

**EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS ANTRÓPICOS EN LOS PARÁMETROS DE
CALIDAD DEL AGUA DEL VALLE DE SAMACÁ, BOYACÁ.**

AUTORA:

ANDREA LORENA PINZÓN ROJAS



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TUNJA

2021

**EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS ANTRÓPICOS EN LOS PARÁMETROS DE
CALIDAD DEL AGUA DEL VALLE DE SAMACÁ, BOYACÁ.**

AUTORA:

ANDREA LORENA PINZÓN ROJAS

TRABAJO DE GRADO

DIRECTORA DEL TRABAJO DE GRADO: PhD SULLY SEGURA PEÑA

CODIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO: PhD CAMILO LESMES FABIAN



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TUNJA

2021

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación nace como parte del proyecto Colciencias – Plataforma Comunitaria para el Monitoreo de la Calidad de Agua en la región de Samacá – Convocatoria 794-2018, el cual busca brindar un aporte y soluciones a los problemas medioambientales que se presentan en el municipio con respecto al recurso hídrico.

Por lo cual, se agradece a la comunidad de Samacá vinculada y que prestó su colaboración para el desarrollo de esta investigación, a la Universidad Santo Tomás seccional Tunja, a la empresa Germán Franco Carbón S.A.S, Universidad de los Andes, Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Fondo Francisco José de Caldas, Ministerio de Ciencias por medio del programa Colombia Bio y la Gobernación de Boyacá por el apoyo y financiamiento que prestaron para el desarrollo de esta investigación. Adicionalmente se agradece a los docentes involucrados en este proyecto, que permitieron el pleno desarrollo de las ideas gracias a su excelente orientación, experiencia y conocimiento aportado a lo largo del tiempo.



Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN	12
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
3. OBJETIVOS	17
2.1 <i>Objetivo General:</i>	17
2.2 <i>Objetivos Específicos:</i>	17
4. JUSTIFICACIÓN	18
5. ANTECEDENTES	19
6. MARCO REFERENCIAL	30
6.1 Marco Teórico	30
<i>BIORREMEDIACIÓN:</i>	30
<i>CALIDAD DE AGUA:</i>	30
<i>CÁLCULOS DEL ICA</i>	31
<i>CÁLCULOS DEL IRCA</i>	32
<i>PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS</i>	33
<i>Oxígeno Disuelto:</i>	33
<i>Sólidos Suspendidos Totales (SST):</i>	33
<i>Demanda Química de Oxígeno (DQO):</i>	34
<i>Conductividad Eléctrica:</i>	34
<i>pH:</i>	34
<i>Escherichia Coli:</i>	35
<i>Alcalinidad:</i>	35
<i>Dureza Total:</i>	35
<i>Fosfatos:</i>	36
<i>Nitratos y Nitritos:</i>	36
<i>Sulfatos:</i>	36
<i>Coliformes Totales:</i>	37
<i>Fluoruros:</i>	37
6.2 Marco Legal	37
7. METODOLOGÍA	39
7.1 <i>Caracterización de la zona de estudio:</i>	40
7.2 <i>Evaluación de la calidad de agua:</i>	43

7.3 Planteamiento de las posibles soluciones:.....	46
8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	48
8.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	48
8.1.1 Características generales del departamento de Boyacá y del municipio de Samacá	48
8.1.2. Visitas al municipio de Samacá:	53
8.2 EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUA	60
8.3 POSIBLES SOLUCIONES	71
8.3.1: Relación de la contaminación con el fenómeno del cambio climático y su incidencia en el recurso hídrico:	71
8.3.2: Algunos tratamientos de remediación para el recurso hídrico:	74
8.3.2.1: Aguas contaminadas por actividad minera:	75
8.3.2.2: Aguas domésticas, contaminadas por agentes químicos o producto de agricultura:	80
8.3.3: Estrategia de divulgación para la población de Samacá:	85
9. IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO DEL PROYECTO.....	87
10. CONCLUSIONES	89
11. RECOMENDACIONES	92
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
13. PRODUCTOS OBTENIDOS DURANTE LA TESIS COMO APOORTE AL PROYECTO MINICIENCIAS “PLATAFORMA COMUNITARIA PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA REGIÓN DE SAMACÁ”	101

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 - Esquematización de la metodología	39
Ilustración 2 - Puntos de muestreo iniciales.....	42
Ilustración 3 – Ubicación del departamento de Boyacá en el país	49
Ilustración 4 –Ubicación de Samacá en el departamento	49
Ilustración 5 - División política de Samacá.....	50
Ilustración 6 - Porcentaje por actividades económicas en Samacá	52
Ilustración 7 - Porcentaje de cultivos en Samacá	53
Ilustración 8 - Entrada páramo el Rabanal en Samacá.....	53
Ilustración 9 – Gachaneca I.....	53
Ilustración 10 – Gachaneca II.....	53
Ilustración 11 - Ubicación puntos de muestreo Google Earth.....	54

