



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CONTENIDO DE FÓSFORO, NITRITOS Y NITRATOS EN UN TRAMO DE LA
CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ; APORTE INVESTIGATIVO AL PROYECTO
SOBRE LA AUTODEPURACIÓN DE LAS CORRIENTES SUPERFICIALES.**

PRESENTADO POR:

**VANESSA VARGAS GALEANO CÓDIGO: 503580
SERGIO ANDRÉS MALDONADO CÓDIGO 505180**

DOCENTE ASESOR:

SERGIO ISRAEL ROJAS

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

BOGOTÁ, D.C., NOVIEMBRE DE 2019

DEDICATORIA

Primero doy gracias a Dios por darme mil felicidades y permitirme llegar hasta donde estoy, darme la oportunidad de tener lo más hermoso de mi vida, mi hijo Juan José Ovalle Vargas, que a ojos de él y de todos es un milagro y ejemplo de vida, con miles de dificultades en su nacimiento, con tan solo 980gr, sin saber si viviría o no, pero con el amor y la fe en todo momento, salió venciendo todo pronóstico, y en este momento, a pesar de tener una parálisis cerebral, lo amo con todo mi corazón y sé que lo importante es creer, tener fe, luchar y nunca desfallecer a ninguna prueba que nos ponga, no es para nada fácil vivir esto, pero él ha sido mi más grande motivación para continuar después de esta situación, con muchos tropiezos, puertas cerradas y sacrificios pero aun así poder culminar mi carrera, podría escribir un libro con su historia y no me alcanzaría para expresar lo que siento, momentos inolvidables que viví al lado de mi esposo, que es mi otra motivación, que también me apoyo en cuando mi vida se volvía más difícil, que estuvo siempre a mi lado y confiando que juntos podíamos sacar nuestro hijo adelante y así es, por que esta experiencia no se cambia por nada y no todos son capaces de soportarla.

También doy gracias a mis padres, mi hermana y sobrinas, porque sin ellos esto tampoco hubiera sido posible, con el entusiasmo, los consejos, las luchas, los valores y la educación que recibí de ellos, me formaron una persona con sueños y metas, dándome empujones y recordarme siempre porque lo hacía, debo mi vida completa a ellos. Muchas gracias y no me alcanzaría la vida para decirles a toda mi familia cuanto los amo.

Y sin olvidar darle gracias también a mi compañero de luchas en este trabajo de grado, que peleamos, trasnochamos, reímos, y hasta nos sentíamos con miedo en muchas ocasiones, pero en cada idea que teníamos nos complementábamos el uno al otro para terminar con satisfacción nuestro trabajo.

Vanessa Vargas Galeano

A mi señora madre, luchadora y entusiasta incansable en este camino, por su aliento incondicional, y la formación integral de la cual me siento poseedor (no me alcanza la vida para agradecerle), así mismo a mi familia, mis amigos de siempre y cada una de las experiencias que han forjado el rumbo que he decidido acoger como estilo de vida.

Sergio Andrés Maldonado



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	10
3. ESTADO DEL ARTE	15
4. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
5. MARCO DE REFERENCIA	21
5.1. MARCO TEÓRICO	21
5.1.1. GENERALIDADES.....	21
5.1.2. CALIDAD DEL AGUA Y SU CONTENIDO DE MICROORGANISMOS.....	24
5.1.3. ENFERMEDADES DEL AGUA	25
5.1.4. AGUAS RESIDUALES	25
5.1.5. AUTODEPURACIÓN	26
5.1.6. CARACTERÍSTICAS Y PARAMETROS DEL AGUA	27
5.1.7. PARAMETROS DE ESTUDIO	29
5.1.8. RELACIÓN ANTE LOS ENSAYOS DE ESTUDIO:	30
5.2. MARCO CONCEPTUAL.....	31
6. OBJETIVOS	32

6.1.	GENERAL.....	33
6.2.	ESPECÍFICOS.....	33
7.	ALCANCES Y LIMITACIONES.....	33
8.	METODOLOGÍA.....	35
8.1.	FASE I: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	35
8.2.	FASE II: TRABAJO EN CAMPO	36
8.3.	FASE III. RESULTADOS	41
8.4.	FASE IV. ANALISIS E INTERPRETACION DE DATOS	42
9.	CONCLUSIONES.....	49
10.	RECOMENDACIONES	51
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca del rio Bogotá	21
Figura 2. Cuenca alta del rio Bogotá.....	22
Figura 3 Tramo de estudio	23
Figura 4. Mapa conceptual calidad de agua	31
Figura 5. Tramo Villapinzón- Chocontá.....	36
Figura 6. Punto 1 para toma de muestras.....	38
Figura 7. Punto 2, para toma de muestras.....	39

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Condiciones en puente Villapinzón	10
Tabla 2. Clase I y II Nitritos- Nitratos	10
Tabla 3. Clase III, Valores máximos	11
Tabla 4 Comportamiento de nitritos. Rio Guayuriba	14
Tabla 5 Comportamiento de nitratos. Rio Guavio	14
Tabla 6 Comportamiento de nitritos. Rio Guavio	14
Tabla 7. Toma de muestras punto inicial	38
Tabla 8 Toma de muestras punto final.....	40
Tabla 9. Ensayos y técnicas en parámetros	41
Tabla 10. Resultados campaña 3 (Cuenca alta del rio Bogotá)	41
Tabla 11. Variación promedio de parámetros analizados en tramo de estudio	47

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Resultado de nitritos presentes Villapinzón 2012.....	11
Gráfica 2. Resultados de nitratos Villapinzón 2012.....	11
Gráfica 3 Comportamiento de los nitratos. Rio Guayuriba.....	13
Gráfica 4. Niveles de nitritos registrados en el punto # 1.....	43
Gráfica 5. Niveles de nitritos registrados en el punto # 2.....	43
Gráfica 6. Niveles de nitratos registrados en el punto # 1.....	45
Gráfica 7. Niveles de nitratos registrados en el punto # 2.....	45
Gráfica 8. Niveles de Fosforo total registrados en el punto # 1.....	46
Gráfica 9. Niveles de Fosforo total registrados en el punto # 2.....	47
Gráfica 10. Variación promedio de parámetros.....	48

1. INTRODUCCIÓN.

El agua, que es uno de los recursos más importantes del planeta, e indispensable para el desarrollo de la vida, ha sido un factor fundamental en la planeación de las poblaciones, de esta manera a través de la historia se ha propendido por el establecimiento de las poblaciones en zonas cercanas al recurso hídrico, con el fin de suplir las necesidades fundamentales de los individuos.

Al momento de determinar el estado en que se encuentra un río y los procesos que lleva a cabo para su descontaminación, contribuyen factores tanto naturales, como de operación humana; Para este caso la autodepuración de una corriente superficial es el proceso natural del agua, donde desde el vertimiento de contaminantes conlleva un proceso de degradación de estos, definiendo una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos que son indispensables en su tratamiento.

Los parámetros que se involucran en el presente aporte investigativo están dirigidos al proyecto “DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE AUTODEPURACIÓN DE CORRIENTES SUPERFICIALES A NIVEL DE CUENCA” que busca generar un modelo a cerca de la capacidad autodepuradora del agua, con base en el análisis de diferentes componentes, dentro de los cuales están contemplados lo referido a la intervención de nitritos, nitratos y fósforo total, dentro del proceso de depuración y estado de calidad del agua, presentes en un tramo del río Bogotá, en este caso aguas abajo del casco urbano del municipio de Villapinzón.

Los factores mencionados son relevantes en el tema de contaminación, responsables del incremento desmedido de nutrientes en el agua, y de igual manera en los procesos de autodepuración de los ríos, siendo fuente de energía de algunas plantas acuáticas que en su proceso de crecimiento absorben y eliminan los contenidos de nitrógeno y fósforo. De esta manera se espera dar una contribución o aporte al desarrollo del proyecto investigativo liderado por profesores y estudiantes de la Universidad Católica de Colombia.¹

¹ FLORES HINOJOSA, Daniel. manual general de autodepuración de aguas fluviales.14p.

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.

De acuerdo a los múltiples monitoreos realizados por la CAR, analizaron variedad de muestras en el río Bogotá en diferentes periodos, según el estudio del año 2008, en el análisis de las muestras fisicoquímicas y bacteriológicas de la cuenca, arrojó los datos consignados en la tabla 1, determinando el nivel de calidad del agua, en las condiciones presentes, con los parámetros en estudio ²

Tabla 1 Condiciones en puente Villapinzón

Estación	Abscisado	Fosforo total	Nitrito	Nitrato
Puente Villapinzón	K4+146	0.07	0,002	0,3

Fuente: Corporación Autónoma Regional

A través del decreto 1594 de 1984 el ministerio de Agricultura determino el uso del agua en los cuerpos hídricos y para el desarrollo de programas establecidos en el POMCA, la CAR reglamento posteriormente, los usos de cada cuenca del río Bogotá con el Acuerdo 43 del 17 de octubre de 2006, donde clasifíco los parámetros de acuerdo con sus usos:

Clase I y II: Usos para consumo humano y domestico con tratamiento convencional, preservación de flora y fauna, usos agrícolas y pecuarios, expresados en la tabla 2 en los parámetros de estudio, así:

Tabla 2. Clase I y II Nitritos- Nitratos

Parámetro nutrientes	Expresados como	Restrictivo (máximo que se puede obtener)
Nitratos	mg/L	10
Nitritos	mg/L	10

Fuente: Acuerdo 43 del 17 de octubre de 2006

² CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA. Río Bogotá: Adecuación hidráulica y recuperación ambiental. Volumen I. Bogotá. 157 p.

Clase III: Valores asignados en la tabla 3 para la calidad de los Embalses, Lagunas, humedales y demás cuerpos lenticos de aguas ubicados dentro de la cuenca del río Bogotá.³

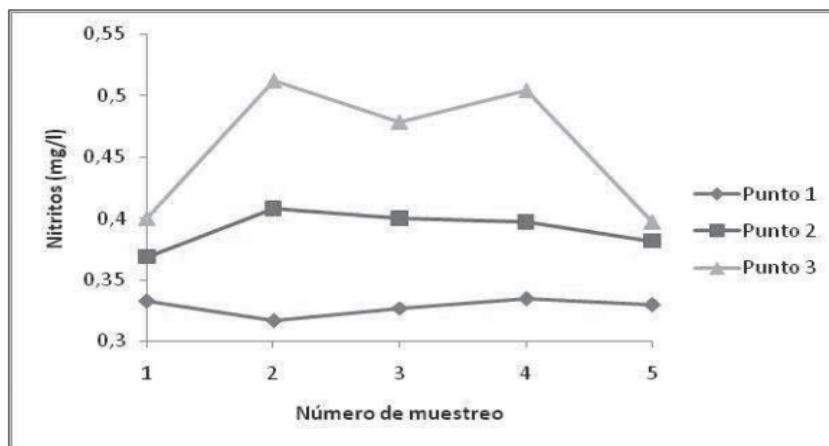
Tabla 3. Clase III, Valores máximos

Parámetro nutrientes	Expresados como	Valor más restrictivo (máximo que se puede obtener)
Nitratos	mg/L	1
Nitritos	mg/L	0,5
Fosforo total	mg/L	0,1

Fuente: (CAR, 2006)

En el año 2012 se realizó la investigación para el artículo “Identificación y evaluación de la contaminación del agua por curtiembres en el municipio de Villapinzón”⁴ se evaluó los parámetros para determinar la calidad del agua en este municipio, mediante muestreos, arrojando los siguientes resultados para los nitritos y nitratos, presentes en la cuenca:

Gráfica 1. Resultado de nitritos presentes Villapinzón 2012

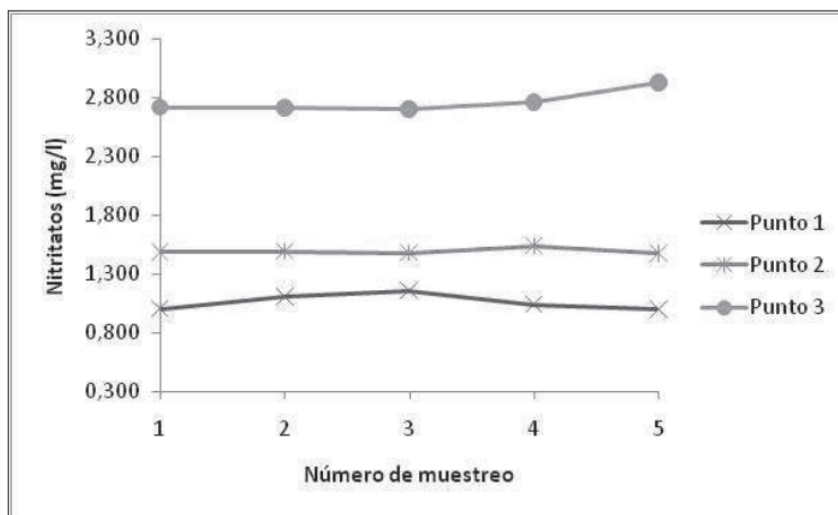


Fuente: CAR 2012

Gráfica 2. Resultados de nitratos Villapinzón 2012

³ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA. Acuerdo número 43 del 17 de octubre de 2006. Bogotá, 2006. 16 p.

⁴ SUÁREZ ESCOBAR, Andrés Felipe; GARCÍA UBAQUE, César Augusto; VACA BOHÓRQUEZ, Martha Lucía. Identificación y evaluación de la contaminación del agua por curtiembres en el municipio de Villapinzón. Bogotá, 2012. 9 p.



Fuente: CAR 2012

En un estudio reciente hecho por la CAR en el 2017, el análisis de resultados para los parámetros Nitratos nitritos, cumple con los valores y comportamientos respecto al límite de calidad con valores de nitratos promedio cercanos a 2mg/L, mientras en los nitritos oscilan con valores cercanos a 0,3mg/L. Contrario al Fosforo total lo cual el comportamiento es inadecuado y no cumple con las condiciones máximas permitidas.⁵

Dadas las investigaciones realizadas anteriormente y las mediciones en campo tomadas en el desarrollo de esta investigación, se pretende determinar y comparar los niveles de ciertos parámetros en estudio, en una zona con alto nivel de contaminación, debido a la producción industrial (principalmente actividad de curtiembres), la ganadería, la producción agrícola y la ausencia de plantas de tratamiento de aguas residuales, dando la importancia necesaria para llevar un aporte de campo e investigativo a un nuevo enfoque de la generación de una metodología sistemática, y determinar así, el potencial de autodepuración del agua, donde se tomen en cuenta los costos generados actualmente para realizar estos estudios, y modelar los comportamientos físicos, químicos y biológicos, dando un resultado económico, funcional y suficiente en términos de obtener las características de autodepuración en cualquier tramo.

De acuerdo a la calidad del agua en diferentes cuencas, en el boletín de calidad hídrica del año 2017, se indican los parámetros del presente estudio, en distintos

⁵ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA. Boletín de calidad hídrica 2017: Informe sobre el cumplimiento de Objetivos de Calidad en las ocho subzonas hidrográficas y dos niveles subsiguientes de la jurisdicción. Bogotá, 2017. 100 p.

