios ya que tanto para el año 2010 y el 2018 el ICOSUS tuvo un índice de 0, lo cual demuestra que las concentraciones de sólidos suspendidos son nulas o de existir en el cuerpo de agua sus valores están por debajo del límite de detección, los cuales no generan afectaciones en las actividades cotidianas y en la salud de las personas en contacto con el agua del cauce principal del río Guayuriba; estos valores de cero en este índice de contaminación son muy usuales en otras investigaciones de aguas superficiales, como por ejemplo en la investigación realizada por Torres en el 2008 en la microcuenca Saconteá pues en las cuatro estaciones muestreadas el valor del ICOSUS fue de cero, igualmente lo plantea Moreno y Ortiz en el 2015 al realizar un análisis de calidad varios cuerpos de aguas superficiales en la bahía Solano donde muestrearon seis estaciones en diferentes cuerpos de aguas tales como quebradas y ríos, para lo cual el rango del ICOSUS también fue de cero (Moreno & Ortiz, 2015) (D. Torres, 2008).

ICOTRO

Determina la contaminación por trofia, para este índice se necesitan las concentraciones de fósforo para indicar los tipos de ortofosfatos que se presentan en la zona de estudio (Rámirez et al., 1997).

En cuanto a la clasificación para los puntos de muestreo se presentaron ortofosfatos de tipo eutrofia para los dos momentos de estudio (2010 y 2018), sus valores se clasifican según el rango 0.02-1.00.

Su incremento más significativo fue en la estación dos con un valor de 114.34 %, los aumentos del ICOTRO son principalmente por los fertilizantes a base de fósforo en los cultivos aledaños, el

arrastre de material también fue estratégico para el resultado de la estación dos, asimismo algunas descargas de aguas residuales domésticas.

Este fenómeno de eutrofia correspondió a la presencia de nutrientes orgánicos como lo son el nitrógeno y el fosforo usualmente procedentes de la actividad antrópica generada en el cauce principal del río Guayuriba, según Vásquez tales como los vertimientos pues aligeran el proceso hasta llegar a una contaminación alta, dentro de estos se encuentran los vertimientos urbanos (con alta carga de detergentes y desechos orgánicos), los agroindustriales, los cuales añaden fertilizantes y desechos orgánicos y otros residuos ricos en fosfatos y nitratos, igualmente los de origen industrial (Vásquez Z. et al., 2012)

Igualmente se pudo ver afectado por la deforestación y la erosión, ya que los suelos de uso agrícola influyen debido a su alta carga de nutrientes, pues al presenciarse el proceso de escorrentía si las lluvias escurren por un suelo que no tiene protección, lavan la capa fértil llevándose consigo los nutrientes de la misma, en este caso al cauce principal del río Guayuriba (RAPAL, 2010).

Este índice fue el único que presento disminuciones en el año 2018 respecto al año 2010, pues en la estación tres y cuatro disminuyeron las concentraciones de fosforo, su descenso fue de 55.03% y 10.74%, sin embargo, sus clasificaciones se mantuvieron en eutrofia.

10. Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que la contaminación del cauce principal del Río Guayuriba, aumento significativamente para el año 2018, este cambio se genera como consecuencia de intromisiones antrópicas implementadas en los últimos ocho años, tales como descargas de aguas residuales directas. Intromisión agrícola con el vertido de agroquímicos y residuos producto del beneficio y procesamiento agrícola de la palma, por parte de las empresas extractoras cercanas a las estaciones de muestreo.

Estas situaciones son las causantes de alterar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua, lo que es evidenciado en los resultados obtenidos mediante los índices de contaminación.

La metodología propuesta para la determinación de los índices de contaminación es sencilla y fácil de ejecutar, donde se reducen costos y se logra crear un panorama del comportamiento del recurso en diferentes zonas, lo cual permite tomar decisiones en las zonas más contaminadas donde se deben de tomar restricciones para algunos usos del agua en diferentes campos.

Es importante aclarar que el ciclo bimodal de la cuenca altera algunos parámetros, pues en temporada de altas precipitaciones se dan algunos cambios en las mediciones de los parámetros; aumenta la temperatura lo que aflige directamente la solubilidad de gases y sales, por ende, la conductividad y el pH tendieron a disminuir. Sin embargo, mejoraron algunas condiciones aumentando las concentraciones de los sólidos suspendidos disueltos y en la mayoría de los casos aumentando el oxígeno disuelto.

La cuenca media baja del río Guayuriba es fundamental para el abastecimiento de agua de los municipios de Villavicencio, Puerto López, San Carlos de Guaroa y en mayor grado para el municipio de Acacias donde se presenta el mayor número de acueductos. Igualmente se aprovecha el recurso por medio de las concesiones otorgadas para aproximadamente 41 usuarios para diversos afines.

Finalmente se concluye que es importante el apoyo entre las instituciones y la comunidad para seguir dando continuidad a estudios con índices de contaminación, pues este tipo de investigaciones identifican importantes resultados que podrían mejorar las condiciones ambientales en los ecosistemas acuáticos, igualmente cooperarían para impulsar mejores normas de control que logren regular a todas las empresas que ocasionen vertimientos a los cuerpos de agua.

Discusión

Las impredecibles precipitaciones, ligadas al cambio climático que presenta el país son un problema para la recolección de muestras debido a que incluso en la temporada adaptada como de sequía o verano, tal y como se muestra en el (**ANEXO 4**) de las precipitaciones media mensual multianual de la cuenca del río Guayuriba, no es seguro que no llueva como sucedió en la segunda fecha de muestreo que a pesar de estar programa en temporada seca se presentaron precipitaciones todo el día, esto ocasionó la alteración y cambios significativos en los resultados esperados de los parámetros.

El uso actual del recurso hídrico puede estar siendo inadecuado de acuerdo con los resultados de los índices de contaminación que arrojaron lecturas de muy mal estado de las aguas superficiales del mismo; las estaciones E4 Y E6 son las estaciones que más se ven afectadas además de ser estos los puntos de aguas abajo son estacione donde ejecutan actividades muy cerca a sus límites.

Los rangos que se obtuvieron de la caracterización de las aguas actualmente son una señal de alerta ya que los aumentos progresivos de estos contaminantes pueden comenzar a causar daños graves en el ecosistema, la fauna, flora y las personas que se abastecen de esta cuenca.

El río Guayuriba presentaba un índice de calidad bueno en la zona alta-baja de la cuenca y excelente en la media, correspondiente al tramo utilizado para la disposición de los vertimientos de agua industrial de las actividades petroleras en el año 2010, sin embargo, con los resultados obtenidos de los índices de contaminación terminan por caracterizarla actualmente como aguas superficiales contaminadas.

La corporación se está tardando mucho en realizar análisis comparativos de estos índices para la toma de decisiones en pro de la cuenca, los puntos de muestreos entre si tienen una distancia significativa que puede alterar la recolección de la muestra, sin embargo, están ubicados estratégicamente de acuerdo al acceso y actividades aledañas a estos.

Recomendaciones

Se resalta la pertinencia de seguir empleando los índices de contaminación como los usados en este trabajo para caracterizar las aguas superficiales, ya que permiten diferenciar los procesos físicos y antrópicos que ejercen mayor presión sobre la calidad del agua, y responden con menor número de variables la caracterización de las aguas superficiales permitiendo establecer los usos del recurso más adecuados de acuerdo al decreto el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura.