Ilustración 12 – Ubicación de los puntos de muestreo ArcGis	54
Ilustración 13 – Ubicación puntos de muestreo en los afluentes	54
Ilustración 14 – Canaleta conductora de aguas residuales mineras.....	56
Ilustración 15 – Pozo agua residual empresa G.F.C.....	57
Ilustración 16 – Quebrada receptora aguas residuales	58
Ilustración 17 - Mapa de riesgo e Índices de calidad de agua sobre afluentes en el municipio de Samacá.....	61
Ilustración 18 – Quebrada receptora de aguas residuales prototipo experimental	82
Ilustración 19 – Prototipo de Isla flotante.....	84

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 - Cálculo del ICA	31
Ecuación 2 - Cálculo del IRCA	33
Ecuación 3 - Cálculo del ICA	62
Ecuación 4 - Obtención índice de OD	62
Ecuación 5 - Obtención índice de SST	63
Ecuación 6 - Obtención índice de CE.....	63
Ecuación 7 - Obtención índice de pH entre 4 y 7	63
Ecuación 8 - Obtención índice de pH entre 8 y 11	64
Ecuación 9 - Cálculo del IRCA	66

Lista de Tablas

Tabla 1 – Algunos valores máximos permisibles	32
Tabla 2 – Algunos puntajes de riesgo	32
Tabla 3 - Puntos iniciales de muestreo	41
Tabla 4 - clasificación de los 6 puntos de muestreo	43
Tabla 5 - Características de los puntos de muestreo	55
Tabla 6 - Interpretación con colores para valor del ICA	61

Tabla 7 - Valores correspondientes para DQO	63
Tabla 8 - ICA en época de verano	64
Tabla 9 - Valores permisibles y puntajes de riesgo asignados para parámetros analizados	65
Tabla 10 - Porcentajes de clasificación para el IRCA	66
Tabla 11 - IRCA en época de verano	67
Tabla 12 - ICA en época de invierno.....	69
Tabla 13 - IRCA en época de invierno.....	70

Lista de Anexos

Anexo 1 - Boletín 1 parte A - Mapa de riesgo	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 2 - Boletín 1 parte B - Procedimiento de la toma de muestras para la calidad del agua . ¡Error! Marcador no definido.	
Anexo 3 - Protocolo para el manejo de aguas residuales, empresa G.F.C.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 4 - Certificado Seminario I del proyecto Plataforma Comunitaria	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 5 - Certificado de ponente en el webinar del seminario II	¡Error! Marcador no definido.

GLOSARIO

Afluente: Los afluentes hídricos son aquellos cuerpos de agua de orden secundario, los cuales posteriormente se unen en zona de confluencia con la corriente principal de uno a varios ríos. (ecología verde, 2021)

Aguas Residuales: Estas aguas son el resultado de emplear agua pura, que han sido empleadas en actividades industriales o domésticas y poseen cargas contaminantes que varían de acuerdo a cada fuente emisora. (Orozco, 2005).

Biorremediación: Se refiere a las diversas alternativas que reemplazan aquellas técnicas químicas y físicas tradicionales que se usan para mitigar el daño en el medio ambiente optando por emplear plantas en los procesos a desarrollar. (Garzón, Miranda, & Gómez, 2017).

Calidad de Agua: Esta se caracteriza por tener una composición biológica y físico – química que permita disponer de ella para consumo, además debe estar libre de sustancias y microorganismos que puedan perjudicar la salud del consumidor, aparte de gozar de olor y sabor neutro, sin turbiedad. (Elaguapotable.com. 2021).

Contaminación del Agua: Esta acción se produce cuando se disuelven en el agua vertimientos que poseen elementos o compuestos, ya sean orgánicos o inorgánicos que, al concentrarse en el agua, por suspensión o dispersión, excede los niveles de tolerancia permisibles presentes en el recurso hídrico. (Orozco, 2005).

Escorrentía: Es un componente importante en el desarrollo del ciclo hidrológico y se refiere al flujo de agua que se produce gracias a las precipitaciones que llegan al suelo o deshielos al derretirse en el mismo. (Fundación Aquae, 2021).

ICA: Este se refiere al índice de calidad de agua, el cual; es un número generalmente comprendido entre 0 y 1 (aunque puede ir hasta otros valores como 100), que permite señalar el grado de aptitud en que se encuentra un cuerpo de agua, teniendo en cuenta características químicas, físicas y microbiológicas para determinar contaminantes presentes en este. (IDEAM, 2021).

Lixiviados: Es un líquido que se compone de residuos principalmente, que a su vez es una mezcla de elementos orgánicos e inorgánicos, entre otros componentes. (Martínez, Padrón, Rodríguez, Chiquito, Escarola, Hernández & Martínez, 2014).