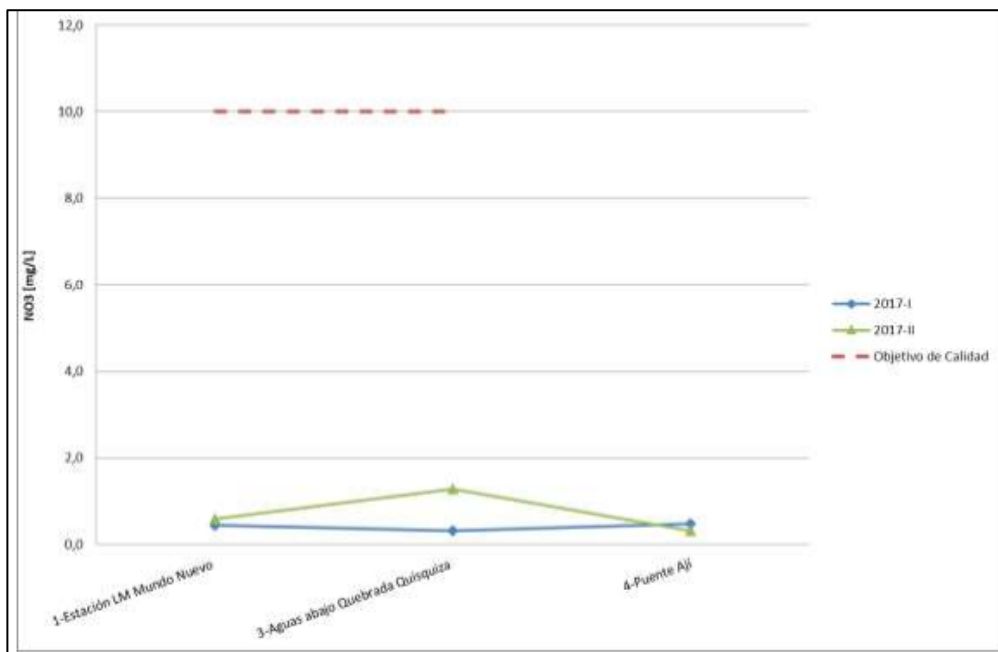
tramos de cuencas zonificadas de Colombia, relacionando a continuación los niveles obtenidos de nutrientes presentes en los ríos.

- CUENCA DEL RÍO GUAYURIBA

El río Guayuriba se ubica en el afluente del Río Meta, con una extensión de 3540 km², pasando por los departamentos de Cundinamarca y Meta.⁶

De acuerdo a los resultados del estudio realizado para el río Guayuriba en el año 2017, se evidencia el comportamiento de los nitratos, cumpliendo el objetivo de calidad en el tramo, sin exceder los límites admitidos como se expresa en la gráfica 3, según la clasificación dada para el río.

Gráfica 3 Comportamiento de los nitratos. Río Guayuriba



Fuente: Boletín calidad hídrica 2017. CAR

Igualmente con la información tomada de la tabla 4, para el río Guayuriba, los datos registrados de los ensayos para nitritos, reporta valores adecuados según el límite máximo admitido.

⁶ CORPORACION AUTONOMA REGIONAL. Boletín de calidad hídrica 2017. (12 noviembre 2019). Disponible en: (<https://www.car.gov.co/uploads/files/5bae456c5c78a.pdf>)

Tabla 4 Comportamiento de nitritos. Río Guayuriba

No. Punto Monitoreo	Punto monitoreo	Clase Obj	Comportamiento de Nitritos - Río Guayuriba				
			2017-I	2017-II	Objetivo	Cumplimiento	Cumplimiento
					(mg/L)	2017-I	2017-II
PM-2	2-Quebrada Quisquiza	IV	0,006	0,004	10,00	SI	SI

Fuente: Boletín calidad hídrica 2017. CAR

- CUENCA RÍO GUAVIO

La Cuenca del Río Guavio, se encuentra localizado al oriente del departamento de Cundinamarca con 716 km² de extensión.

El contenido de nitratos y nitritos en el río Guavio Tabla 5 y 6 respectivamente, se tiene un óptimo cumplimiento ante los niveles máximos permitidos en las diversas tomas que se practican en los tramos.

Tabla 5 Comportamiento de nitratos. Río Guavio

No. Punto Monitoreo	Punto monitoreo	Clase Obj	Comportamiento de Nitratos - Río Guavio				
			2017-I	2017-II	Objetivo	Cumplimiento	Cumplimiento
					(mg/L)	2017-I	2017-II
PM-2	2-Quebrada Arrastradero	II	0,750	0,415	10,00	SI	SI
PM-6	6-Quebrada Pan de Azúcar	II	0,441	0,458	10,00	SI	SI

Fuente: Boletín calidad hídrica 2017. CAR

Tabla 6 Comportamiento de nitritos. Río Guavio

No. Punto Monitoreo	Punto monitoreo	Clase Obj	Comportamiento de Nitritos - Río Guavio				
			2017-I	2017-II	Objetivo	Cumplimiento	Cumplimiento
					(mg/L)	2017-I	2017-II
PM-2	2-Quebrada Arrastradero	II	0,005	0,004	1,00	SI	SI
PM-6	6-Quebrada Pan de Azúcar	II	0,004	0,004	1,00	SI	SI

Fuente: Boletín calidad hídrica 2017. CAR

Europa ha sido y es actualmente un importante centro de producción de la industria del curtido de cueros, siendo hoy por hoy el mayor productor a nivel mundial, a pesar de la reciente crecida que ha tenido el sector en Asia y Latinoamérica. Italia se ha consolidado, como el principal productor de pieles,

contando con un 15% del total de la producción de cueros a nivel mundial y acumula un 65% del total de la producción siendo el principal productor ante la Unión Europea. Como hemos podido observar en Europa la industria de las curtiembres es un tema relevante y aunque hoy por hoy la mayoría de sus productoras son negocios pequeños, cuentan con un plan de manejo de desechos adecuado y con un control riguroso que busca garantizar la preservación de las fuentes hídricas y su uso de manera responsable, de acuerdo a los planes de gestión económica con que cuenta el sector, se estima que en la empresas de esta industria el tratamiento de desechos constituye un 5% del total de los costos de producción, un avance significativo teniendo en cuenta que en muchas otros centros de producción aún no se cuenta con modelos económicos que involucren estos factores. El panorama Latinoamericano concerniente a la producción de cueros desde el punto de vista económico es favorable, y la industria ha crecido considerablemente en muchos países de la región, Argentina representa el adelanto en esta industria y ha tenido gran relevancia a través de su historia, cuenta hoy por hoy con procesos tecnificados y normativas amplias en el campo de acción, a diferencia de este país los demás centros de producción latinoamericanos aún cuentan con procesos artesanales de producción y están en la búsqueda de actualización tecnológica, razón por la cual el negativo impacto ambiental es un tema de relevante preocupación ya que los procesos utilizados en esta práctica son similares y conllevan principalmente un alto consumo de agua y vertido de cromo, resaltando que el 85% de la producción de cueros implica su uso.⁷

La contaminación sobre la cuenca alta del río Bogotá constituye hoy por hoy una preocupación inminente, teniendo en cuenta que sobre su cauce se presentan vertimientos altamente nocivos provenientes de actividades industriales (Gran parte de esta actividad es desarrollada por familias de forma artesanal, sin procesos técnicos que minimicen el impacto ambiental), producción agrícola, ganadera y ausencia de plantas de tratamientos de aguas residuales, en el municipio de Villapinzón y otras poblaciones circunvecinas en la ronda del río.

3. ESTADO DEL ARTE

⁷ MARTÍNEZ BUITRAGO, Sandra Yulier; ROMERO COCA, Jonathan Alexander. Revisión del estado actual de la industria de las curtiembres en sus procesos y productos: Análisis de su competitividad. Bogotá, 2016. 12 p.

La evolución de la sociedad llevó consigo el desarrollo de nuevos procesos industriales, nuevas disposiciones de aguas residuales y de uso doméstico, y por consiguiente un índice de contaminación creciente; Fue así como se hizo necesario resolver el problema del tratamiento de las aguas residuales, antes de su vertimiento en los cauces de los ríos. De esta manera en la actualidad, la disposición en cantidades necesarias de fuentes de buena calidad destinadas al consumo humano y desarrollo de actividades industriales es un problema fundamental de las comunidades, que poco a poco se ha tratado de controlar por medio de instituciones pertinentes para tal caso, pero aun así tiene su complejidad tanto de organización, control y seguimiento, debido a los costos que demanda este proceso.

América latina y el pacífico, un territorio dotado por grandes e importantes cuerpos de agua dulce, también es hoy por hoy el escenario de problemáticas serias en lo referido a calidad de agua y suministro de agua potable. Y aunque en esta parte del globo encontramos 4 de los ríos más largos del mundo los cuales son el Amazonas en Brasil, Paraná en Argentina, Orinoco en Venezuela y Magdalena en Colombia, hoy por hoy América latina se ve enfrentada también como gran parte de los países en la actualidad al problema de la escasez de agua. Y es que garantizar el acceso en los años futuros al líquido vital en condiciones dignas, es una de las grandes tareas que deben procurar garantizar las naciones, teniendo en cuenta un panorama desalentador que se nutre de factores como la creciente población, la agricultura con prácticas inadecuadas y poco tecnificadas y en donde la industria, a falta de estrictos controles rigurosos sobre sus desechos en los vertimientos aporta en gran medida al deterioro progresivo de las fuentes hídricas, siendo un factor relevante el ejercicio de procesos poco tecnificados que en países en vía de desarrollo como lo son en su gran mayoría en este territorio, carecen de esa sensibilización necesaria para minimizar los impactos ambientales generados en el entorno.

La escasez de agua es entonces sin duda una situación compleja en América Latina y la gestión del agua es una de las razones que han llevado el escenario a este punto, pues encontramos que alrededor de del 50% del desperdicio de agua y un 70 % de las aguas residuales no reciben ningún tratamiento lo que refleja un déficit del 88,47 % en materia de tratamiento de aguas residuales a nivel América Latina y lo que se traduce como mayores índices de contaminación en los cauces de los ríos. Por esta razón se apunta a establecer controles cada vez más rigurosos que permitan una gestión adecuada del líquido, ha de tenerse en cuenta que en los últimos 10 años las normativas referidas al tratamiento de aguas han cambiado más que en todo el siglo pasado, lo que demuestra un esfuerzo notable por mejorar el panorama, lamentablemente a pesar de estos esfuerzos el problema de impacto sobre el recurso hídrico sigue en aumento.

De acuerdo a lo anterior, es de gran utilidad poder establecer las características predominantes encontradas en los ríos o en tramos específicos de estos, referidas al tratamiento propio de sustancias contaminantes, por medio de agentes y procesos físicos, químicos y biológicos, tales como el relieve del terreno, los componentes de la vegetación y el suelo, el caudal, el contenido de oxígeno, el contenido de microorganismos, de nutrientes, entre otros, y de esta manera identificar cómo se lleva a cabo la eliminación o asimilación de sustancias contaminantes en los cuerpos hídricos por sí mismos.

Algunos estudios recientes(2015) realizados por la institución europea Urban River Lab (URL) en conjunto con la Universidad de Birmingham (Reino Unido), en donde intervinieron investigadores de varios países especializados en el tema, referidos a la influencia de algunas plantas acuáticas tales como el lirio amarillo, el cañizo, la *Thypha*, y el peso que tienen los microorganismos presentes en los sedimentos, en el proceso de restauración de fuentes hídricas por medio de procesos de autodepuración. Estas investigaciones se adelantaron sobre aguas de un río urbano (Vallès, Barcelona, España), en el cual se realizaron procedimientos previos de depuración de aguas en plantas de tratamiento. Las investigaciones realizadas se realizaron en canales diseñados, los cuales reproducen a escala media lo que sería un tramo de un río.⁸

Así pues, se identificó de manera preliminar que el comportamiento de las aguas ante las plantas acuáticas, los resultados arrojaron que las aguas que estuvieron en contacto con el lirio amarillo tuvieron una disminución notoria de 0,8 mg/l a 0,3 mg/l, en cuanto a su contenido de amonio, el cual necesita de oxígeno para su eliminación, convirtiéndose en nitrato, un compuesto menos nocivo sobre la biodiversidad de los ríos. Publicaciones posteriores a la investigación indican que las plantas acuáticas absorben los nutrientes del medio en cual viven y son capaces de eliminar hasta un 40% del contenido de nitrato y amonio, provenientes de las plantas depuradoras. También que la interacción de los microorganismos y las raíces de estas plantas generan una mayor eficiencia en la eliminación de nitrógeno, de manera que la acción conjunta entre plantas y los microorganismos relacionados a sus raíces, pueden generar un aumento en la capacidad de autodepuración de los ríos, y así junto con el tratamiento que reciben las aguas previamente en las plantas depuradoras, se llegue a una solución definitiva en el tratamiento de la contaminación de cuerpos hídricos. Así mismo en el año 2009 se llevaron a cabo investigaciones por parte del centro de estudios avanzados de Blanes, en Girona España, en donde se abordaron temas referidos a la interacción de los nutrientes en el agua. Así pues, una vez llegan contaminantes provenientes de diversas actividades, en el cauce de los ríos, algunas de estas sustancias

⁸ CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS. Científicos analizan el papel de plantas y microorganismos en la autodepuración de los ríos. Bogotá, 2015

orgánicas o inorgánicas, que son transportadas a través del flujo de agua en forma de minerales, son captados por microorganismos o transformados por medio de procesos químicos naturales.

La metodología desarrollada en dichas investigaciones, fue por medio de la utilización de isótopos estables, como marcadores hídricos, con esto se logra tener un seguimiento efectivo sobre las rutas de captación y eliminación del nitrógeno en los ríos. El lugar de intervención fue el río Torderas, en Cataluña España y se realizó el estudio en función del uso tierras en la cuenca del río. Los seguimientos demostraron que el ciclo del nitrógeno se llevaba de manera rápida en zonas de presencia urbana y agrícola, de igual forma se indica que en dichas zonas la eliminación de nitrógeno hacia la atmósfera por medio de la desnitrificación, se produce de manera considerable, de acuerdo a esto se establece que en zonas con alta presencia e intervención humana, esta vía puede constituir un importante mecanismo de eliminación del nitrógeno proveniente de las diversas actividades externas al desarrollo natural del río.⁹

Recientemente se han realizado estudios en Bogotá Colombia, utilizando procesos físicos en campo y métodos analíticos con el fin de establecer un modelo matemático que combine variables biológicas y también de ingeniería hidráulica. En la ejecución de la investigación se realizó el procedimiento en campo denominado, retención de hojarasca el cual mide la capacidad de retención de hojarasca de un cuerpo hídrico, en este caso la quebrada la vieja. Por medio de esta metodología fue posible establecer variables como el caudal, y la capacidad de transporte de un cuerpo hídrico, variables de relevantes en el proceso de modelación de aguas. Estos estudios establecen que el tiempo de transporte del río se puede asociar al ciclo necesario para establecer la retención de materia orgánica, a manera de indicador cuanto la capacidad de autodepuración de ríos de montaña río. Los estudios relacionados con el ámbito de la autodepuración son relativamente recientes, sobre todo en el territorio Colombiano, razón por la cual a la fecha falta profundizar en investigaciones referidas a la disciplina de análisis.¹⁰

⁹ CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS. Investigar en ríos. Los nutrientes en un ecosistema en movimiento. España, 2009.

¹⁰ RIAÑO NEIRA, María Fernanda; VIGOYA RODRIGUEZ, Lusby Yurey; MANCIPE MUÑOZ, Néstor Alonso; SANABRIA BUITRAGO, Mayerling. Formulación eco hidráulica para evaluar la capacidad de autodepuración de ríos de montaña. Colombia, 2018.

4. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

La escasez del agua constituye una preocupación de suma relevancia a escala mundial, a tal punto que existe la alta probabilidad de enfrentar una crisis severa a corto plazo, sumado a esto el tema de los desechos agrícolas e industriales, que cada vez son mayores debido en gran parte al incremento exponencial de la población que demanda mayores cantidades de agua y alimento, han generado un problema ambiental severo y es que gran parte de las fuentes hídricas superficiales de agua dulce están contaminadas actualmente.

Además de esto, no se tiene un control legal, ni técnico lo suficientemente estricto por lo menos a nivel latinoamericano, para que el desarrollo de la actividad industrial minimice el impacto ambiental en cuerpos hídricos superficiales que se produce respecto a su uso. Primero por temas económicos, que se salen de lo previsto al realizar estos estudios en las estaciones puestas para tal fin, y segundo no es posible llevar un seguimiento detallado en cualquier tramo de una cuenca.