Hacer uso de los softwares al momento de realizar estos cálculos para evitar errores manuales y tener mayor precisión con los datos finales, los softwares utilizados en el presente son importantes, de fácil manejo y de fácil acceso por eso se recomienda el ICATEST versión 1.0 y Excel.

También se hace énfasis en la cantidad de puntos de muestreo puesto que son muy pocos con respecto al recorrido del río, se recomienda que se tomen por lo menos dos o tres puntos más para poder tener mayor precisión con el procesamiento de los datos.

Con respecto a la condición actual del río se recomienda realizar un estudio de impacto ambiental teniendo en cuenta el uso del recurso que está teniendo el río a lo largo de la cuenca ya que las condiciones de contaminación han aumentado a través del tiempo puede que la fuente no sea apta para realizar algunas actividades que actualmente tiene.

Es de vital importancia prestar atención a la cantidad orgánica que está siendo vertida en la estación cinco puesto que si se sigue contaminado los niveles de oxígeno disuelto podrían seguir disminuyendo hasta llegar a un grado de contaminación más alto y afectar la vida acuática.

Referencias bibliográficas

- Aguayo, C. (2015). Determinación de la acumulación de los metales pesados plomo, cadmio y cromo en la planta *Pistia stratiotes* conocida como lechuga de agua. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 50. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ambiente, S. de medio. (2009). POMCA Secretaria Distrital de Ambiente. Retrieved June 21, 2017, from <http://ambientebogota.gov.co/fi/pomca>
- ANDI. (1997). Manual de caracterizacion de aguas residuales industriales.pdf. medellin: ideas graficas ltda. Retrieved from http://www.acodal.org.co/holland/memorias/TallerVertimientos/MANUAL_DE_CARACTERIZACION_DE_AGUAS_RESIDUALES_INDUSTRIALES.pdf
- Anzecc, & Armcanz. (2000). Australian and New Zealand Environment and Conservation Council. *National Water Quality Management Strategy*. Retrieved from <http://www.dofa.gov.au/infoaccess/>
- Beltrán, R., Pedro, J., & Ramírez, J. (2012). Comportamiento de la temperatura y el oxígeno disuelto en la presa Picachos , Sinaloa , México Temperate and dissolved oxygen of the Picachos reservoir , Sinaloa , Mexico, 22(1), 94–97.
- Blanco, A., & Salamanca, S. (2015). Convenio marco de colaboración 5211592.
- Boulton, A.J. and Lake, P. S. (1990). *The ecology of two intermittent streams in Victoria, Australia. I. Multivariate analyses of physicochemical features*.
- Bueno-Zabala, K. A., Torres-Lozada, P., & Delgado-Cabrera, L. G. (2014). Monitoreo y medición del ajuste del pH del agua tratada del río Cauca mediante índices de estabilización. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 17(2), 563–575. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n2/v17n2a28.pdf>
- Burguet, R. (2014). multiples usos del agua, conflictos y externalidades: estudio de caso de la parte alta del rio Cauca en Colombia. *Universidad Autonoma de Barcelona*, 1–59.
- Cabanillas Ramon. (2011). Interpretación de resultado de análisis de aguas de consumo humano. Retrieved from [http://www.cofourense.com/antigua/index.php?option=com_content&view=article&id=104:interpretacion-de-resultado-de-analisis-de-](http://www.cofourense.com/antigua/index.php?option=com_content&view=article&id=104:interpretacion-de-resultado-de-analisis-de-aguas-de-)

- Caho-rodríguez, C. A., & López-barrera, E. A. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI 1, 12(2), 0–3. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a3>
- Cañas, S. (2010). DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DE ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN (Icos) EN CUERPOS DE AGUA. Retrieved from [https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10901/1/articulo final.pdf](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10901/1/articulo%20final.pdf)
- Carrillo, P. (2013). Comportamiento del oxígeno disuelto en la columna de agua de las estaciones fijas ecuatorianas 1988-2013. *Acta Oceanográfica Del Pacífico*, 18(1), 41–48.
- Castro, Leda; Fraile, Julio ; Vargas, J. (1996). Conductividad, oxígeno disuelto, pH Y Temperatura en Río Bermudez (Costa Rica) y su relación con el uso del suelo en la cuenca. *Uniciencia*.
- CCME. (2005). Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Phosphorus.
- Chapman, D. (1996). A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. *Water Quality Assessments*, (5), 0–419. Retrieved from http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/watqualassess.pdf
- Chavarro, A. G., & Gélvez Bernal, 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. *Water Quality Characterization from Creek Fucha Using ICO Pollution Indices about Precipitation and Land Use.*, 6(2), 19–31. Retrieved from <http://10.0.85.29/22561498.1148%5Cnhttp://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=119202187&lang=es&site=ehost-live>
- Chile, U. de. (2008). Nociones básicas de estadística utilizadas en educación. *Departamento De Evaluacion, Medicion Y Registro Educacional*, I(4), 5–7.
- Cladera Munar, M. (2009). Análisis estadístico básico (I), (I). <https://docplayer.es/21551563-Analisis-estadistico-basico-i-magdalena-cladera-munar-mcladera-uib-es-departament-d-economia-aplicada-universitat-de-les-illes-balears.html>
- Clair, S., Perry, & McCarty. (2000). *QUÍMICA para Ingeniería Ambiental*. <https://www.casadellibro.com/libro-quimica-para-ingenieria-ambiental-4-ed/9789584101648/754118>
- Cormacarena. (2008a). Fase diagnostico, (001), 1–72. Villavicencio 2018

Cormacarena. (2008b). PLAN DE ORDENAMIENTO DE LA CUENCA DEL RÍO GUAYURIBA Fase de Aprestamiento Primer Informe Trimestral. Villavicencio 2018

Cormacarena. (2009a). fase diagnostico aspectos biofisicos, 67–306.

Cormacarena. (2009b). Plan De Ordenación Y Manejo De La Cuenca Hidrográfica Del Río Guayuriba-FASE DE APRESTAMIENTO.

Cormacarena. (2009c). Pomch Rio Guayuriba-Demanda De Recursos Naturales, 411–464.

Cumaca, C., & Fernández, R. (2007). Los Macroinvertebrados Como Indicadores De Calidad De Las Aguas. *Atención Primaria*, 23(3), 480–488.

Dai, Guo, Zhai, C. (2006). Oxygen depletion in the upper reach of the Pearl River estuary during a winter drought, 159–162.

Dep. Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas. (2017). Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). Retrieved June 21, 2017, from <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/iwrm.shtml>

Diaz, A., & Luna, B. (2015). *Metodologia de la investigación educativa*. Retrieved from https://books.google.com.co/books?id=nOQ_CwAAQBAJ&pg=PA150&lpg=PA150&dq=que+significa+que+todos+los+datos+se+agrupen+a+la+derecha&source=bl&ots=vNM7tuzbk6&sig=Ec9Ga7AR4b4PN6qfVniot1ruC94&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjit57h_pHcAhVRvVMKHZGUDWsQ6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false

Dirección General de Salud. (2017). Parámetros Organolépticos Y Físico - Químico. *Digesa-Gesta Agua*, 145. Retrieved from http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO DE USO 1.pdf

Drever, J. I. (1988). *The geochemistry of natural waters : surface and groundwater environments*.