Metales Pesados: Los metales pesados tales como el cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb) y níquel (Ni) por ejemplo, entre otros, son elementos químicos que provienen principalmente de aguas contaminadas por otro tipo de actividades como la minería (Reyes, Vergara, Torres, Lagos

& Jiménez, 2016), que por escorrentía de residuos puede llegar a fuentes hídricas cercanas y esto por sistema de riego principalmente llega a plantaciones y animales que están en contacto con estas, así también el uso de agroquímicos o pesticidas y pueden ser tóxicos para estos y para el ser humano. (Londoño, Londoño & Muñoz, 2016).

Procesos/Actividades Productivas: Hace alusión a todas aquellas actividades que están destinadas a transformar recursos naturales o materiales primarios en productos o servicios que pueden emplear los seres humanos en sus actividades diarias o para llevar a cabo otros procesos que generarán una ganancia económica. (Ruiz, 2008).

Servicios Ambientales: En los diversos ecosistemas existentes se pueden encontrar recursos de gran utilidad para los seres humanos, el desarrollo y supervivencia de una sociedad, esto gracias a que la naturaleza por medio de los recursos naturales brinda lo que se conoce como servicios ambientales, los cuales se pueden administrar y obtener incentivos económicos que se destinan a su conservación (Pagiola & Platais, 2002), entre otros; un ejemplo claro es lo que ocurre en el lago Sochagota ubicado en Paipa Boyacá, en el cual se ofrecen paseos en lancha, en consecuencia el ecosistema brinda un servicio y las personas encargadas reciben un pago que destinan en parte al mantenimiento y conservación de este cuerpo de agua.

Vertimientos: Se refiere a todo aquel producto que resulta de distintas actividades, ya sean domésticas, industriales, agrícolas entre otras, que además se componen de residuos contaminantes

con cargas de material orgánico, microorganismos e incluso compuestos químicos y metales pesados. (Chalarca, Mejía & Aguirre, 2007).

RESUMEN

El recurso hídrico es de vital importancia para los seres vivos en sus procesos metabólicos, desarrollo físico y supervivencia. Además, los seres humanos gracias al agua han podido llevar a cabo diversidad de actividades productivas que aportan desarrollo a las comunidades; aunque a su vez conlleva efectos antrópicos como los residuos y vertimientos compuestos de varios contaminantes. Por este motivo, se da la necesidad de evaluar la forma en la que se desarrollan estos procesos y las implicaciones en la calidad y cantidad del agua potable disponible.

Para el presente proyecto se propone realizar un estudio de la calidad de agua en afluentes superficiales del municipio de Samacá – Boyacá, evaluando los efectos antrópicos derivados de distintas actividades productivas que se desarrollan en el lugar y posteriormente plantear posibles soluciones a dichas afectaciones. Para lograr esto se realizó una caracterización de la zona de estudio por medio de recopilación de información de fuentes bibliográficas, visitas de campo para identificar actividades antrópicas (minería, agricultura) que se desarrollan allí y establecer puntos de muestreo. Posteriormente se llevó a cabo una evaluación de índices de calidad de agua (ICA e IRCA) con los datos tomados en campo, donde se pudo concluir que las aguas de los afluentes estudiados se encuentran en alto riesgo de contaminación; por esta razón se plantearon soluciones biológicas de bajo costo para la remediación del agua empleando humedales artificiales, plantas acuáticas y cáscaras de alimentos como la naranja entre otros para su fácil implementación. Se

recomienda realizar muestreos y análisis de calidad de agua constantemente y más aún después de desarrollar alguna metodología propuesta.

Palabras Claves: Administración de los recursos hídricos, agente contaminante, ambiente, biorremediación, calidad de agua, contaminación del agua.

ABSTRACT

Water resources are of vital importance to living things in their metabolic processes, physical development and survival. In addition, human beings thanks to water have been able to carry out a variety of productive activities that bring development to communities; although in turn it entails anthropic effects such as waste and dumping composed of various pollutants. For this reason, there is a need to evaluate the way in which these processes are developed and the implications for the quality and quantity of available drinking water.

For this project, it is proposed to carry out a study of the quality of water in surface tributaries of the municipality of Samacá – Boyacá, evaluating the anthropic effects derived from different productive activities that take place in the place and subsequently propose possible solutions to these affectations. To achieve this, a characterization of the study area was carried out through the collection of information from bibliographic sources, field visits to identify anthropic activities (mining, agriculture) that take place there and establish sampling points. Subsequently, an evaluation of water quality indices (ICA and IRCA) was carried out with the data taken in the field, where it could be concluded that the waters of the tributaries studied are at high risk of contamination; for this reason, low-cost biological solutions were proposed for water remediation using artificial wetlands, aquatic plants and food peels such as oranges among others for easy

implementation. It is recommended to carry out sampling and analysis of water quality constantly and even more so after developing some proposed methodology.