Por lo tanto, no existe para tal fin un seguimiento en materia de las corrientes superficiales, generando un problema de escasez de información, respecto al proceso que los afluentes conllevan, ante la capacidad que naturalmente tienen para cumplir su etapa de descontaminación de acuerdo con los niveles representativos, de los criterios que se tienen en cuenta para la cuantificación y así acceder a un máximo monitoreo de su autodepuración.

Para poder llevar a buen término el proyecto al cual se quiere apoyar, es necesario suministrar la información de los ensayos desarrollados en el laboratorio de aguas de acuerdo a los parámetros seleccionados, que son contenidos de nitritos y nitratos y fósforo total. Estos ensayos serán realizados sobre muestras tomadas en un tramo del río Bogotá, específicamente sobre el tramo contenido entre los municipios Villapinzón y Chocontá, donde se llevará a cabo la toma de las muestras de acuerdo a la normatividad y se realizará el debido transporte hasta el lugar de análisis en el laboratorio, el cual es externo a la universidad pero cuenta con los recursos técnicos e insumos necesarios para poder establecer resultados confiables que sean de gran aporte al proyecto investigativo que lideran profesores y estudiantes de la Universidad Católica de Colombia.

Con la pregunta formulada, se contribuye a la solución de la problemática en temas de control y seguimiento; ¿Cómo se ve afectada la calidad del agua respecto a los contenidos de fósforo, nitratos y nitritos en la cuenca alta del río Bogotá, por la contaminación presente, a raíz de los vertimientos domésticos,

industriales y agrícolas en el municipio de Villapinzón? Proporcionando resultados tomados en campo a la creación de un modelo sistemático y así establecer el potencial de autodepuración de una corriente superficial, de una manera económica y funcional.

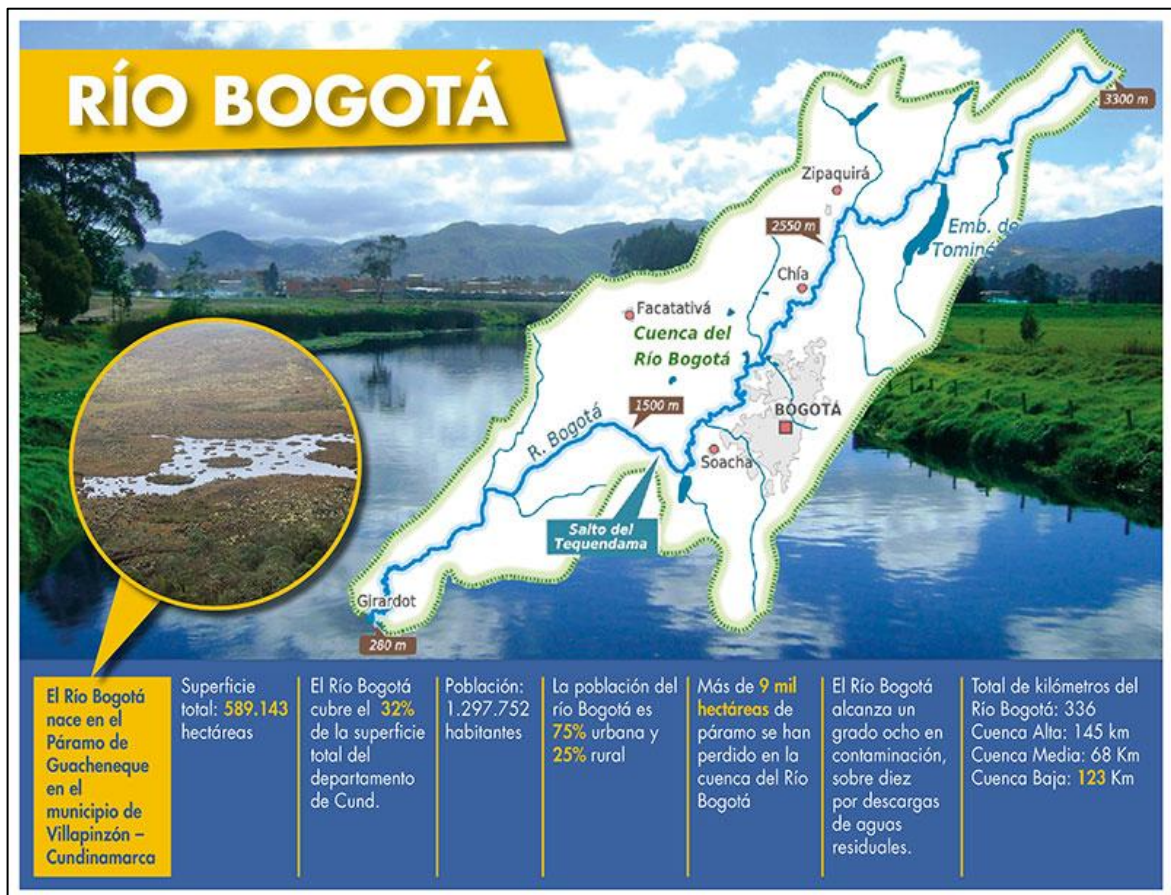
5. MARCO DE REFERENCIA

5.1. MARCO TEÓRICO

5.1.1. GENERALIDADES

La cuenca del río Bogotá se encuentra ubicada en el departamento de Cundinamarca, su nacimiento es en la región nororiental como lo muestra la Figura 1, iniciando en el páramo de Guacheneque, municipio Villapinzón, con una longitud y extensión aproximada de 380 km y 6000 km² respectivamente, desembocando en el río Magdalena.

Figura 1. Cuenca del río Bogotá



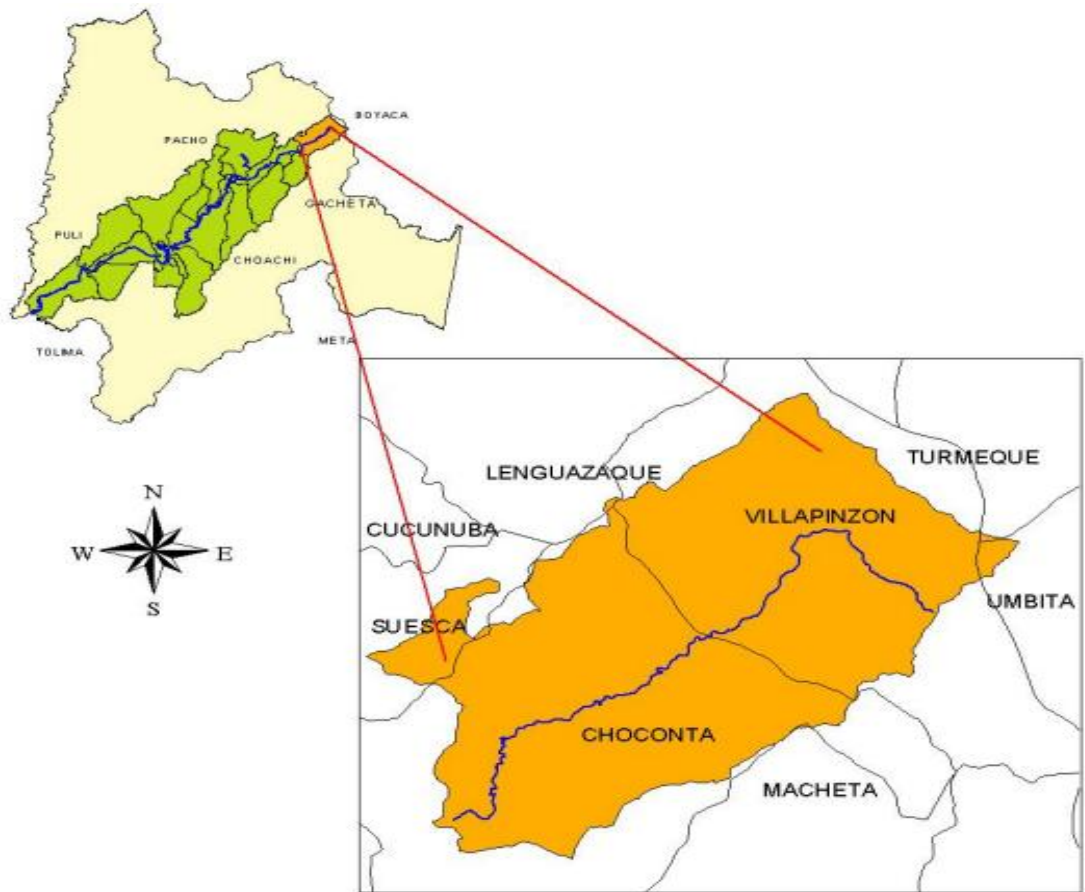
Fuente: Ministerio de ambiente. Avanza recuperación ambiental, social, cultural y económica del Río Bogotá Disponible en: /minambiente.gov.co/index.php/noticias-

minambiente/1782-avanza

La Corporación Autónoma Regional (CAR) realizó la división por tramos a lo largo de toda la trayectoria del río Bogotá, los cuales se definen como cuenca alta, cuenca media y cuenca baja. La cuenca alta en la que se desarrolla el análisis investigativo de interés en el presente proyecto comienza como indica la figura 2, desde el nacimiento del río Bogotá en Villapinzón, hasta el puente de la virgen en Cota. Así mismo continúa la cuenca media, desde el Puente de la Virgen en Cota, hasta antes del embalse del Muña en Alicachín; y en este embalse se empieza la cuenca baja, hasta la desembocadura del río Magdalena. Los principales usos dados al río Bogotá en los diferentes tramos, son para el consumo humano, agricultura, zonas industriales, generación de energía y recreación. En los puntos que se presencia mayor impacto de actividad industrial se localizan en Villapinzón, con los procesos derivados de las curtiembres, zona donde será la aplicación del estudio.¹¹

Figura 2. Cuenca alta del río Bogotá

¹¹ UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. (S.F.). Instituto De Estudios Urbanos. Obtenido de <https://www.institutodeestudiosurbanos.info/endatos/0100/0110/0112- hidro/0112111.htm>



Fuente: CAR–POMCA. Disponible en: car.gov.co/uploads/files/5bae456c5c78a.pdf

Con la información suministrada se tomará en cuenta el tramo dentro de los siguientes 10 km, iniciando en un punto aguas abajo de Villapinzón, como se ilustra en la Figura 3.

Figura 3 Tramo de estudio



Fuente:<https://www.google.com/maps/@5.1818938,73.6454428,12526m/data=!3m1!1e3>

5.1.2. CALIDAD DEL AGUA Y SU CONTENIDO DE MICROORGANISMOS

Es necesario determinar la calidad del recurso hídrico con el fin de establecer sus riesgos potenciales en lo referido al consumo humano del líquido, como también el impacto que se está generando a raíz de los procesos domésticos e industriales que conllevan vertimientos de aguas contaminadas en los lechos de los ríos. La proporción de microorganismos en el agua generalmente puede ser un indicativo de su calidad, así como también aporta en el desarrollo de algunos factores tales como generación de malos olores o sabores del agua incluso luego de su potabilización. Dichos microorganismos pueden llegar a causar serias implicaciones negativas en la salud de los consumidores, siendo este un campo de investigación donde se tratan los temas relacionados con las “enfermedades hídricas” y de mayor relevancia en países en vía de desarrollo. Así pues, en el análisis de los cuerpos de agua en cuanto a su contenido de microorganismos podemos encontrar de manera general que las fuentes hídricas del planeta

contienen en mayor proporción: bacterias, cianofíceas, hongos, protozoos, algas y virus. Estos microorganismos en proporciones adecuadas son utilizados en el tratamiento de aguas residuales.¹²

5.1.3. ENFERMEDADES DEL AGUA

Según la Organización mundial de la salud (OMS), el 80% de las enfermedades son producidas por la exposición o consumo de agua contaminada y son derivadas por la mala disposición de los residuos, debido a su vertimiento al río sin un control de tratamiento ante los diferentes microorganismos presentes, esto incurre en riesgo de epidemiología, como son la cólera y la diarrea o en otros casos enfermedades infecciosas; donde generan un impacto negativo hacia la morbilidad y mortalidad en el país. Estas enfermedades varían de acuerdo con su procedencia o efectos, los agentes más perjudiciales son las sustancias químicas como los metales pesados, insecticidas, fertilizantes, industriales, entre otros.¹³

El DANE determinó una serie de enfermedades de este tipo que se relacionan a continuación por enfermedad y causa: Diarrea causados por bacterias, virus y protozoarios; Cólera causada por bacterias; Hepatitis A, Virus; Paratifoidea y tifoidea, Bacterias; Polio, Virus. Enfermedades contagiosas como la Ascariasis. Todas estas enfermedades son generalmente transmitidas por agua contaminada, comida o contacto directo.¹⁴

5.1.4. AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son desechos generados a partir de procesos industriales y domésticos, que debido a su contenido de materias nocivas al medio ambiente y al consumo humano deben tener un proceso de purificación en pro de la disminución de sus niveles de contaminación evitando así que los vertimientos en fuentes hídricas sean altamente dañinos. Las aguas contaminadas pueden estar constituidas ya sea por materiales orgánicos o inorgánicos, marcando procesos distintos de depuración, así las aguas que contienen materias inorgánicas tales como arcillas, sedimentos, entre otros pueden tener un tratamiento basado en la

¹² MARIN GALVIN, R. Microbiología De Las Aguas. 2014

¹³ Gómez-Duarte, O. G. Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. 2018

¹⁴ DANE. Indicadores de la ILAC. Obtenido de: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Ilac/Tasa_morbilidad_atribuible_enfermedades_origenhidrico13.pdf

utilización de medios mecánicos o químicos y aquellas aguas contaminadas con presencia de materia orgánica conllevan un tratamiento en el cual se analiza la interacción de microorganismos en capacidad de oxidar y convertir la materia orgánica en CO₂.¹⁵

Aguas residuales domésticas: Surgen a partir de procesos cotidianos de tipo doméstico y en ellas encontramos potencialmente: Pseudomonas; Proteus Vulgaris; Bacillus Cereus; Aerobacter Cloacas, Zooglea ramigera, Streptococcus fecalis.

Aguas residuales Agrícolas: Surgen a partir de los procesos agrícolas de la explotación de tierras, es común encontrar entre sus agentes contaminantes: Mixobacterias; Hongos; Levaduras.¹⁶

Aguas residuales derivadas de la industria de curtiembre de cueros: La industria del curtido de cuero genera grandes niveles de contaminación, teniendo gran incidencia en la calidad del agua de las fuentes de vertimiento ya que en la actualidad esta industria carece de control riguroso. Como producto de estos procesos generalmente se generan residuos tales como: Efluentes (agua contaminada con alto contenido de materia oxidable, tóxicos); Desechos sólidos (materia orgánica putrescible o residuos de piel); Emisiones de (VOC, compuestos orgánicos volátiles, H₂S ácido sulfhídrico, NH₃ amoníaco). De igual manera se hace necesario verificar los siguientes parámetros de vertimientos de aguas industriales: Demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos en suspensión (SS), Sólidos totales (ST), Cromo total (Cr₃), sulfuros (S), Amonio más Nitrógeno Orgánico, Flujo volumétrico, PH y alcalinidad. Se identifican como sustancias peligrosas: Cromo hexavalente, Aril- aminas, Pentaclorofenol (PCP), Formaldehído; productos con contenido de tributilestaño (TBT) y metales pesados como mercurio, Cadmio y Zirconio.¹⁷

5.1.5. AUTODEPURACIÓN

La naturaleza debe ser capaz de soportar alteraciones de contaminantes debido al vertimientos de residuos de cualquier índole, pero no deben superar la capacidad

¹⁵ BARÓN, L. M. (2018). Aguas residuales. 2018: TESIS

¹⁶ MARIN GALVIN, Rafael. Microbiología de las aguas. 2014

¹⁷ MARTINEZ ROMERO. Revisión del estado actual de la industria de curtiembres en sus procesos y productos. Análisis de su competitividad. 2016

que tienen, los ríos para poder auto-depurarse. Esto es una serie de procesos naturales que se encargan de extraer los contaminantes a medida que el agua fluye, estos procesos se dividen en 3 principalmente:

- Procesos físicos. Que incluyen la sedimentación, la radiación solar y a aireación.
- Procesos químicos: Oxidación de sustancias inorgánicas disueltas.
- Procesos biológicos: Degradación de la materia orgánica a cargo de microorganismos.¹⁸

5.1.6. CARACTERISTICAS Y PARAMETROS DEL AGUA

Los parámetros básicos a nivel de calidad del agua, se determinan de acuerdo con el análisis fisicoquímico o bacteriológico, cada uno descritos a continuación:

PH: Se usa para determinar la acidez o alcalinidad del agua y muestra residual en estudio. El indicador varía de 0 a 14, siendo 7 el rango promedio (neutral). Un pH menor indica acidez, mientras que un pH mayor a 7, indica que el agua es básica.