Eaton, R. B. (2017). *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater* 23rd Edition. (DIAZ DE SA). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

FAO. (2007). ¿Por qué invertir en ordenación de las cuencas hidrográficas? Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/012/a1295s/a1295s02.pdf>

FAO. (2008). SERVICIOS DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/012/a1295s/a1295s02.pdf>

Fernández, N., & Ramos, G. (2003). Una herramienta Informática para el análisis y valoración de la calidad del Agua. *Bistua*, 2. Retrieved from http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/publicaciones/bistua_revista_ciencias_basica/2004/11082010/rev_bis_vol2_num2_art12.pdf

Flores, T., & Alejandro, J. (2008). Análisis de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del Río Motagua en diez puntos de muestreo ubicados en su cauce principal.

Gloria Inés Giraldo Gómez. (1995). Manual De Análisis De Aguas. *Universidad Nacional De Colombia Sede Manizales*. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/50540/1/manualdeanalisisdeaguas.pdf>

Gómez Hernandez, S. P., & Rojas cano, S. M. (2014). Afectación Ambiental De La Calidad Del Agua De La Quebrada Cascabel Generada Por La Explotación Minera Artesanal Del Municipio De Maramato Departamento De Caldas, 221.

Guevara, ana maria, & Liliam, M. maria. (2009). determinacion de parametros fisicoquimicos y microbiologicos een agua de consumo humano en una zona residencial en san juan opicio, la libertad.

Gupta, S. K., & Patil, R. S. (2003). A Comparison of Water Quality Indices for Coastal Water. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 38(11), 2711–2725. <https://doi.org/10.1081/ESE-120024458>

Gutiérrez, M. (2006). Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación. Estudio de caso: Chile, 1–95. Retrieved from http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2006/neira_m/sources/neira_m.pdf

Hahn-vonHessberg, C., Ricardo, D., & Grajales, A. (2009). Determinación de la Calidad del Agua mediante Indicadores Biológicos Y Fisicoquímicos, En La Estación Piscícola, Universidad De Caldas, Municipio De Palestina, Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 13(2), 89–105. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-30682009000200007&script=sci_arttext&tlng=es

Hanna Instruments. (2017). Medidor multiparámetro. Retrieved October 30, 2017, from

<http://www.hannacolombia.com/productos/medidor-multiparametro?pop=1>):

Holmes, S. (1996). South African Water Quality Guidelines. *Aquatic Ecosystems*, 7.

Icontec. (2004). NTC-ISO-5667-3: Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Directrices para la preservación y manejo de las muestras., 57.

IDEAM. (2000). Informacion Aeronautica; Climatologia. Retrieved from <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/villao/precipitacion.htm>

Instituto Nacional de Salud (INS). (2011). *Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio*.

Iqbal, Brown, & Clayton. (2006). Distribution of phosphorus in a biologically restricted lake in Iowa, USA. *Journal of Hydrology*, 326(1–4), 349–366.

Jimenez, M y velez, M. (2007). analisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial. *AVANCES EN RECURSOS HIDRAULICOS*, 14, 53–69.

Jiménez, M., & Velez, M. (2006). Avances en recursos hidráulicos. *Análisis Comparativo de Indicadores de La Calidad de Agua Superficial*, 14, 18.

Kowalkowski, T., Zbytniewski, R., & Szpejna, J. (2006). Application of chemometrics in river water classification. *Water Research*, 40(4), 744–752. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.11.042>

Ladino, W. (2008). Organización del Estado Colombiano y formas organizativas del Estado a nivel territorial. *Escuela Superior de Administración Pública*, 1–148.

Manuel, J., & Espinosa, B. (2010). Matem BÁSICAS ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA. Retrieved from http://132.248.164.227/publicaciones/docs/apuntes_matematicas/34_Estadistica_Descriptiva.pdf

Margarita, D., & Alfaro, S. (2015). National Water Resources . " Case Study ".

Mejia, E. (2006). De la calidad del agua. *Ieee*, 101–102. Retrieved from http://www.emapas.inecc.gob.mx/download/lch_calidad_del_agua.pdf

Metalf & Eddy. (1999). *Ingeniería de Aguas Residuales* (McGRAW-HIL). <https://es.scribd.com/document/290416625/Ingenieria-de-Aguas-Residuales-Completo>

Miller, M. (2012). Alcalinidad. *Parámetros Físico-Químicos*, (Tabla 1), 1–14.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, M. (n.d.). DECRETO 1729 DE 2002. Retrieved June 22, 2017, from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=5534>

Ministerio de La Protección Social. (2007). Decreto No. 1575 de 2007. *Diario Oficial*, 2007(Mayo 9), 1–14. <https://doi.org/10.1111/j.0954-6820.1937.tb03385.x>

Ministerio de Medio Ambiente y desarrollo. (2012). DECRETO NÚMERO 1640. Retrieved June 21, 2017, from http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2012/dec_1640_2012.pdf

Monte Pérez, I. (2016). Agua, pH y equilibrio químico: Entendiendo el efecto del dióxido de carbono en la acidificación de los océanos, 1, 100. Retrieved from <http://www.sems.gob.mx/work/models/sems/Resource/12235/5/images/agua-ph-ciencias.pdf>

Moreno, E., & Ortiz, N. (2015). Análisis de la calidad de varios cuerpos de aguas superficiales en Bahía Solano utilizando índices de contaminación Analysis of the quality of various bodies of surface water in Bahía Solano using pollution index, 34(1), 14–21. <https://doi.org/10.18636/riutch.v34i1.553>

Morgan, W., & Stumm, J. (1996). *Aquatic Chemistry An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters*.

Muñoz, J., & Valderrama, A. (2005). Plan de ordenación y manejo de la cuenca del Río Hacha, 50–61. Retrieved from http://www.corpoamazonia.gov.co/files/ordenamiento/pomca/pom_hacha.pdf

Navarro, M. O. (2007). DETERMINACIÓN DE ESCHERICHIA COLI Y COLIFORMES TOTALES EN AGUA POR EL MÉTODO DE FILTRACIÓN POR MEMBRANA EN AGAR CHROMOCULT. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+E.+coli+en+Agu+a+Filtración+por+Membrana.pdf/5414795c-370e-48ef-9818-ec54a0f01174>

Osorio, A., & Céspedes, R. (2000). EFECTO DE MÉTODOS DE RIEGO LOCALIZADO EN LA SALINIDAD DEL PERFIL DE SUELO EN VID DE MESA.: CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA, SODIO, CLORO Y BORO EN DISTINTOS PUNTOS DEL PERFIL.