Temperatura: Cuando se determina este parámetro, se estudia la capacidad que tiene el agua para conservar oxígeno, que organismos pueden tolerar diferentes contaminantes y la reproducción de microorganismos; Influye en la calidad del agua debido a la determinación de varias propiedades como la viscosidad y solubilidad a grandes rasgos. Puede ser usado en el estudio de diferentes tipos de aguas naturales, efluentes, industriales y domésticas.

Turbidez: Es el resultado de la suspensión de materia fina orgánica e inorgánica en el agua, la cual es medida de forma indirecta a partir de un rayo de luz que es emitido a través de una muestra de agua. La determinación de turbiedad es de gran importancia en aguas para consumo humano y en un gran número de industrias.

¹⁸ MOLERO FERNANDEZ, J. (s.f.). *LA AUTODEPURACION EN LAS CORRIENTES DE AGUA*. ESPAÑA. Obtenido de: www.academia.edu/10016236/La_autodepuraci%C3%B3n_en_las_corrientes_de_agua

O₂ disuelto: Cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua para determinar qué grado de contaminación o que tan buena calidad tiene y se determina de acuerdo a la solubilidad del gas, la presión parcial del gas en la atmósfera, la temperatura, y la pureza del agua (salinidad, sólidos suspendidos).¹⁹

Demanda Química de Oxígeno (DQO): En este ensayo se determina la cantidad de oxígeno necesario para que el agua realice su proceso de oxidación de materia orgánica, con unas exigencias específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. Mide la cantidad de compuestos orgánicos, sulfuros ya sean o no biodegradables.

Demanda biológica de oxígeno (DBO): Regula la cantidad de oxígeno disuelto consumido, con una serie de condiciones definidas por la oxidación microbiológica de la materia orgánica presente en el agua. Generalmente se usa el ensayo DBO₅ donde se desarrolla en etapas de cinco días de incubación, se realizado en la oscuridad para prevenir la actuación en la generación de oxígeno de los productores primarios ya que desviarán los resultados obtenidos inicialmente.

Los factores DBO y DQO facilita diversa información, por lo tanto, se usan los dos parámetros. Cuando DBO sobre DQO es menor a 0,2 resalta un vertido generalmente industrial, a comparación con este indicador mayor a 0,6 el vertido es de aguas residuales orgánicas domésticas, restos alimenticios, entre otros.

Coliformes: Hacen parte de una familia de bacterias específica que se encuentran generalmente en las plantas, suelos, seres vivos. Cuando están presentes se detecta la contaminación con aguas negras o desechos en descomposición. Están presentes en mayor volumen en la superficie o sedimentación de este. Los residuos domésticos sanitarios son los principales riesgos por presencia de microorganismos que afectan la salud humana.²⁰

Sólidos suspendidos totales: A consecuencia del impacto que genera los

¹⁹ RODRÍGUEZ M., Carlos Hernán. IDEAM. GRUPO DE LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL. Obtenido IDEAM.GOV.CO: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno.pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>. 2007

²⁰ RAMOS-ORTEGA, Lina María; UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA. *Análisis de la contaminación microbiológica (Coliformes totales y fecales) en la bahía de santa marta*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v13n3/v13n3a7.pdf>, Santa Marta, 2008.

vertimientos domésticos e industriales principalmente por la actividad que se desarrolla en el municipio de Villapinzón, donde vierten al río estos desechos sin tratamiento alguno, producen un nivel crítico de oxígeno y sólidos suspendidos. Los sólidos suspendidos están compuestos por diferentes tipos de materiales, como material flotante, coloidal, sedimentable, y en solución, así mismo son transportados por la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua.

Conductividad eléctrica: Se proporciona de acuerdo con la propiedad que conllevan las soluciones acuosas para conducir corriente eléctrica. Dependen de la presencia de iones cargados positivamente y negativamente, concentración, movilidad, temperatura, entre otros.²¹

5.1.7. PARAMETROS DE ESTUDIO

NITRATOS Y NITRITOS: Los nitratos y nitritos retribuyen a la composición de la oxidación del nitrógeno; El nitrato por su parte, compuesto por tres átomos de oxígeno, uno de nitrógeno y una carga negativa (NO^-) en relación con la radiación luminosa sobre estos; Hace parte del proceso natural del nitrógeno y es un compuesto fundamental en el desarrollo de las plantas. Cuando se obtiene los niveles máximos de este compuesto en el agua, puede dar un alto impacto a la salud y la calidad ambiental. Esta aglomeración es considerable para su eutrofización, siempre y cuando conserve los niveles adecuados, de lo contrario produciría un crecimiento desmedido de las algas.

Además de esto, los nitritos (NO_2^-), aparte de relacionarse igualmente con el ciclo del nitrógeno, su presencia es considerada como señal de contaminación, por su derivación de la materia orgánica desechada a las cuencas. Estos se conforman durante la biodegradación de los nitratos o diferentes compuestos derivados del nitrógeno.

Los criterios para evaluar la calidad del agua, respecto a estos parámetros son expresados como valor admisible, en nitritos de 0.2mg/L y en nitratos 10 mg/L, al sobrepasar estos valores dados da una consecuencia desfavorable para la salud humana.²²

²¹ RODRIGUEZ M. Carlos Hernán. IDEAM. Grupo de laboratorio de calidad ambiental, 2007.

²² SIMAL, J., LAGE, M., & IGLESIAS, L. (s.f.). Los nitritos y nitratos en las aguas: su origen, propiedades y toxicología. La Coruña, España: colaboraciones.

FÓSFORO TOTAL: El fósforo también conocido como fosfato, es un nutriente que impulsa y controla el desarrollo de las plantas, por condiciones y manejos inadecuados de detergentes que tienen gran cantidad de fósforo en las aguas residuales puede causar un crecimiento desmesurado de las plantas, por lo cual contribuye a una mala calidad del agua.

En el desarrollo del ensayo de fósforo total, se toma una muestra sin filtrar donde están presentes todas las combinaciones de fósforo con materia orgánica, para esto es necesario que la muestra pase por un procedimiento que sea capaz de oxidar esta materia orgánica y así poder determinar la concentración de fósforo total.

En el proceso de análisis de la muestra se desarrollan dos pasos generales:

- Conversión de la forma de fósforo total a ortofosfato disuelto.
- Determinación colorimétrica del ortofosfato disuelto.

Algunos métodos para desarrollar y determinar los fosfatos en el agua son los siguientes:

- Determinación de fosfatos por colorimetría (método amarillo del ácido vanadomolibdofosfórico). La intensidad del color amarillo es proporcional a la concentración de fosfatos.
- Determinación de fosfatos por colorimetría (método azul del ácido ascórbico). Este método se aplica a la determinación de (P) inorgánico u ortofosfato.
- Método colorimétrico del fósforo total. la concentración de hierro en agua potable debe ser menor de 0,3 mg/L y para fosfatos la cantidad admisible debe ser de 0.5 mg/L.²³

5.1.8. RELACIÓN ANTE LOS ENSAYOS DE ESTUDIO:

²³ SÁNCHEZ SALAZAR, A. F. Validación de las técnicas hierro total y fosfatos en agua. Pereira. (2011).

Los parámetros de fósforo total, nitratos y nitritos, son necesarios para el monitoreo y control de la calidad del agua, evaluar el estado de degradación, recuperación de las corrientes en el río Bogotá su cuenca alta, estimando la afectación recibida por estos parámetros ante los vertimientos por usos domésticos e industriales.

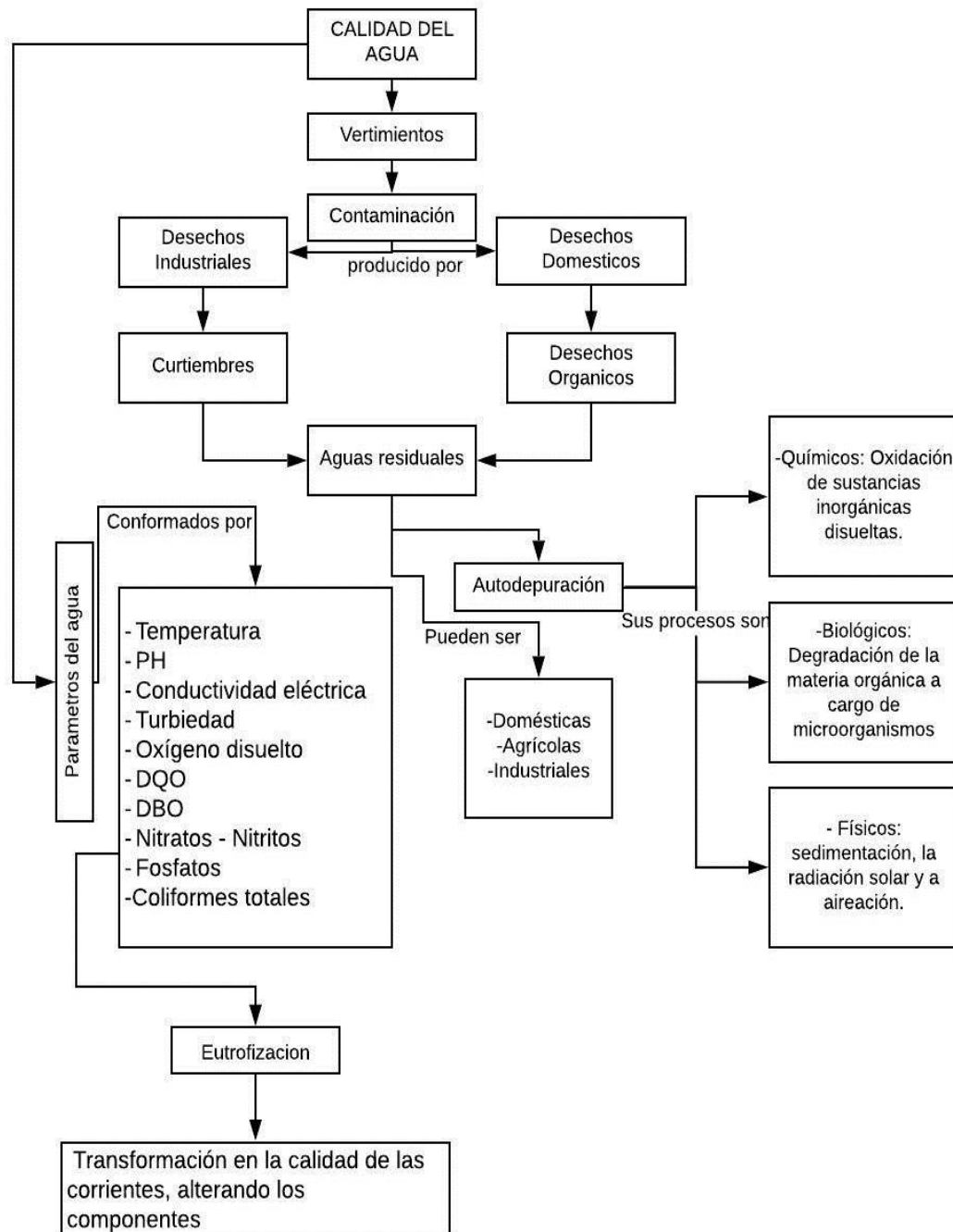
El parámetro de estudio (Nitrito) es un proceso químico que al estar en contacto con el agua se oxida, y se disuelve en el medio inorgánico consumiendo el oxígeno disuelto con rapidez a comparación de las del medio orgánico. Cuando hace presencia el oxígeno disuelto los seres vivientes del medio se alimentan de este elemento para que la materia orgánica se oxide y descomponga cada vez a partículas microscópicas para llegar a su mineralización aportando sustancias como el nitrato, fosfato, entre otros y así crean su propia materia viva. Estos es una degradación de componentes anaerobio. Por todos estos procesos se señala que la autodepuración no es solo la descomposición de la materia orgánica, sino es solo un paso para crear nueva materia viva hacia el medio.

En las aguas residuales por lo general se encuentra presente una materia denominada amonio que es producida por los desechos de los animales y debe ser eliminado para este proceso de depuración en aguas residuales, para esto, es necesario la presencia de oxígeno, lo cual reacciona y se desarrolla una transformación a nitritos y luego a nitratos lo cual es menos nocivo para la biodiversidad de la cuenca.

5.2. MARCO CONCEPTUAL.

En la presente investigación se estudiara el proceso de contaminación con respecto al fosforo, los nitratos y nitritos presentes, para aportar información a la modelación del cálculo del potencial de autodepuración del agua.

Figura 4. Mapa conceptual calidad de agua



Fuente: Propia

6. OBJETIVOS

6.1. GENERAL

Determinar el estado actual de la calidad del agua en la cuenca alta del río Bogotá, en un tramo de 10 km de estudio, partiendo aguas abajo del municipio de Villapinzón y el impacto generado por los desechos industriales y domésticos que resumen el río, estableciendo así los avances positivos o el retroceso que ha sufrido en los últimos años, dando un aporte significativo de parámetros al desarrollo de la determinación del potencial de autodepuración de los ríos.

6.2. ESPECÍFICOS

- Reconocer el proceso del tratamiento natural de algunos contaminantes en el río en estudio, y la interacción del fósforo, los nitritos y nitratos en procesos de contaminación de recursos hídricos.

- Analizar las características físicas, químicas y biológicas del tramo en estudio por medio de parámetros como el fósforo total, la variación de nitratos y nitritos asociados y así cuantificar las concentraciones actuales de dichos contaminantes y microorganismos.

- Comparar los resultados obtenidos, teniendo en cuenta estudios previos realizados en este cuerpo de agua y establecer el avance o retroceso que ha sufrido el río materia de impacto ambiental en los últimos años.

7. ALCANCES Y LIMITACIONES.

El presente proyecto, busca dar un indicativo acerca del estado actual de la calidad del agua en la cuenca alta del río Bogotá, desde aguas abajo del municipio de Villapinzón con un recorrido de 10 km hacia Chocontá, analizando los contenidos de fósforo total, nitratos y nitritos presentes en el agua, por medio de muestras y ensayos de laboratorio, con el fin de cuantificar los niveles de concentración de estos elementos presentes, a raíz de los vertimientos que se presentan sobre el cauce del río en cuestión, proporcionando información detallada, para desarrollar una modelación de control, monitoreo y comportamiento fisicoquímico de los contaminantes en las corrientes superficiales, determinando su potencial de autodepuración.

Debido al tiempo de desarrollo del proyecto investigativo y a la metodología final, para generar la modelación sistemática, a fin de evaluar el potencial de autodepuración de las corrientes superficiales, se realizará únicamente la investigación necesaria para llegar a tal fin, recolectando información de la cuenca, sus actividades contaminantes al momento del vertimiento en el cauce, problemáticas, mediciones en campo, y cuantificación de resultados en un tramo descrito anteriormente, para proporcionar los resultados obtenidos al desarrollo del proyecto.