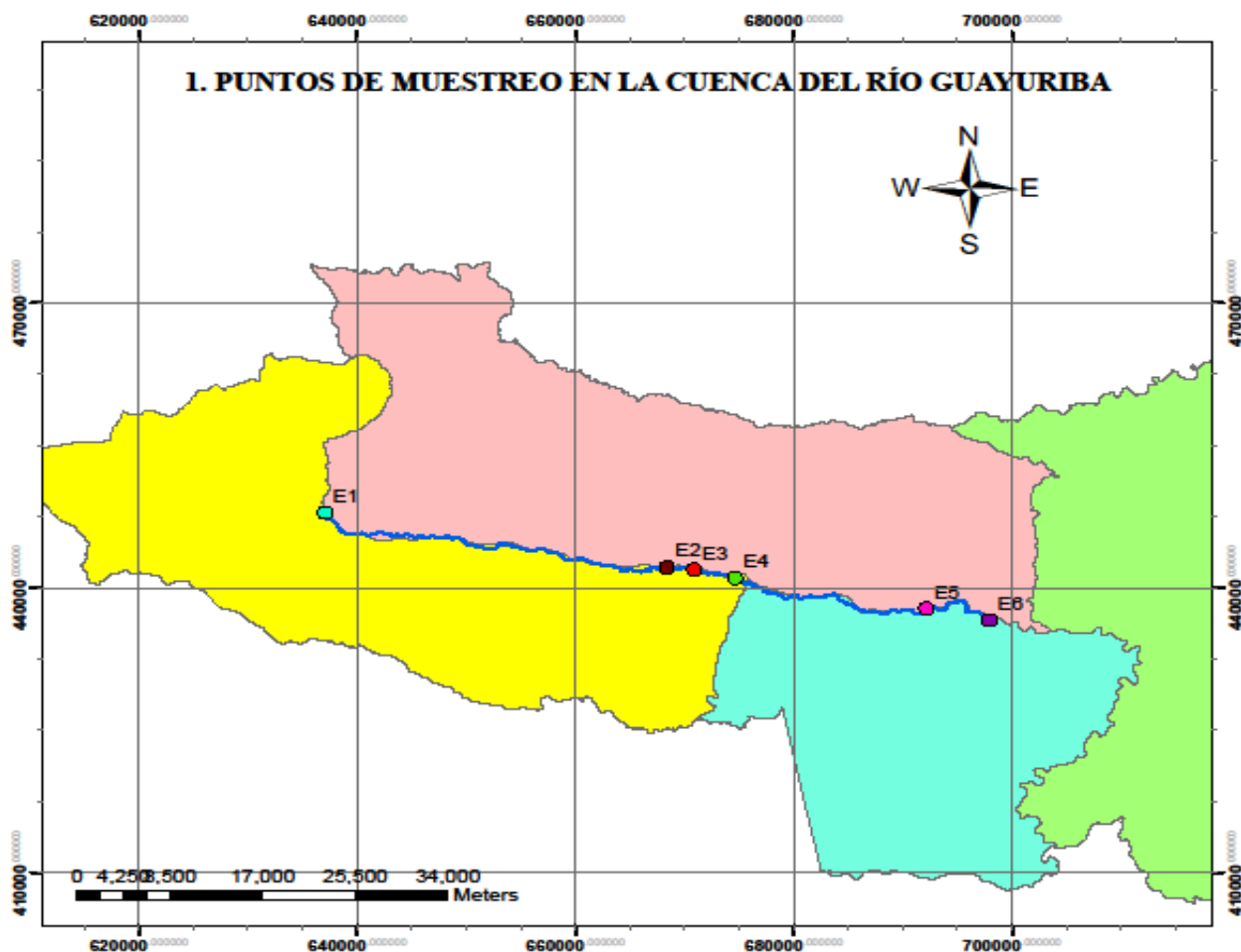
- Agricultura Técnica*, 60(2), 178–194. <https://doi.org/10.4067/S0365-28072000000200008>
- Ott, W. (1987). Environmental Indices, Theory and practice, 1–3. <https://doi.org/24> Apr 2007. <https://www.osti.gov/biblio/6681348-environmental-indices-theory-practice>
- Pamplona, U. de. (2006). ÍNDICES DE CALIDAD (ICAs) Y DE CONTAMINACIÓN (ICOs) DEL AGUA DE IMPORTANCIA MUNDIAL. Retrieved from http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf
- Pamplona, U. De, Fernández, N., Ramos, G., Solano, F., Herramienta, U. N. a, Para, I., ... Agua, C. D. E. L. (2004). Bistua : Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, 88–97.
- Peña, C. (1982). Procesos de monitoreo a la calidad del agua del río Bogotá, CAR. *Journal of the Electrochemical Society*. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:No+Title#0>
- Pérez, A., & Torres, P. (2008). Indices de alcalinidad para el control del tratamiento anaerobio de aguas residuales fácilmente acidificables (Alkalinity indices for control of anaerobic treatment of readily acidifiable wastewaters). *Ingeniería y Competitividad*, 10(2), 41–52. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=36430334&lang=es&site=ehost-live>
- Ramírez, A. (1988). *Lineamientos y estadísticas para estudios biológicos de impacto ambiental*. http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=10791&shelfbrowse_itemnumber=11358
- Rámirez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. formulaciones y aplicación. *CT y F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(3), 135–153.
- Ramos-Ortega, L. M., Vidal, L. A., & Vilardy, S. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la bahía de Santa Marta, caribe colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 87–98.
- RAPAL. (2010). Contaminación y eutrofización del agua Impactos del modelo de agricultura industrial. Retrieved from <http://www.rapaluruaguay.org/agrotoxicos/Uruguay/Eutrofizacion.pdf>

- Rendón, Agudelo, & Hernández. (2010). para la calidad de agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos Definition of indicators for marine and coastal water, sediments. *Gestión y Ambiente*, (3), 51–64. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Determinaci+n+de+indicadores+para+la+calidad+de+agua+,+sedimentos+y+suelos+,+marinos+y+costeros+en+puertos+colombianos+Definition+of+indicators+for+marine+and+coastal+water+,+sediments+and+soil>
- Restrepo; Ramirez; Cardeñosa. (1997). indices de contaminacion para caracterizacion de aguas continentales y vertimientos. formulaciones. *CIENCIA, TECNOLOGIA Y FUTURO*, 1.
- Rigola Lapeña, M. (1989). *Tratamiento de aguas industriales : aguas de proceso y residuales* (ilustrada). Marcombo.
- Said, A., Stevens, D., & Sehlke, G. (2004). An Innovative Index for Evaluating Water Quality in Streams. *Environmental Management*, 34(3), 406–414. <https://doi.org/10.1007/s00267-004-0210-y>
- Sánchez, L. D., & Viáfara, C. A. (2014). Impacto de los sólidos suspendidos totales sobre la obstrucción en emisores de riego localizado de alta frecuencia Impact of total suspended solids on the emitters clogging of localized high-frequency irrigation. *Ingeniería y Competitividad*, 16(2), 199–210.
- Secretaria distrital de ambiente. (2010). POMCA - Secretaria Distrital de Ambiente. Retrieved July 4, 2017, from <http://ambientebogota.gov.co/385>
- Segura, L. E. (2007). Estudio De Antecedentes Sobre La Contaminación Hídrica En Colombia. *Escuela Superior de Administración Pública ESAP*, 142.
- Severiche, C. A., Barreto, A. J., & Acevedo, R. L. (2013). Efecto de las Lluvias sobre la Calidad del Agua en La Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *AVANCES Investigación En Ingeniería*, 10(1), 58–67. Retrieved from http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances-10-1/Tema_07_Cienaga_Grande_Santa_Marta.pdf
- Severichel, C. A., Luna, J., & González, H. (2013). Evaluación analítica para la determinación de fósforo total en aguas por el método del ácido ascórbico Analytical evaluation for the determination of total phosphorus in water by ascorbic acid method. *Colciencias*, 7(17), 37–41.

- Torres, D. (2008). Diagnóstico de la calidad del agua de la Microcuenca Sancotea. Retrieved from <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista7/articulos/Diagnostico-de-la-calidad-del-agua-de-la-microcuenca-Sancotea.pdf>
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2009). Índices De Calidad De Agua En Fuentes Superficiales Utilizadas En La Producción De Agua Para Consumo Humano. Una Revisión Crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79–94. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.IYU18-2.ifcd>
- Universidad Santo Tomas. (2017). Ingeniería Ambiental. Retrieved June 27, 2017, from <http://www.ustavillavicencio.edu.co/home/index.php/facultades/pregrado/ingenieria-ambiental>
- Valcarcel, L. R., Alberro, N. M., & Frías, D. (2009). El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. *Medio Ambiente y Desarrollo; Revista Electrónica de La Agencia de Medio Ambiente*, (16), 1–5. Retrieved from http://www.ciesas.edu.mx/cee_xalapa/Informedegestionareassustantivas/Proyectosinstitucionales/aha.pdf
- Vásquez Z., G. L., Herrera O., L., Kantera K., J., Galvis C., A., Cardona Z., D., & Sanchez H., I. (2012). Metodología para determinar niveles de Eutrofización en ecosistemas acuáticos. *Revista de La Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(24), 112–128. Retrieved from <http://www.ojs.asociacioncolombianadecienciasbiologicas.org/index.php/accb/article/view/81/81>
- Vázquez, L., & Rios, R. A. (2001). Estudio Sobre Las Concentraciones De Nitrogeno Y Fosforo En Los Embalses De Puerto Rico, (787). Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/REPDOM/vasquez.pdf>
- Velasquez Muñoz, C. J. (2005). LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE URBANO EN LA UNIÓN EUROPEA. *Revista de Derecho*, 24. Retrieved from <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/derecho/rt/prINTERfriendly/2556/4197>

Anexos

ANEXO 1. Mapa de ubicación puntos de muestreo



Escala 1:510.000

Proyecto: Análisis de la variabilidad en la calidad del agua, a partir del uso de índices de contaminación (ICO's) como aporte al POMCA de la cuenca del río Guayuriba.

Autores:

Valentina Montero Murcia
Yazziell Ramirez Dalel
2018

Convenciones

ESTACIONES

- Aguas Abajo Vertimiento Estación Suria
- Aguas Arriba vert Acacias
- Aguas Arriba vertimiento estación Suria
- Antes desemb al Río Metica
- Puente carretera
- Puente pompeya

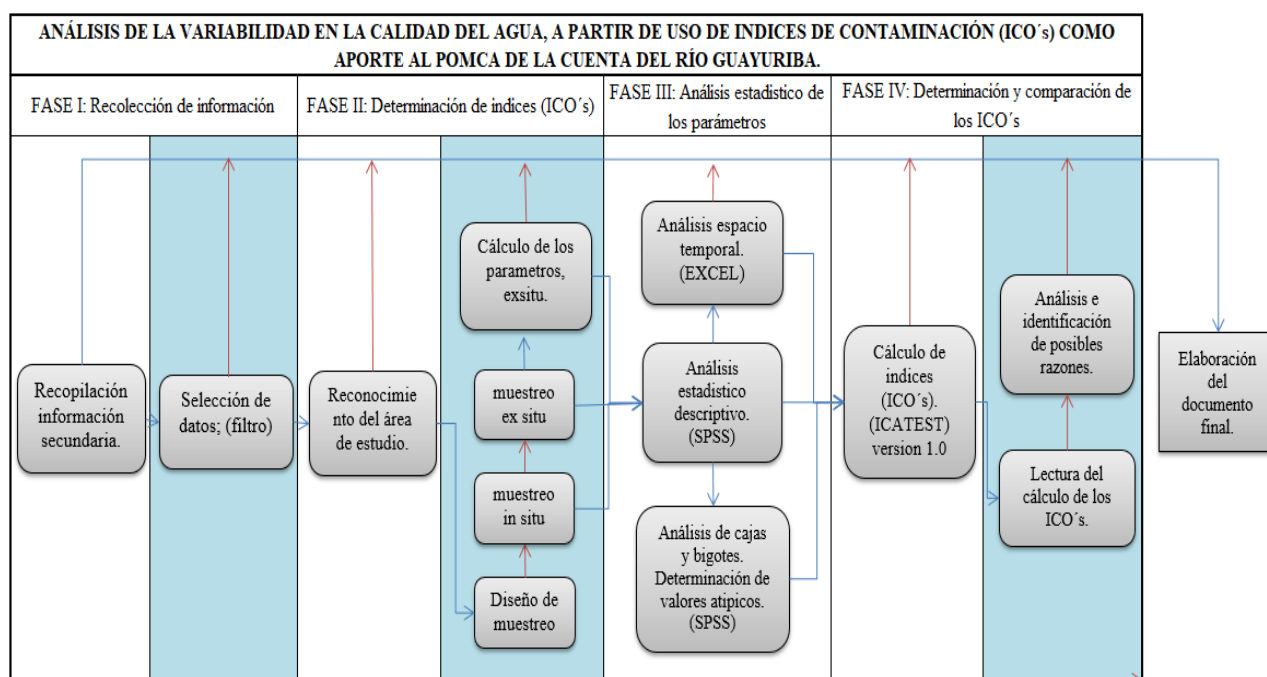
— Río Guayuriba

MUNICIPIO

- ACACIAS
- PUERTO LÓPEZ
- SAN CARLOS DE GUAROA
- VILLAVICENCIO

ANEXO 2. Flujograma metodológico.

En él se establecen todas las actividades en recuadros de color gris, las fases del proyecto nombradas en la parte superior, en la parte media los recuadros de color (blanco) contienen las actividades de menor rigor y los recuadros de color (azul claro) contienen las actividades que toman mayor tiempo y análisis; a su vez todas las actividades se relacionan entre sí, por medio de flechas de color azul y rojo (como relación estratégica y de especial importancia) respectivamente, esto permite observar que existen actividades con mayor importancia y que todas son necesarias para dar pie a las siguientes fases.



Nota. Flujograma metodológico con las respectivas fases y actividades de la ejecución del proyecto. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018

ANEXO 3. Registro fotográfico, puntos de muestreo.

Punto	E1
Descripción del punto	Río Guayuriba - puente carretera vía Villavicencio-Acacias
Fecha	15/02/2018 28/02/2018, 8/03/2018, 14/03/2018, 24/04/2018, 2/05/2018 y 7/05/2018 (*)
Georreferenciación del punto	 Coordenadas N: 4° 6' 55,426" O: 73° 41' 14,042"
Registro fotográfico	Foto 1. Presencia de infraestructura del Puente, vía nacional Villavicencio – Acacias. 

Foto 2. Características del río.

Forma Río = Meandrico.

Lecho Río = Pedregoso de pequeñas y grandes rocas, arenoso

Foto 3. Cobertura del río en la margen derecha e izquierda.

Margen derecha = Explotacion minera.

Margen izquierda = Covertura natural, extraccion de material de arrastre

Indicaciones para
llegar al punto.

Dirijase al puente que comunica Villavicencio con el municipio de Acacias.

(*) Fecha de toma in-situ de los parametros: Conductividad, Oxigeno disuelto, Potencial de Hidrogeno, Temperatura del agua.