De igual manera, para las labores realizadas en el laboratorio, fue necesario contar con el apoyo de las instalaciones de la Pontificia Universidad Javeriana, ya que la Universidad Católica de Colombia no cuenta con los equipos y certificaciones necesarias para realizar los ensayos y obtener resultados confiables.

De acuerdo a la norma que regula el tema ambiental concerniente a recursos hídricos, establecida por la CAR, no es posible determinar si los valores registrados de fósforo total, están generando un impacto negativo o positivo, ya que no es un parámetro considerado en la determinación de la calidad de agua, para las clases I y II, definidas en la norma.

8. METODOLOGÍA

Con el fin de determinar el estado actual de la calidad del agua en la cuenca alta del río Bogotá, por medio del presente proyecto investigativo se realizó una revisión temática en pro del fortalecimiento y mejora de la información referida al tema de calidad del agua en la cuenca, y un aporte en cuanto a la definición del proceso autodepurativo e interactivo de nutrientes en el cuerpo del río. De acuerdo a lo anterior el presente proceso investigativo tuvo como fundamento principal el análisis de los factores circundantes que tienen que ver directamente con el estado actual del río, en lo referido al contenido de nutrientes, identificando las principales fuentes emisoras de estos y a través de mediciones desde aguas abajo del municipio de Villapinzón, establecer las concentraciones actuales de los parámetros en mención.

Para el desarrollo de los determinantes y obtención de resultados de los parámetros en estudio, se llevó a cabo el proceso en un tramo dentro de 10 km de la cuenca alta de río Bogotá, aguas abajo de Villapinzón, bajo el desarrollo de 4 fases aplicativas en la recolección y análisis de los mismos.

8.1. FASE I: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

El proceso recopilatorio, involucró la revisión de diferentes bases de datos pertenecientes a entidades estatales, artículos científicos, entre otros, en búsqueda de los temas necesarios, con el fin de dar un enfoque objetivo a la resolución de problema planteado.

Así mismo en la ejecución de las labores de campo, se llevó a cabo la visita de reconocimiento visual del sitio indicado (Anexo C), para la medición de los parámetros en estudio, en un tramo comprendido entre el municipio de Villapinzón y Chocontá, ilustrado en la figura 5

Figura 5. Tramo Villapinzón- Chocontá



Fuente: Google Maps - Propia

De acuerdo al análisis informativo y de la región, la población de Villapinzón no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales y se prevé su futura construcción hasta el año 2020²⁴, además que está presente dentro de un lugar de fuerte presencia agrícola y desarrollo industrial, lo convierte en un punto que ofrece las características adecuadas para el desarrollo del proyecto, de acuerdo al impacto significativo entre los tramos de estudio para la medición de la calidad del agua.

8.2. FASE II: TRABAJO EN CAMPO

El trabajo de campo se realizó, basados en la recolección de muestras en el tramo de 2 km, comprendido en el municipio de Villapinzón a 10 km de Chocontá, estableciendo puntos de registro necesarios para la determinación de las concentraciones de los parámetros técnicos establecidos.

- Registro de datos en campo, para determinar de los parámetros (Nitritos, nitratos y fosforo total) en el rio Bogotá cuenca alta.

²⁴ REVISTA SEMANA SOSTENIBLE. Urgen plantas de tratamiento en la cuenca alta del rio Bogotá. Abril 2019

- Recolección de las muestras de agua en la cuenca alta del río Bogotá en 2 puntos seleccionados mostrados en la Figura 6 y Figura 7 respectivamente, dentro de los 10 km aguas abajo de Villapinzón, con diferencia entre estos de 2 km aproximadamente, para el análisis de las mismas en el laboratorio certificado.

- Toma de muestras:
 - Preparación de equipo instrumental pertinente para la recolección de las muestras
 - Etiquetado de los frascos contenedores y nevera refrigerante.

En la toma de muestras, se seleccionaron 2 puntos de muestreo sobre la corriente superficial en el km 4 Chocontá- Villapinzón aproximadamente, los cuales se definieron como punto 1, al punto inicial de la toma, donde no hay presencia de cultivos y punto 2 al punto final después de la vereda Retiro de blancos.

Se realizaron 6 muestreos en cada punto de referencia, durante 3 horas distribuidos en las tablas 7 y 8 respectivamente. El tipo de muestreo realizado es de manera puntual y superficialmente, con volúmenes comprendidos entre 300ml y 500ml.

Cada recipiente de color ámbar (Anexo C) fue purgado con el agua superficial del mismo punto de toma, para luego hacer la respectiva recolección con una muestra representativa para cada punto de análisis, siendo seleccionado en la parte media del ancho superficial de la corriente (Figura 6)

Figura 6. Punto 1 para toma de muestras



Fuente: Propia

- Recolección de 6 muestras en punto inicial, tomadas con intervalos de 30 minutos cada una, como se indica en la Tabla 7.

Tabla 7. Toma de muestras punto inicial

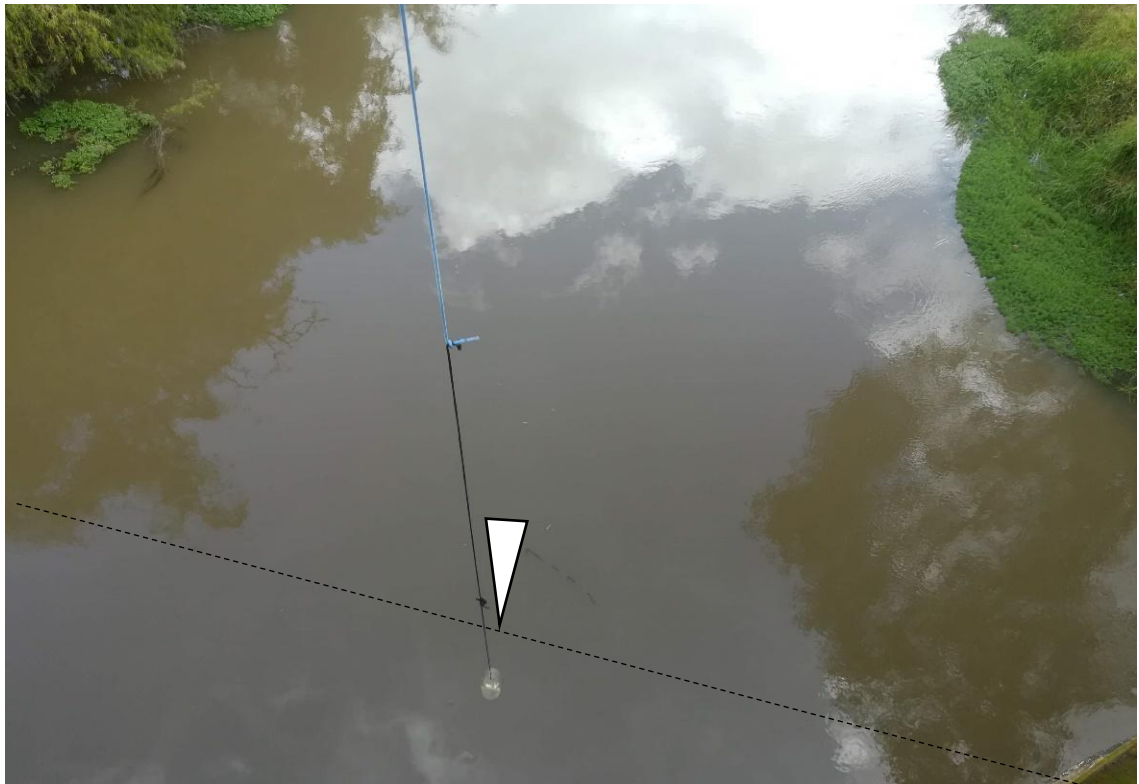
IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA	HORA DE RECOLECCIÓN
1-1	11.30
1-2	12.00
1-3	12.30
1-4	13.00
1-5	13.30

1-6	14.00
-----	-------

Fuente: Propia

En la figura 7, se ilustra el punto 2 de la toma de muestras, realizando el mismo procedimiento anteriormente mencionado para el punto 1, con su correspondiente técnica de purificación de recipientes y llenado con muestras al nivel medio de la corriente superficial en los mismos tiempos ejecutados y señalados en la tabla 8.

Figura 7. Punto 2, para toma de muestras



Fuente: Propia

- Recolección de 6 muestras en punto final, tomadas con intervalos de 30 minutos cada una, como indica la Tabla 8.

Tabla 8 Toma de muestras punto final

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA	HORA DE RECOLECCIÓN
2-1	11.30
2-2	12.00
2-3	12.30
2-4	13.00
2-5	13.30
2-6	14.00

Fuente: Propia

- Transporte de las muestras

Posteriormente las muestras son transportadas directamente al laboratorio de la Pontificia Universidad Javeriana para su análisis, en los recipientes de vidrio ya mencionados, con su respectiva refrigeración en la nevera para prevenir la conversión bacteriana.

- Ejecución de ensayos

En el laboratorio de la Pontificia Universidad Javeriana, se llevó a cabo los 3 ensayos, para determinar los niveles que se encuentran contenidos en las muestras tomadas del tramo en estudio, de la cuenta alta de río Bogotá, dando a conocer los procedimientos ejecutados para obtención de resultados de las concentraciones de nitratos, nitritos y el fósforo total, teniendo en cuenta las técnicas y métodos propuestos en la Tabla 9.

Tabla 9. Ensayos y técnicas en parámetros

PARÁMETROS	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO
Nitratos	mg NHO ₃ /L	Colorimétrico	SM 4500 NO ₃ -B
Nitritos	mg NHO ₂ /L	Colorimétrico	SM 4500 NO ₂ -B
Fosforo total	mg P/L	Ácido ascórbico	SM 4500 P-E

Fuente: Pontificia Universidad Javeriana, laboratorio de pruebas y ensayos

8.3. FASE III. RESULTADOS

El procedimiento experimental que se llevó a cabo con las muestras tomadas en campo, se emplearon las instalaciones de la Pontificia Universidad Javeriana de Colombia, donde haciendo uso de los laboratorios y equipos debidamente certificados (Anexo D) se determinaron los resultados expuestos a continuación.

Teniendo en cuenta que, dentro del marco de análisis del proyecto “DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE AUTODEPURACIÓN DE CORRIENTES SUPERFICIALES A NIVEL DE CUENCA”, se adelantaron dos campañas, Véase Anexo A y B (Campaña y 1 y 2), de esta manera los resultados obtenidos en estos, serán material de apoyo en el estudio del comportamiento de los niveles de nutrientes en los cuerpos hídricos.

Para el tramo de estudio sobre la cuenca alta del río Bogotá, se presentan los datos y los resultados obtenidos de la campaña 3 (Tabla 7), para analizar los contenidos de los parámetros de estudio del Río Negro con el Río Bogotá.

Tabla 10. Resultados campaña 3 (Cuenca alta del río Bogotá)

Cód. muestra	Referencia	Fecha de muestreo	Fecha de análisis	Fosforo total mgP.PO4/L	Nitritos mgN-NO2/L	Nitratos mgN-NO3/L
Punto 1-1	045-1	29/09/2019	1/10/2019	1,216	0,37	0,2
Punto 1-2	045-2	29/09/2019	1/10/2019	1,338	0,11	0,3
Punto 1-3	045-3	29/09/2019	1/10/2019	1,039	0,52	0,8
Punto 1-4	045-4	29/09/2019	1/10/2019	1,299	0,10	0,2
Punto 1-5	045-5	29/09/2019	1/10/2019	1,496	0,11	0,5
Límite detectable				0,007 mg/L	0,5 mg/L	0,5 mg/L
Promedios				1,2776	0,24	0,40

Fuente: Laboratorio Pontificia Universidad Javeriana.

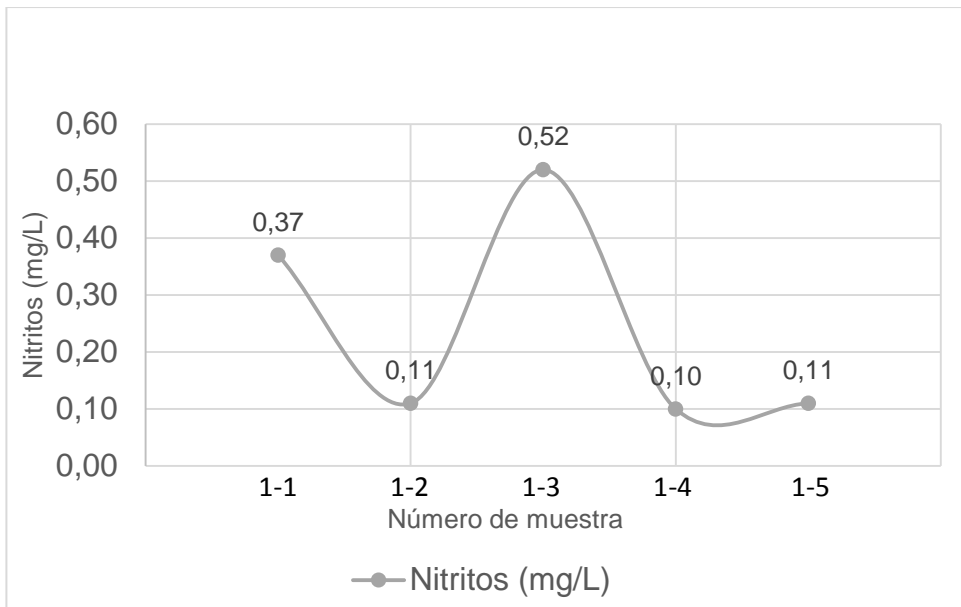
8.4. FASE IV. ANALISIS E INTERPRETACION DE DATOS

Teniendo en cuenta los ensayos realizados, se puede determinar que en la cuenca alta del río Bogotá, de acuerdo a los datos registrados y los niveles máximos permitidos, se presenta una variación constante en cuanto a los contenidos nutrientes en el río, establecidos por la CAR en el acuerdo 43 del 15 de Octubre de 2007.²⁵, de este modo este cuerpo hídrico califica dentro de la categoría Clase II, (Véase en la tabla 2, los valores máximos que se pueden obtener), el tramo del río Bogotá desde el casco de Villapinzón hasta la desembocadura del río Sisga.

En los estudios realizados en el tramo de estudio, para el parámetro nitrito, se exponen para los 2 puntos intervenidos, durante el recorrido del río como se observa en la gráfica 4 y 5 respectivamente.