Punto	E2
Descripción del punto	Río Guayuriba aguas arriba del vertimiento de la Estación Acacias
Fecha	15/02/2018 28/02/2018, 8/03/2018, 14/03/2018, 24/04/2018, 2/05/2018 y 7/05/2018 (*)
Georreferenciación del punto	 Coordenadas N 3° 59' 18.319'' O 73° 9' 45.183''
Registro fotográfico	Foto 1. Presencia de infraestructura de puentes o vertimientos o captaciones que se vean parados en el punto de monitoreo (NO) Foto 2. Características del río.  Forma Río = Trensado Lecho Río = Pedregoso de pequeñas rocas, arenoso

	Foto 3. Cobertura del rio en la margen derecha e izquierda.  Margen derecha = Explotacion minera Margen izquierda = Covertura natural, extraccion de material de arrastre
Indicaciones para llegar al punto	Para llegar al punto de muestreo se accede por la vía Acacias, voltea a mano izquierda por el primer semaforo de Acacias y dirijase en línea recta aproximadamente una hora hasta llegar a la vereda San José de las palomas, ingrese a la finca el placer por la segunda cerca y proyectese en línea recta hasta el rio Guayuriba.
(*) Fecha de toma in-situ de los parametros: Conductividad, Oxigeno disuelto, Potencial de Hidrogeno, Temperatura del agua.	

Punto	E3
Descripción del punto	Rio Guayuriba aguas arriba del vertimiento de la Estación Suria
Fecha	16/02/2018 28/02/2018, 8/03/2018, 14/03/2018, 24/04/2018, 2/05/2018 y 7/05/2018 (*)
Georreferenciación del punto	 Coordenadas N 3° 59' 28.993" O 73° 26' 47.201"

Registro fotográfico	Foto 1. Presencia de infraestructura de puentes o vertimientos o captaciones que se vean parados en el punto de monitoreo (NO) Foto 2. Características del río.  Forma Río = Trensado Lecho Río = Pedregoso de pequeñas rocas, arenoso Foto 3. Cobertura del río en la margen derecha e izquierda.  Margen derecha = Pastos y arbustos. Margen izquierda = Pastos
Indicaciones para llegar al punto	Para llegar al punto de muestreo se toma la vía Villavicencio- Puerto López entrando por la vereda santa rosa, hasta la vereda vegas del Guayuriba proyectándose en línea recta hacia el río Guayuriba accediendo por la trituradora Geominerales.
(*) Fecha de toma in-situ de los parametros: Conductividad, Oxígeno disuelto, Potencial de Hidrogeno, Temperatura del agua.	

Punto	E4
Descripción del punto	Rio Guayuriba aguas abajo Vertimiento de la Estación Suria
Fecha	16/02/2018 28/02/2018, 8/03/2018, 14/03/2018, 24/04/2018, 2/05/2018 y 7/05/2018 (*)
Georreferenciación del punto	 Coordenadas N 3° 59' 23.845" O 73° 26' 35.131"
Registro fotográfico	Foto 1. Presencia cercana de infraestructura del vertimiento de la estación suria.  Foto 2. Características del río.  Forma Río = Trensado Lecho Río = Pedregoso de pequeñas rocas, arenoso

	Foto 3. Cobertura del rio en la margen derecha e izquierda.  Margen derecha = Pastos y arbustos Margen izquierda = Pastos
Indicaciones para llegar al punto	Para llegar al punto de muestreo se toma la vía Villavicencio- Puerto López entrando por la vereda santa rosa, hasta la vereda vegas del Guayuriba entrar por el cruce antes de la escuela y proyectese aproximadamente cinco minutos en línea recta hasta encontrar una cerca de color verde, entre en línea recta hacia el rio Guayuriba.
(*) Fecha de toma in-situ de los parametros: Conductividad, Oxigeno disuelto, Potencial de Hidrogeno, Temperatura del agua.	

Punto	E5
Descripción del punto	Puente Pompeya
Fecha	17/02/2018 28/02/2018, 8/03/2018, 14/03/2018, 24/04/2018, 2/05/2018 y 7/05/2018 (*)
Georreferenciación del punto	 Coordenadas N 3° 57' 29.239" O 73° 16' 11.298"

Registro fotográfico **Foto 1.** Presencia cercana de infraestructura del puente pompeya que comunica con la inspeccion de palmeras.



Foto 2. Características del río.



Forma Río = Trensado

Lecho Río = Pedregoso de pequeñas rocas, arenoso

Foto 3. Cobertura del rio en la margen derecha e izquierda.



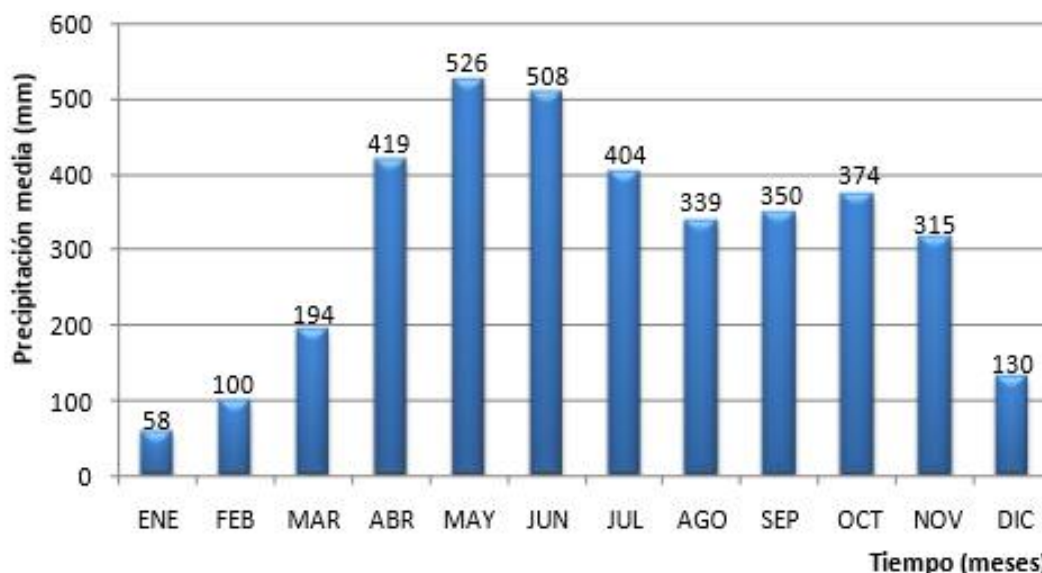
	Margen derecha = Pasto y arbustos Margen izquierda = Pasto
Indicaciones para llegar al punto	Para llegar al punto de muestreo se toma la vía Villavicencio – López entrando por la vereda Pompeya hasta encontrar el puente sobre el Río Guayuriba que comunica Pompeya con la inspección Palmeras.
(*) Fecha de toma in-situ de los parametros: Conductividad, Oxígeno disuelto, Potencial de Hidrogeno, Temperatura del agua.	

Punto	E6
Descripción del punto	Rio Guayuriba antes desembocadura a Rio Metica
Fecha	17/02/2018 28/02/2018, 8/03/2018, 14/03/2018, 24/04/2018, 2/05/2018 y 7/05/2018 (*)
Georreferenciación del punto	 Coordenadas N 3° 59' 11.832" O 73° 24' 54.536"
Registro fotográfico	Foto 1. Presencia cercana de infraestructura (NO) Foto 2. Características del río.  Forma Río = Trensado Lecho Río = Pedregoso de pequeñas rocas, arenoso Foto 3. Cobertura del rio en la margen derecha e izquierda.

	 Margen derecha = Plantacion de palmas. Margen izquierda = pasto, arbustos.
Indicaciones para llegar al punto	Para llegar al punto de muestreo se toma la vía Villavicencio – López entrando por la vereda Pompeya, hasta llegar a la inspección de Palmeras, dirigirse hacia la plantacion de palmas palmeras-morichal y entrar en linea recta aproximadamente 15 minutos, girar a mano derecha hasta encontrar la palmera enumera 55-55 y entrar a mano izquierda en linea recta hasta llegar al Río Guayuriba.
(*) Fecha de toma in-situ de los parametros: Conductividad, Oxígeno disuelto, Potencial de Hidrogeno, Temperatura del agua.	

Nota. Registro fotográfico, descripción del río y actividades aledañas a los puntos de muestreo. Adaptado de Montero & Ramírez, 2018.

ANEXO 4. Precipitación media mensual multianual de la cuenca del río Guayuriba.



Nota. Registro de la precipitación media mensual multianual. Adaptado de la página del IDEAM; por Montero & Ramírez, 2018.

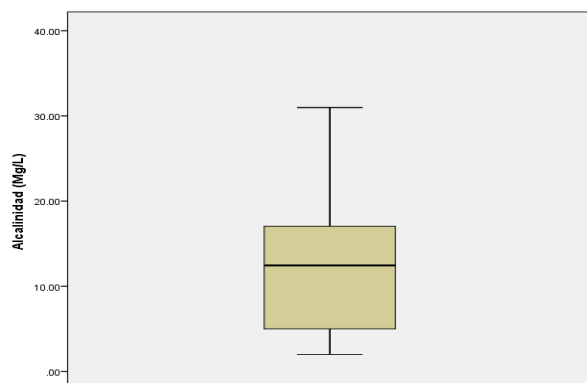
ANEXO 5. Tabla NMP.

Tabla 1. El número más probable para series de diluciones en réplicas de cinco por nivel de dilución (Woomer, 1994)*.

Núm. Respuestas Pos. por Nivel de Dilución	Población estimada	Núm. Respuestas Pos. por Nivel de Dilución	Población estimada
1-2-3-4-5-6		1-2-3-4-5-6	
1-0-0-0-0-0	1.9	5-5-4-2-0-0	2159
1-1-0-0-0-0	4.0	5-5-4-3-0-0	2716
2-0-0-0-0-0	4.4	5-5-5-0-0-0	2305
2-1-0-0-0-0	6.8	5-5-5-0-1-0	3126
3-0-0-0-0-0	7.7	5-5-5-1-0-0	3282
3-1-0-0-0-0	10	5-5-5-1-1-0	4532
3-2-0-0-0-0	13	5-5-5-2-0-0	4922
4-0-0-0-0-0	12	5-5-5-2-1-0	6918
4-1-0-0-0-0	16	5-5-5-3-0-0	7797
4-2-0-0-0-0	21	5-5-5-3-1-0	10702
4-3-0-0-0-0	27	5-5-5-3-2-0	13826
5-0-0-0-0-0	23	5-5-5-4-0-0	12753
5-0-1-0-0-0	31	5-5-5-4-1-0	16902
5-1-0-0-0-0	33	5-5-5-4-2-0	21589
5-1-1-0-0-0	45	5-5-5-4-3-0	27150
5-2-0-0-0-0	49	5-5-5-5-0-0	23054
5-2-1-0-0-0	69	5-5-5-5-0-1	31225
5-3-0-0-0-0	78	5-5-5-5-1-0	32720
5-3-1-0-0-0	107	5-5-5-5-1-1	45261
5-3-2-0-0-0	138	5-5-5-5-2-0	49224
5-4-0-0-0-0	127	5-5-5-5-2-1	69148
5-4-1-0-0-0	169	5-5-5-5-3-0	78127
5-4-2-0-0-0	216	5-5-5-5-3-1	107022
5-4-3-0-0-0	270	5-5-5-5-3-2	138269
5-5-0-0-0-0	230	5-5-5-5-4-0	127528
5-5-0-1-0-0	312	5-5-5-5-4-1	169028
5-5-1-0-0-0	327	5-5-5-5-4-2	215899
5-5-1-1-0-0	453	5-5-5-5-4-3	271557
5-5-2-0-0-0	488	5-5-5-5-4-4	334051
5-5-2-1-0-0	692	5-5-5-5-5-0	230546
5-5-3-0-0-0	780	5-5-5-5-5-1	328192
5-5-3-1-0-0	1070	5-5-5-5-5-2	492238
5-5-3-2-0-0	1383	5-5-5-5-5-3	781272
5-5-4-0-0-0	1275	5-5-5-5-5-4	1312535
5-5-4-1-0-0	1690		

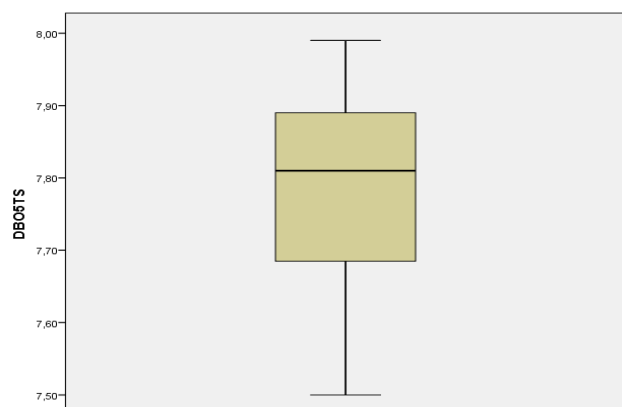
* Esta es la densidad poblacional estimada asumiendo 1 ml de inóculo. Este valor debe ser ajustado por el factor de dilución y el volumen de inóculo (por ejemplo, si usted inoculó en cada placa un volumen de 10 µl, entonces el valor de la tabla debe ser corregido multiplicándolo por 100 [10 X 100 = 1,000 µl ó 1 ml]).

Nota. Tabla para la lectura del NMP para los Coliformes. Adaptado del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; por Montero & Ramírez, 2018.

ANEXO 6. Diagramas de cajas y bigotes sin valores atípicos.**Alcalinidad.** Diagrama de cajas y bigotes para la alcalinidad.

Nota. Resultados obtenidos de diagramas de cajas y bigotes para determinar valores atípicos de La alcalinidad. Adaptado de “Software IBM SPSS Statistics”; por Montero & Ramírez, 2018.

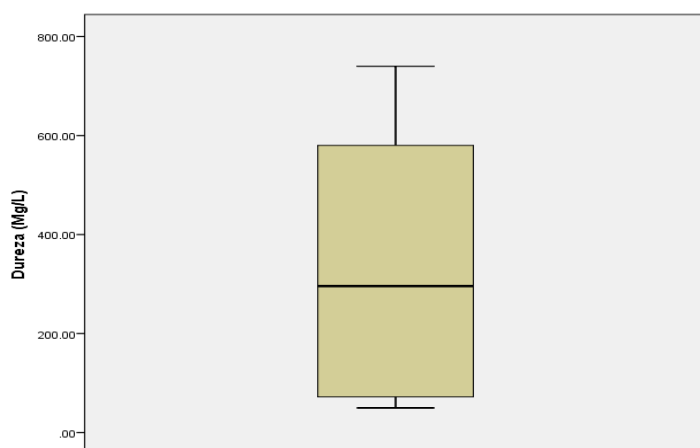
En el diagrama se evidencia que para los valores de alcalinidad no se encontraron datos atípicos, lo cual indica que se midieron adecuadamente los parámetros, donde su valor mínimo fue de 2 mg/l, este hace referencia al muestreo realizado el 28/01/2018 en la estación tres, en cuanto al valor máximo fue de 31 mg/l este se presentó en la estación cinco en la fecha 8/03/2018 para la misma temporada seca. Pese a lo anterior, el diagrama de los datos de alcalinidad no arrojó este dato como atípico, sin embargo, es una concentración muy alta para esta temporada ya que sus otras concentraciones no sobrepasan los 20 mg/l; este incremento se debió a que el día del muestreo dos, se presentaron altas precipitaciones a la hora de tomar las muestras.