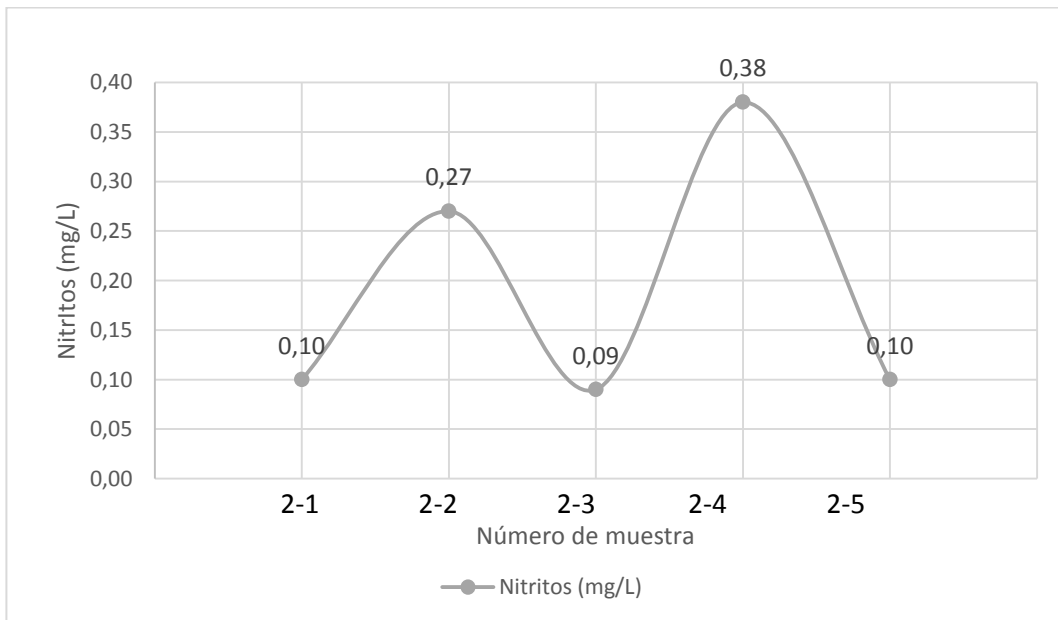
²⁵ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA – CAR, Acuerdo Número 43 Del 17 De Octubre De 2006 “Por el cual se establecen los objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020” Disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ad-a10b9602b4.pdf>

Gráfica 4. Niveles de nitritos registrados en el punto # 1



Fuente: Propia

Gráfica 5. Niveles de nitritos registrados en el punto # 2



Fuente: Propia

El área de influencia en la cual está contenido el tramo de análisis, aporta contenidos nutrientes provenientes de las principales actividades que se desarrollan en dicha zona, estas actividades se encuentran relacionadas con el ejercicio económico y urbano de la región. Así en el ámbito urbano, partiendo del hecho de la ausencia de plantas de tratamiento de aguas residuales, como ocurre en el municipio de Villapinzón, y de ubicar el tramo de estudio en la parte inicial del río, antes de comenzar su paso por la ciudad de Bogotá, es posible establecer de acuerdo a las concentraciones observadas para el punto #1 de muestreo, donde se registraron valores superiores en promedio respecto al punto #2, que la ausencia de plantas depuradoras, genera niveles mayores de concentración de nitritos respecto a las condiciones naturales del río, esto como consecuencia de la presencia de materia fecal y orina en el cuerpo hídrico, pues según la revista científica Eautarcie²⁶, el contenido de nitrógeno presente en las heces fecales y orina oscila entre un 35% y 65% respectivamente, lo que induce el aumento de nutrientes.

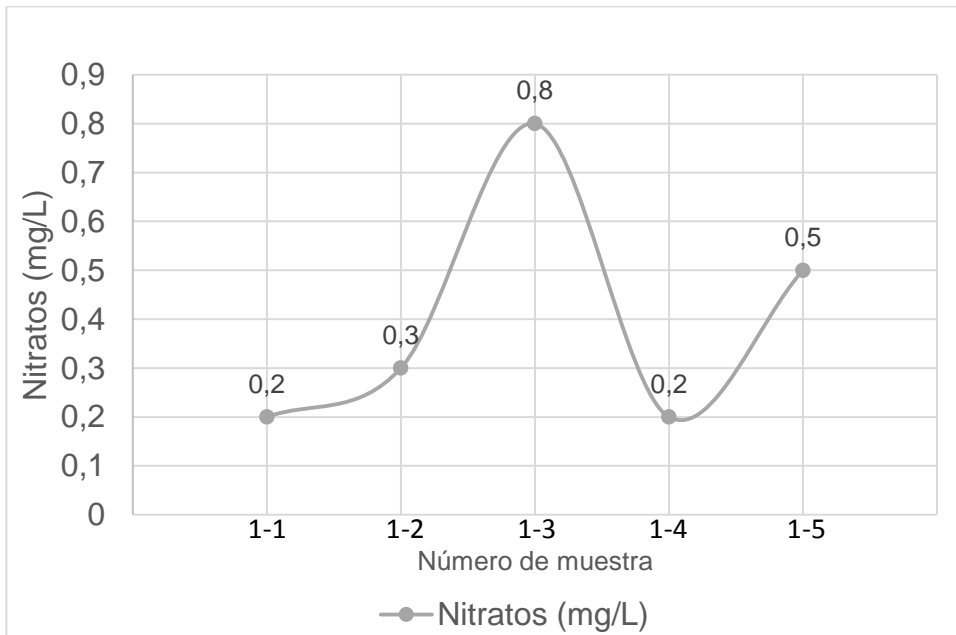
En el proceso interactivo de componentes químicos en el cuerpo del río, el nitrógeno inicialmente llega hasta la fuente hídrica en forma de amoníaco, a través de, desechos fecales por ausencia de las plantas depuradoras, materia orgánica en descomposición, animales muertos, entre otros productos derivados de actividades agrícolas e industriales desarrolladas en esta zona del río (químicos fertilizantes), una vez allí, debe empezar su proceso de tratamiento natural por medio de bacterias oxidantes capaces de transformar los productos iniciales en compuestos más simples por medio de bacterias en la etapa de nitrificación, así este proceso consiste básicamente en la oxidación del producto inicial, trabajo en el cual la población bacteriana por medio del oxígeno transforma el amoníaco en nitritos y nitratos, por ende este proceso guarda relación directa con el contenido de oxígeno disuelto presente en el agua.

De acuerdo a lo anterior y teniendo en cuenta el artículo “urgen plantas de tratamiento en la cuenca alta del río Bogotá”²⁷ publicado por la revista semana en el primer semestre del año, donde se hace referencia a los bajos contenidos de oxígeno presentes en la cuenca alta del río Bogotá los cuales tienden a cero, es claro que el proceso de interacción de nutrientes no se efectúe de la manera más eficiente, ya que existiría una relación en la cual la proporción tanto de oxígeno como de bacterias nitrificantes y los desechos involucrados logren un compartimiento armónico.

²⁶ EAUTARCIE, La gestión sostenible del agua en el mundo, composición química de las heces. 2017. Disponible en: <https://www.eautarcie.org/es/05e.html>

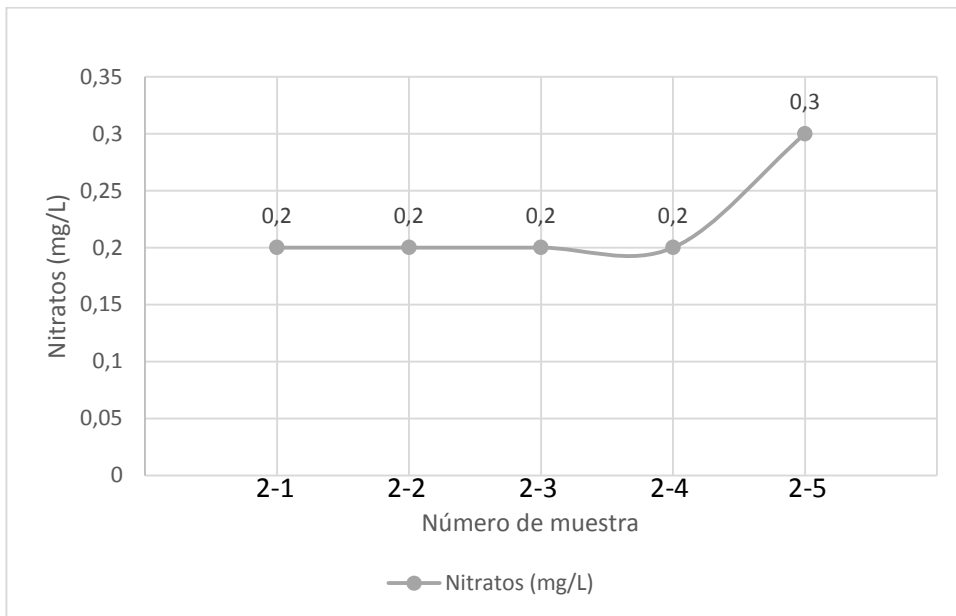
²⁷ SEMANA SOSTENIBLE. Urgen plantas de tratamiento en la cuenca alta del río Bogotá. 2019 Disponible en <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/urgen-plantas-de-tratamiento-en-la-cuenca-alta-del-rio-bogota/43629>

Gráfica 6. Niveles de nitratos registrados en el punto # 1



Fuente: Propia

Gráfica 7. Niveles de nitratos registrados en el punto # 2

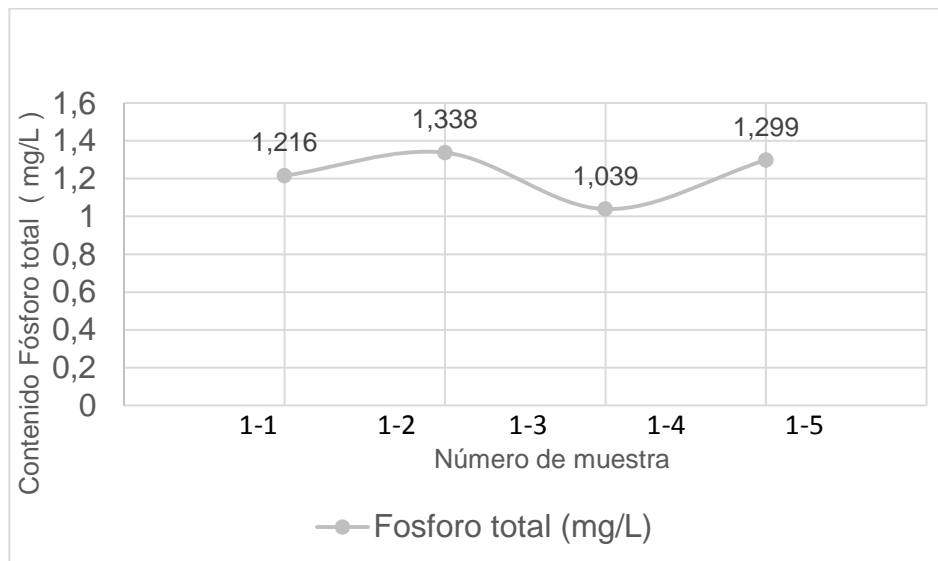


Fuente: Propia

La disposición de nitratos que se encuentran disueltos en las aguas superficiales, son efecto natural del ciclo del nitrógeno, acorde a determinadas zonas se puede evidenciar el cambio de las concentraciones y niveles de NO_3^- , la gráfica 5 representa el primer punto de mediación ante el desarrollo del estudio frente al parámetro, arrojando resultados con picos elevados respecto al horario de la toma de las muestras, aun así, siendo un nivel permitido respecto a las concentraciones máximas registradas por la CAR, debido principalmente al uso desmedido de abonos químicos, por aguas lluvia y posibles riesgos presentes, adicionalmente los residuos industriales, integran más contaminantes al recurso hídrico.

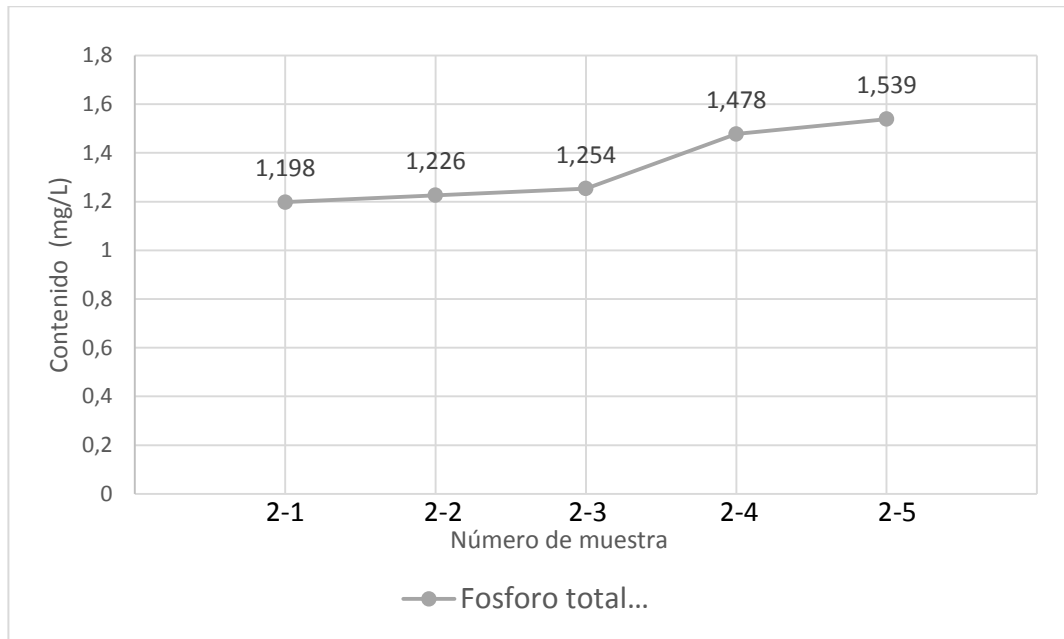
En los resultados obtenidos, se logran escalas apropiadas, por ende mejoran el crecimiento de las plantaciones, aumentan su utilidad y rendimiento; teniendo una particular tendencia en los resultados de la gráfica 7, demostrando que las aguas superficiales estudiadas no están contaminadas con NO_3^- . Como proceso final en el la etapa de transformación del nitrato en nitrógeno que vuelve nuevamente a la atmósfera, intervienen principalmente las bacterias desnitrificantes, las cuales interactuando con el oxígeno disuelto en el río logran completar el proceso mencionado, el bajo contenido de oxígeno no garantiza un proceso óptimo y como consecuencia de ello se da la tendencia de aumento en la concentración de estos nutrientes que inciden en la proliferación de algunas especies vegetales que pueden consumir aceleradamente el poco oxígeno restante y acarrear consecuencias tales como la generación de malos olores y la pérdida de vida acuática.

Gráfica 8. Niveles de Fosforo total registrados en el punto # 1



Fuente: Propia

Gráfica 9. Niveles de Fosforo total registrados en el punto # 2



Fuente: Propia

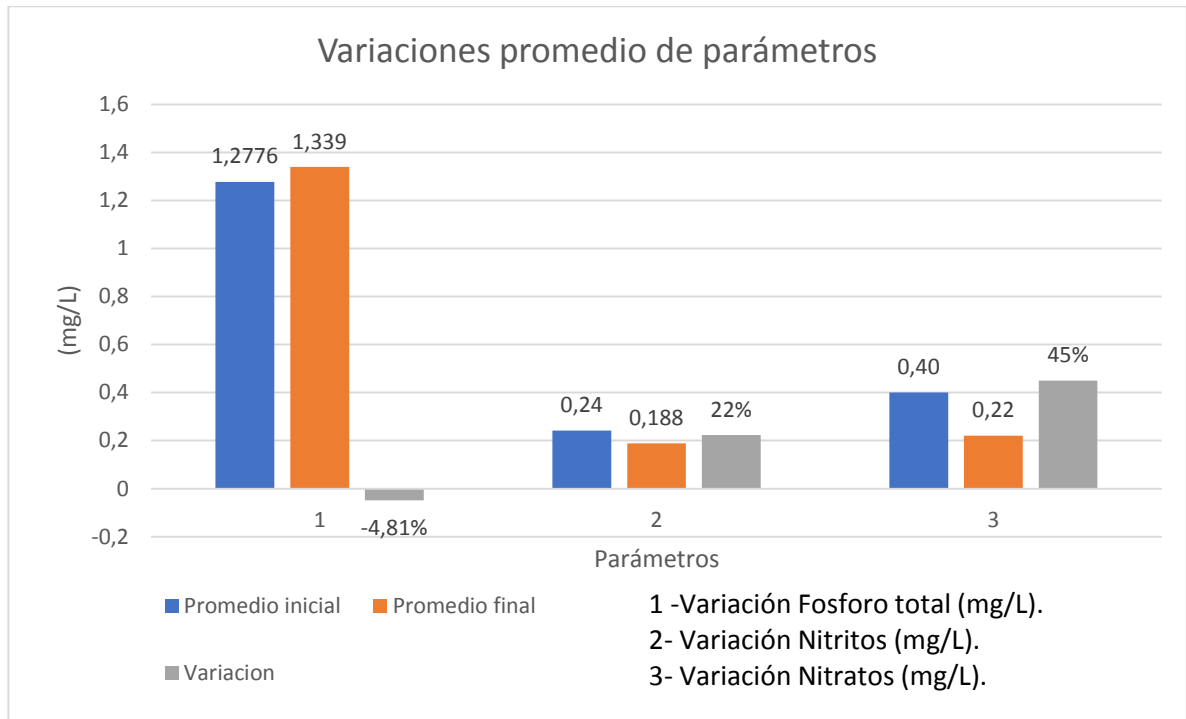
El fósforo total, siendo una dimensión del contenido biológico disponible en el medio y en la calidad del agua, arroja resultados de acuerdo a los datos registrados en las gráficas 8 y 9, donde se refleja una leve disminución de contenido en las dos primeras tomas del punto 1 al punto 2 respectivamente, seguido con un cambio de patrón, aumentando en las siguientes muestras, sin contener alteraciones representativas en los niveles de entrada y salida. Adicionalmente de acuerdo a las autoridades competentes para definir o reglamentar los límites permitidos no tienen conocimiento de lo establecido.