DBO₅. Diagrama de cajas y bigotes para la Dbo5 (mg/l)

Nota. Resultados obtenidos de diagramas de cajas y bigotes para determinar valores atípicos de la DBO5. Adaptado de “Software IBM SPSS Statistics”; por Montero & Ramírez, 2018.

En el diagrama se observa que para los valores de DBO5 no se encontraron datos atípicos, en el diagrama se evidencia que el primer bigote más corto que es el último, por ende, el 25% los datos más altos están más concentrados que el 25% de los datos más abajo en la DBO5. En este diagrama los datos se agrupan más en la primera parte de la caja (Q1 y Q2), esto quiere decir que las mediciones de la dureza comprendidas entre el 25% y el 50% están más dispersas que entre el 50% y el 75%.

Dureza. Diagrama de cajas y bigotes para la dureza

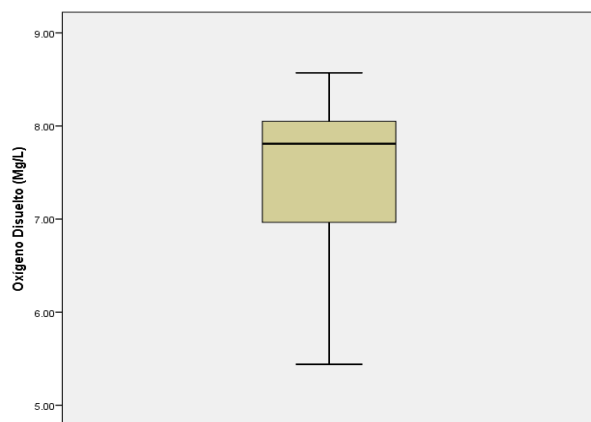


Nota. Resultados obtenidos de diagramas de cajas y bigotes para determinar valores atípicos de la dureza. Adaptado de “Software IBM SPSS Statistics”; por Montero & Ramírez, 2018.

En el diagrama se observa que para los valores de dureza no se encontraron datos atípicos, en el diagrama se evidencia que el primer bigote es más corto que el ultimo, por ende, el 25% los datos más bajos están más concentrados que el 25% de los datos más altos en la dureza. El valor mínimo fue de 50 mg/l tomado en temporada de altas precipitaciones y el valor máximo 740 mg/l en temporada seca. En este diagrama los datos se agrupan más en la segunda parte de la caja (Q2 y Q3), esto quiere decir que las mediciones de la dureza comprendidas entre el 50% y el 75% están más dispersas que entre el 25% y el 70%. En la figura 5 se observa que para los valores de dureza no se encontraron datos atípicos, en el diagrama se evidencia que el primer bigote es más corto que el ultimo, por ende, el 25% los datos más bajos están más concentrados que el 25% de los datos más altos en la dureza. El valor mínimo fue de 50 mg/l tomado en temporada de altas precipitaciones y el valor máximo 740 mg/l en temporada seca. En este diagrama los datos se

agrupan más en la segunda parte de la caja (Q2 y Q3), esto quiere decir que las mediciones de la dureza comprendidas entre el 50% y el 75% están más dispersas que entre el 25% y el 70%.

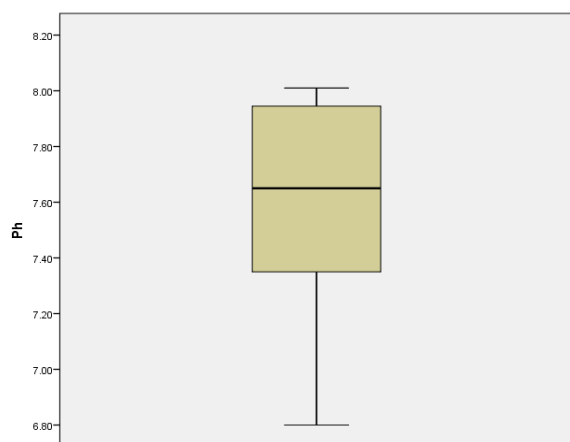
Oxígeno Disuelto. Diagrama de cajas y bigotes para el oxígeno disuelto.



Nota. Resultados obtenidos de diagramas de cajas y bigotes para determinar valores atípicos del oxígeno disuelto. Adaptado de “Software IBM SPSS Statistics”; por Montero & Ramírez, 2018.

En el diagrama no se evidencia presencia de datos atípicos para el oxígeno disuelto, la parte izquierda de la caja es más ancha que la de la derecha, por ende, las concentraciones de oxígeno disuelto comprendidas entre el 25 % y el 50% están más dispersas que entre el 50% y el 75%. El bigote de la derecha es más corto que el de la izquierda por lo cual el 25% de las concentraciones más altas de oxígeno disuelto están más concentradas que el 25% de las concentraciones menores.

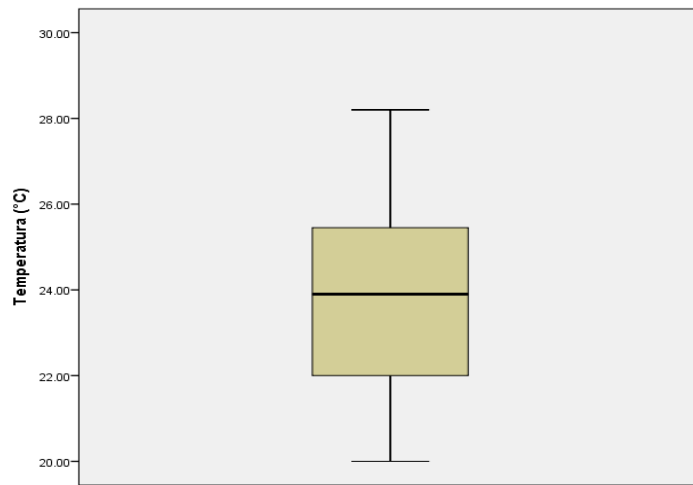
Ph. Diagrama de cajas y bigotes para el pH



Nota. Resultados obtenidos de diagramas de cajas y bigotes para determinar valores atípicos del pH. Adaptado de “Software IBM SPSS Statistics”; por Montero & Ramírez, 2018.

El diagrama demuestra que para los valores de pH no se encontraron datos atípicos. El bigote izquierdo es más ancho que el derecho por ende el 25% de las mediciones más bajas para el pH están más concentradas que el 25% de las mediciones más altas las cuales se dieron en temporada de lluvia.

Temperatura del agua. Diagrama de cajas y bigotes para la temperatura



Fuente: Autores, 2018.

El diagrama no posee presencia de datos atípicos en cuanto a la temperatura del agua. Su bigote izquierdo es más corto que el derecho por ende el 25% de las mediciones más bajas para la temperatura están más concentradas que el 25% de las mediciones más altas las cuales se dieron en temporada de sequía.