Tabla 11. Variación promedio de los parámetros analizados en el tramo de estudio

Variación promedio de los parámetros analizados en el tramo de estudio					
Parámetro	Promedio inicial (mg/L)	Promedio final (mg/L)	Variación l(mg/L)	Variación %	Observación
Fósforo total mgP.PO4/L	1,2776	1,339	-0,0614	-4,81%	Incremento
Nitritos mgN-NO2/L	0,24	0,188	0,054	22%	Disminución
Nitratos mgN-NO3/L	0,40	0,22	0,18	45%	Disminución

Fuente: Propia

Gráfica 10. Variación promedio de parámetros



Fuente: Propia

En la gráfica 10, se presenta el resumen de la interacción presente en el tramo analizado, evidenciando las variaciones positivas y negativas que se produjeron durante el recorrido del cauce.

9. CONCLUSIONES

- Se determinó el estado actual de la calidad agua con respecto a los parámetros nutrientes descritos anteriormente en la cuenca alta del río Bogotá, recopilando la información necesaria en los puntos críticos del tramo, teniendo en cuenta los valores máximos permitidos que se encuentran en el cauce, conforme al Acuerdo 43 del 17 de octubre de 2006, donde se permite analizar las concentraciones encontradas en el tramo.
- Los desechos que resumen en la cuenca alta del río Bogotá, son de importante manejo, ya que parten del uso desproporcionado de los residuos industriales, donde constituye en gran medida a la contaminación de los ríos, adicionalmente por los desechos agrícolas y vertimiento de curtiembres generadas entre el municipio de Villapinzón y Chocontá, así como desechos domésticos, que no son vigilados por un ente regulador además de no poseer una planta para tratar los mismos.
- A pesar de los bajos niveles de oxígeno disuelto que presenta el río Bogotá en su cuenca alta, los contenidos de nitritos y nitratos presentes, no exceden los valores permisibles que en la actualidad establece la norma con un valor máximo permitido de 10mg/L para nitritos y nitratos, de lo cual puede presumirse una interacción por lo menos aceptable en materia de nutrientes.
- Los nutrientes están siempre presentes en los cuerpos hídricos, y sus proporciones tienden por lo general a valores muy pequeños de concentración, pero pueden llegar a tener incidencias considerables con una variación del equilibrio, que puede estar ligado al contenido de oxígeno o a cargas muy altas de contaminantes que en consecuencia, pueden interrumpir la armonía y generar una exagerada producción de nutrientes lo cual trae consigo la proliferación de especies vegetales y la pérdida del cauce del río.
- El proceso autodepurativo de los ríos, establece condiciones en las cuales el río bajo determinadas cargas contaminantes puede llevar a cabo procesos de manera natural que permite la eliminación progresiva de dichas cargas y la correcta producción energética que necesitan las bacterias transformadoras. De acuerdo a lo anterior existen concentraciones sobre las cuales este proceso pierde su efectividad y por el contrario la tendencia autodepurativa del cuerpo hídrico se torna negativa. Por esta razón la acción conjunta entre plantas depuradoras y el potencial de autodepuración de los cuerpos hídricos debe ser

una estrategia fundamental en la recuperación de ríos contaminados buscando la implementación de esta infraestructura depuradora en donde el impacto ambiental sea considerable.

- De acuerdo a los análisis de resultados donde se compararon los valores obtenidos, partir del trabajo realizado en campo, y posterior análisis de laboratorio, se pudo establecer que en el tema de nutrientes, los valores en los últimos años, registrados por la CAR, no presentan variaciones representativas, aunque la tendencia es de aumento y los valores son mínimos.

10. RECOMENDACIONES

- El desarrollo del proyecto conlleva la realización de trabajos de campo, por tal razón la veracidad de los resultados obtenidos posteriormente en el laboratorio dependen, de adelantar una correcta ejecución de muestreo, almacenamiento, refrigeración y transporte de las muestras, por medio de una metodología acorde a las necesidades del caso que permita conservar las propiedades reales de las muestras.
- Se debe garantizar la disponibilidad de las instalaciones necesarias para adelantar los procedimientos y ensayos involucrados a la hora de analizar las muestras, como también contar con laboratorios debidamente certificados que ofrezcan confiabilidad en los resultados que se desea estimar.
- Implementar las medidas de seguridad necesarias, tanto en la toma de muestras, ya que se está tratando con materia altamente contaminada que constituye un riesgo biológico, como en la realización de los ensayos que conllevan la manipulación de muestras y algunos reactivos químicos.
- El presente proyecto, es una base y fuente de investigación para una futura modelación de la calidad del agua en corrientes superficiales a nivel de cuenca, para lo cual, es indispensable identificar el comportamiento de los procesos físicos y químicos dentro del cuerpo del río. De este modo, el proceso investigativo está ligado al análisis de los factores determinantes en el proceso autodepurativo, tales como parámetros de calidad del agua, dentro de los cuales están contemplados (Temperatura, pH, oxígeno disuelto, alcalinidad, sólidos suspendidos totales, DBO, DQO, coliformes totales, entre otros), dando como aporte los parámetros nutrientes como el nitrato, nitrito y fósforo total, complementando con la información de todos los parámetros necesarios para generar la evaluación de diferentes técnicas de inteligencia artificial, buscando opciones para obtener los mejores resultados del análisis del futuro cálculo del potencial de autodepuración del agua.

11. BIBLIOGRAFÍA

- ABELLA G, Johanna P., MARTÍNEZ C, María J. Contribución de un afluente tributario a la eutrofización del lago de tota (Boyacá, Colombia). En Revista Colombiana de Química, Volumen 41, nro. 2 DE 2012; Pág. 243-262.
- BARÓN, L. M. (2018). Aguas residuales. 2018: TESIS.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA – CAR, Acuerdo Número 43 Del 17 De Octubre De 2006 “Por el cual se establecen los objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020” Disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ad-a10b9602b4.pdf>
- DANE. (2013). Indicadores de la ILAC. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Ilac/Tasa_morbilidad_atribuible_enfermedades_origenhidrico13.pdf
- E.P.A. Environmental Protection Agency. Parameters of water quality Interpretation and Standards. (2001). Disponible en: https://www.epa.ie/pubs/advice/water/qua-lity/Water_Quality.pdf
- EAUTARCIE, La gestión sostenible del agua en el mundo, composición química de las heces. 2017. Disponible en: <https://www.eautarcie.org/es/05e.html>
- GÓMEZ DUARTE, Oscar. Revista “Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública”. (2018). Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revfacmed/article/view/70775/65742>
- HERNÁNDEZ H, Ana María, IDEAM. (2007). Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103-105. Bogotá. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>
- IDEAM. Fosforo total en agua por digestión ácida, método del ácido ascórbico. Bogotá. (2004). Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/F%C3%B3sforo+Total+en+Agua+M%C3%A9todo+del+Acido+Asc%C3%B3rbico.pdf/bf2f449b-4b9b-4270-b77e-159258d653e2>
- MARIN GALVIN, R. Microbiología de las aguas. (2014). Disponible en: <http://dct.digitalcontent.com.co/sview/?i=7252&p=1&idtienda=1&token=1A26B2DC-FCE9-46F9-B7F2-90A2E0F20ACB&code=4F9E0D2C-3E89-46EC-B501-489235-6E770A>
- MARTÍNEZ BUITRAGO, Sandra Yulier; ROMERO COCA, Jonathan Alexander.

Revisión del estado actual de la industria de las curtiembres en sus procesos y productos: Análisis de su competitividad. Bogotá. (26 de 10 de 2016). Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfce/v26n1/0121-6805-rfce-26-01-00113.pdf>

- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Avanza recuperación ambiental, social, cultural y económica del Río Bogotá. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/1782-avanza>
- MOLERO FERNANDEZ, J. (s.f.). *LA AUTODEPURACION EN LAS CORRIENTES DE AGUA*. ESPAÑA. Obtenido de: https://www.academia.edu/10016236/La_auto-depuraci%C3%B3n_en_las_corrientes_de_agua
- RAMOS-ORTEGA, Lina María. Universidad del Magdalena. Análisis de la contaminación microbiológica (Coliformes totales y fecales) en la bahía de santa marta. Santa Marta. (2008). Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v13n3/v13n3a7.pdf>
- REVISTA SEMANA SOSTENIBLE. Urgen plantas de tratamiento en la cuenca alta del río Bogotá. (2019/04/03). Disponible en: <https://sostenibilidad.semana.com-/medio-ambiente/articulo/urgen-plantas-de-tratamiento-en-la-cuenca-alta-del-rio-bogota/43629>
- RODRÍGUEZ M, Carlos Hernán. IDEAM. (28 de 12 de 2007). Grupo de laboratorio de calidad ambiental. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents-/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>
- TARRADELLAS, Joseph. IDEAM. Red de calidad del agua de los ríos. Suiza: FORAC/IDEAM. 2006. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/-openbiblio/bvirtual/020278/REDDECALIDADDELAGUA.pdf>
- SÁNCHEZ SALAZAR, Andrés Felipe. Química industrial. Pereira, 2011, p91. Validación de las técnicas hierro total y fosfatos en agua. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de tecnología. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2080/628162S211.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SIMAL, J., LAGE, M., IGLESIAS, L. Los nitritos y nitratos en las aguas: Su origen, propiedades y toxicología. Coruña, España. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/235698223_Los_Nitritos_y_Nitratos_en_las_aguas_Su_origen_propiedades_y_toxicologia

- SUAREZ, J, FERNÁNDEZ, N. UNIVERSIDADE DA CORUÑA. Modelos de calidad de aguas. Coruña. 2009. Disponible en: [ftp://ceres.udc.es/master en ingenieria del agua/master%20antigo antes%20del%202012/Segundo Curso/Modelos de Calidad de Aguas/material%202010-2011/MCA TEMA 5 complemento-1 materia organica desoxigenacion.pdf](ftp://ceres.udc.es/master%20en%20ingenieria%20del%20agua/master%20antigo%20antes%20del%202012/Segundo%20Curso/Modelos%20de%20Calidad%20de%20Aguas/material%202010-2011/MCA%20TEMA%205%20complemento-1%20materia%20organica%20desoxigenacion.pdf)
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Instituto de estudios urbanos. Disponible en: <https://www.institutodeestudiosurbanos.info/endatos/0100/0110/0-112-hidro/0112111.htm>
- UNESCO. 3er Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo: El agua en un mundo en constante cambio. Disponible en: [http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/wwap_WWDR3_Facts and Figures SP.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/wwap_WWDR3_Facts_and_Figures_SP.pdf)
- UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA. Base de datos PROQUEST biblioteca Universidad Católica de Colombia: Agriculture and elevation are the main factors for Pampasic stream habitat and water quality. Disponible en: <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/central/docview/2019265599/B336BE53C49D4853PQ/1?accountid=45660>
- UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA. Base de datos PROQUEST biblioteca Universidad Católica de Colombia: Nitrate removal to its fate in wetland mesocosm filled with sponge iron: Impact of influent COD/N ratio. Disponible en: <https://search-proquestcom.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/central/docview/2310415657/B614BF8ACD4946B6PQ/7?accountid=45660>
- UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA. Base de datos PROQUEST biblioteca Universidad Católica de Colombia: Using geographic information system (GIS) modeling in evaluation of canals water quality in Sharkia Governorate, East Nile Delta, Egypt. Disponible en: <https://search-proquest-com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/central/docview/2306790119/F1BED99BA2444A27PQ/33?accountid=45660>



Vanessa Vargas Galeano
Código: 503580



Sergio Andrés Maldonado
Código: 505180

ANEXOS

ANEXO A: Campaña 1

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS
INFORME DE ENSAYO

CÓDIGO ORDEN: 039-19 y 039(1)-19 PROYECTO: Desarrollo de un metodología para la evaluación de autodepuración de corrientes superficiales a nivel cuenca	CLIENTE: Universidad Católica de Colombia TELÉFONO: 3277300/3245
--	---

1. CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA

Muestra preservada para ensayos de aniones y sólidos totales

Temperatura (°C)	4°C
Volumen de muestra (L)	1000
Tipo de preservación	Refrigerado
Tipo de recipiente	Plástico

Muestras preservadas para ensayos de fósforo total y NTK

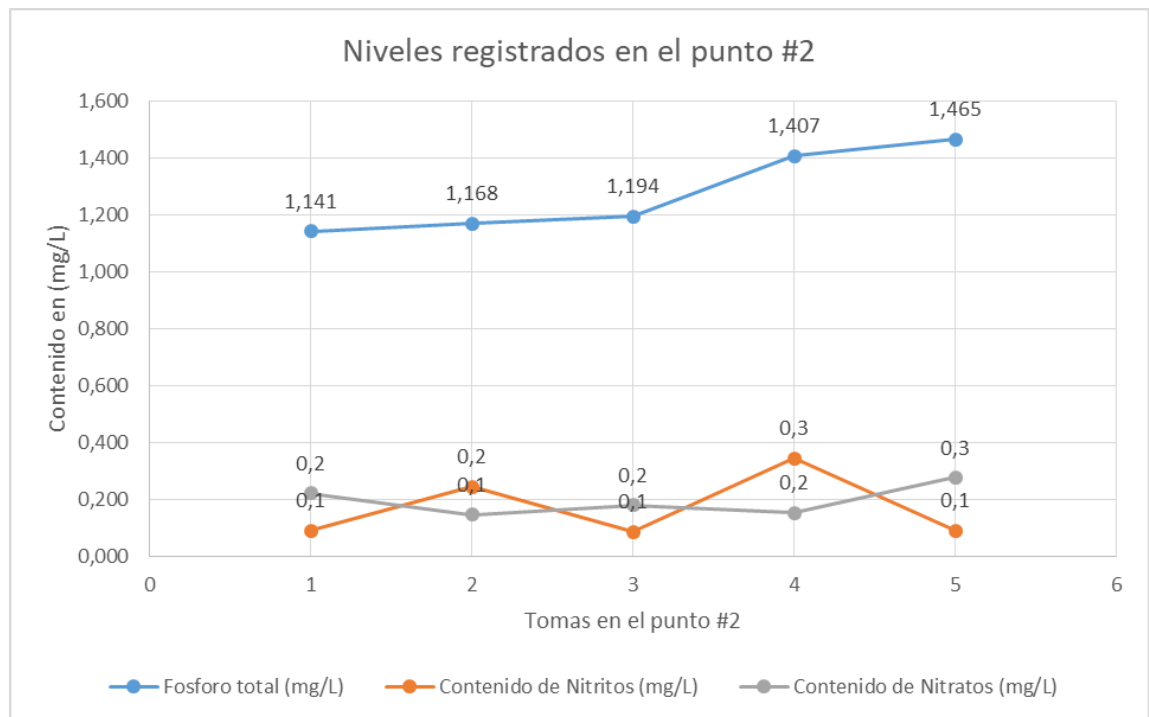
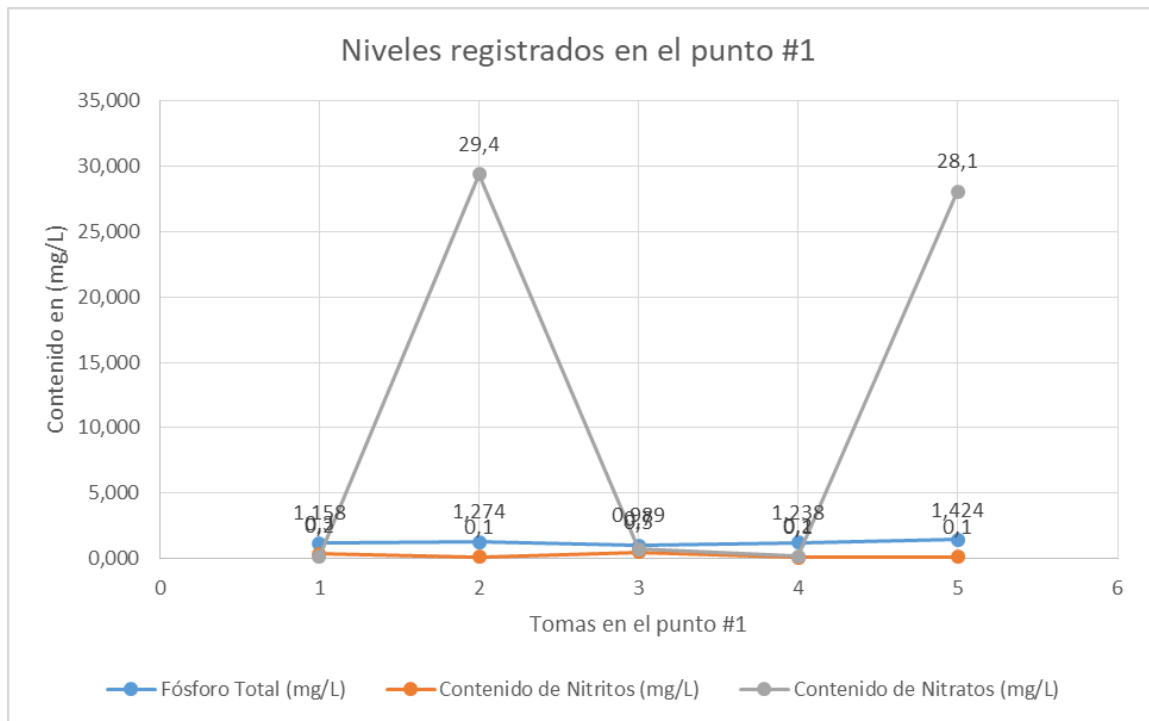
Temperatura (°C)	4°C
Volumen de muestra (L)	500
Tipo de preservación	H2SO4
Tipo de recipiente	Vidrio ámbar

CAMPAÑA UNO

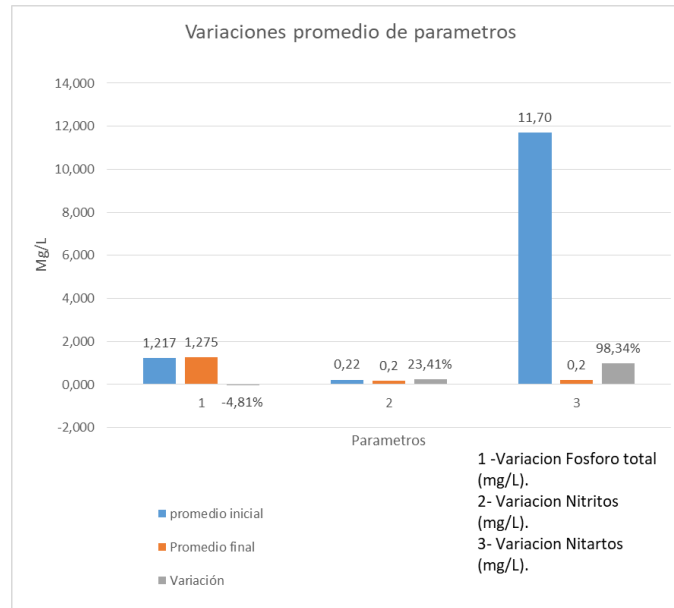
Código de muestras	Referencia	Fecha de muestreo	Fecha de recepción	Fecha de análisis	Fósforo total mgP-PO ₄ /L	Fecha de análisis	Cloruros mgCl/L	Nitritos mgN-NO ₂ /L	Nitratos mgN-NO ₃ /L	Fosfatos mgP-PO ₄ /L	Sulfatos mgSO ₄ /L
Punto 1-1	039-1	8/07/2019	9/07/2019	2019-07-17	1,158	2019-07-10	18,2	0,3	0,2	0,8	8,3
Punto 1-2	039-2	8/07/2019	9/07/2019	2019-07-17	1,274	2019-07-10	18,4	0,1	29,4	1,0	8,0
Punto 1-3	039-3	8/07/2019	9/07/2019	2019-07-17	0,989	2019-07-10	20,5	0,5	0,7	0,9	8,8
Punto 1-4	039-4	8/07/2019	9/07/2019	2019-07-17	1,238	2019-07-10	21,0	0,1	0,2	0,9	9,0
Punto 1-5	039-5	8/07/2019	9/07/2019	2019-07-17	1,424	2019-07-10	20,5	0,1	28,1	1,1	8,6
Punto 2-1	039-6	8/07/2019	9/07/2019	2019-07-17	1,141	2019-07-10	22,7	0,1	0,2	1,0	9,7
Punto 2-2	039-7	8/07/2019	9/07/2019	2019-07-17	1,168	2019-07-10	23,9	0,2	0,1	1,2	10,1
Punto 2-3	039-8	8/07/2019	9/07/2019	2019-07-17	1,194	2019-07-10	22,6	0,1	0,2	1,2	10,5
Punto 2-4	039-9	8/07/2019	9/07/2019	2019-07-17	1,407	2019-07-10	22,8	0,3	0,2	1,2	10,8
Punto 2-5	039-10	8/07/2019	9/07/2019	2019-07-17	1,465	2019-07-10	23,1	0,1	0,3	1,3	11,4
Limite detectable					0,007 mg/L		0,5 mg/L	0,5 mg/L	0,5 mg/L	0,5 mg/L	0,5 mg/L

Observación: Los análisis de las muestras Punto 1-1, Punto 1-2, Punto 1-5 sus resultados fueron verificados por solicitud del cliente, confirmando el valor obtenido inicialmente.

Los valores para los aniones que resultan por debajo del límite no se reporta <0,5 ya que el cliente solicita conocer el valor real obtenido en el equipo, debido a que son resultados que requiere para su proyecto. El laboratorio no se responsabiliza por valores inferiores al 0,5mg/L para estos resultados.

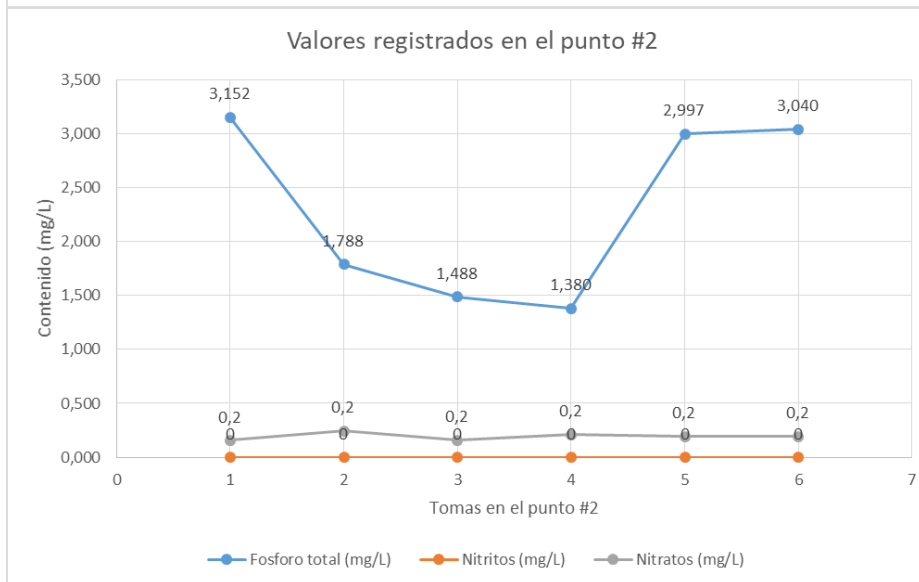
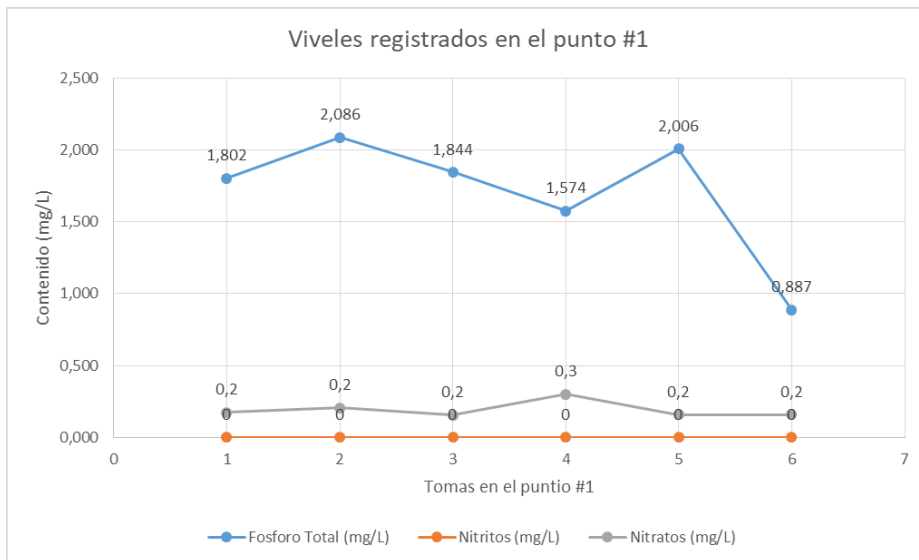


Variacion promedio de los parametros analizados en el tramo de estudio					
Parametro	promedio inicial (mg/L)	promedio final (mg/L)	variacion l(mg/L)	Variacion %	Observacion
fosforo total mgPO4/L	1,217	1,275	-0,059	-4,81%	incremento
Nitritos mgN-NO2/L	0,22	0,2	0,052	23,41%	disminucion
Nitratos mgN-NO3/L	11,70	0,2	11,507	98,34%	disminucion

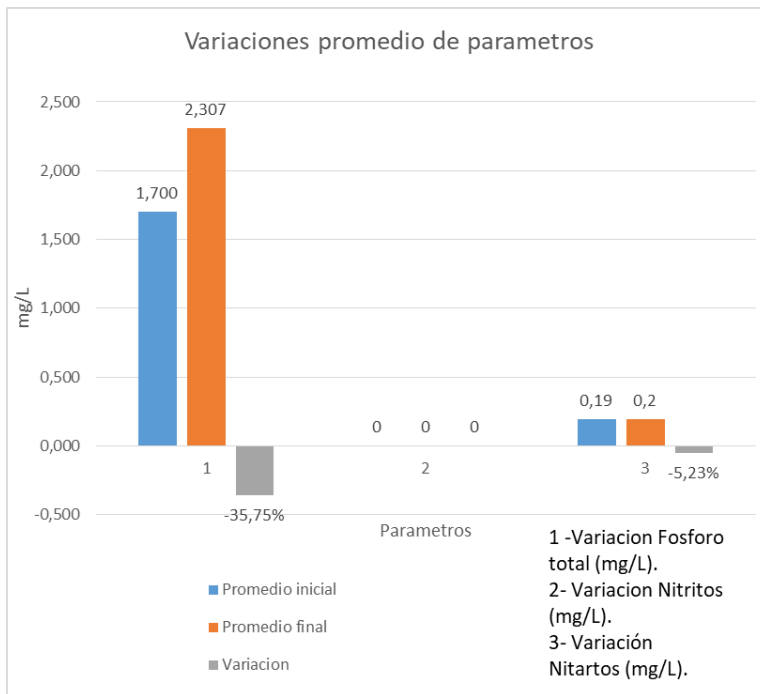


ANEXO B: Campaña 2

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS INFORME DE ENSAYO						
CÓDIGO ORDEN: 039-19 y 039(1)-19			CLIENTE: Universidad Católica de Colombia			
PROYECTO: Desarrollo de un metodología para la evaluación de autodepuración de corrientes superficiales a nivel cuenca			TELÉFONO: 3277300/3245			
1. CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA						
Muestra preservada para ensayos de aniones y sólidos totales						
Temperatura	(°C)	4°C				
Volumen de muestra	(L)	1000				
Tipo de preservación	Refrigerado					
Tipo de recipiente	Plástico					
Muestras preservadas para ensayos de fósforo total y NTK						
Temperatura	(°C)	4°C				
Volumen de muestra	(L)	500				
Tipo de preservación	H ₂ SO ₄					
Tipo de recipiente	Vidrio ámbar					
Código de muestras	Referencia	Fecha de muestreo	Fecha de recepción	Fósforo total mgP-PO ₄ /L	Nitritos mgN-	Nitratos mgN-NO ₃ /L
Punto 1-1	039-1-1	27/08/2019	28/08/2019	1,802	ND	0,2
Punto 1-2	039-1-2	27/08/2019	28/08/2019	2,086	ND	0,2
Punto 1-3	039-1-3	27/08/2019	28/08/2019	1,844	ND	0,2
Punto 1-4	039-1-4	27/08/2019	28/08/2019	1,574	ND	0,3
Punto 1-5	039-1-5	27/08/2019	28/08/2019	2,006	ND	0,2
Punto 1-6	039-1-6	27/08/2019	28/08/2019	0,887	ND	0,2
Punto 2-1	039-2-1	27/08/2019	28/08/2019	3,152	ND	0,2
Punto 2-2	039-2-2	27/08/2019	28/08/2019	1,788	ND	0,2
Punto 2-3	039-2-3	27/08/2019	28/08/2019	1,488	ND	0,2
Punto 2-4	039-2-4	27/08/2019	28/08/2019	1,380	ND	0,2
Punto 2-5	039-2-5	27/08/2019	28/08/2019	2,997	ND	0,2
Punto 2-6	039-2-6	27/08/2019	28/08/2019	3,040	ND	0,2
F1	039-F1	27/08/2019	28/08/2019	0,562	ND	0,3
V1	039-V1	27/08/2019	28/08/2019	0,853	ND	10,6
V2	039-V2	27/08/2019	28/08/2019		ND	20,2
Limite detectable				0,007 mg/L	0,5 mg/L	0,5 mg/L



Variación promedio de los parámetros analizados en el tramo de estudio					
Parametro	promedio inicial (mg/L)	promedio final (mg/L)	variación l(mg/L)	Variación %	Observación
fosforo total mgPO4/L	1,700	2,307	-0,608	-35,75%	incremento
Nitritos mgN-NO2/L	ND	ND	ND	ND	ND
Nitratos mgN-NO3/L	0,19	0,2	-0,010	-5,23%	incremento



ANEXO C

Visita y recolección de muestras en campo:





ANEXO D

Anexos fotográficos:

Laboratorio realizado para obtención de resultados de los ensayos de los parámetros nutrientes (Nitratos, nitritos y fosforo total), en las instalaciones de la Pontificia Universidad Javeriana, por fuente propia.