KEYWORDS: Management of water resources, contaminant agent, environment, bioremediation, water quality, water pollution.

1. INTRODUCCIÓN

Los niveles de contaminación en la actualidad se han convertido en motivo de estudio y acción para muchos, no sólo especialistas en el tema o ingenieros ambientales; los científicos, economistas, abogados, incluso personas del común que su actividad diaria no se relaciona directamente con el ambiente ha mostrado interés en este tema. Los recursos como el agua, aire y suelo hacen de la vida en el planeta tierra un ambiente propicio para las interacciones del ser humano con la naturaleza y los animales que viven en ella. Sin embargo, las actividades y manejo que realizan las personas con estos recursos han llevado a la crisis ambiental actual (Herzer, Celis, Bartolomé, Rodríguez & Caputo, 2003); sobre todo la limitada disponibilidad de agua potable, que algunos pueden disfrutar plenamente y, otros en cambio, no tienen acceso a este recurso por diversos motivos. El agua se ve reducida en gran medida por sus altos niveles de contaminación, producto de los vertimientos a fuentes de agua, ya sean de aguas residuales, escorrentía o lixiviados, entre otros resultantes de las actividades económicas actuales.

Por tanto, el presente estudio busca realizar un análisis de la calidad del agua en afluentes de aguas superficiales en el municipio de Samacá, ubicado en el departamento de Boyacá (Colombia), con el propósito de evaluar las condiciones de este recurso según la normativa vigente (resolución 2115

de 2007) dentro del país y poder relacionar los niveles de contaminantes y las actividades económicas que se llevan a cabo en la zona de estudio. Finalmente, con ayuda de estudios específicos realizados en otros contextos, plantear posibles soluciones ambientales que permitan la remediación de las aguas residuales en el municipio, teniendo en cuenta que sean técnicas sencillas, eficaces y estables durante el tiempo y que además permitan incluir en el proceso a los habitantes interesados de la comunidad de Samacá en este tipo de procedimientos, y generar una conciencia ambiental y sentido de conservación del agua, exaltando su importancia y sus formas de cuidado que garantice una estabilidad en el recurso.

En cuanto a la toma de muestras de aguas superficiales para su estudio, se asumieron seis diferentes puntos, los cuales se especificaron y tomaron en cuenta épocas de verano e invierno, permitiendo realizar la comparación con la normativa e inferir los principales contaminantes a los que está expuesta las fuentes de agua en el municipio; es decir, corroborando que las actividades agrícolas y mineras son las que mayor incidencia generan en los diferente afluentes del río Gachaneca, esto se da ya que las aguas residuales contienen gran variedad de sustancias, metales, entre otros compuestos que pueden ser de difícil remoción en procesos de remediación de aguas residuales y a su vez afectar la calidad del agua en cuerpos hídricos superficiales o incluso subterráneos; aunque en éste escrito sólo se consideran las fuentes superficiales como el Río Gachaneca y más específicamente 6 puntos ubicados en sus afluentes; además es de importancia resaltar que este río abastece a gran parte de la población, permitiendo no sólo la supervivencia de estos, sino la generación de actividades económicas que contribuyen al desarrollo y progreso del municipio de Samacá.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La región andina colombiana concentra gran parte de la población del país, esto a su vez genera una presión sobre el uso de los suelos para la producción industrial y agrícola que permite suplir las necesidades básicas de los habitantes, por lo cual en ocasiones se incurre en prácticas inadecuadas de manejo ocasionando que un 84% de los suelos se vea afectado por procesos erosivos que pueden generarse por precipitaciones excesivas, épocas de verano intensas, pérdida de nutrientes, deforestaciones e incluso minería intensiva al ser removidas las capas externas del suelo. *“El problema se agudiza a medida que crece la población, se expande la frontera agrícola y el agricultor continúa explotando el suelo sin utilizar ninguna medida de protección”*, este es el caso de poblaciones como la de Samacá, donde estas problemáticas degradan el suelo generando pocos rendimientos de cultivos, incrementos en costos de producción, monocultivos y problemas sanitarios y ambientales (Viteri & Velandia, 2006).

En concordancia con lo mencionado, la contaminación de fuentes hídricas puede darse por distintos factores como el vertimiento de residuos resultantes de diversas actividades que, por medio de procesos naturales como la infiltración o la escorrentía permiten la dispersión de contaminantes hacia fuentes hídricas. Todo esto puede darse al desarrollar procesos productivos como la minería, la ganadería y la agricultura, entre otros; estas son las principales actividades económicas que se llevan a cabo en Samacá – Boyacá, con lo cual se generan ingresos para cientos

de familias y brindan desarrollo económico, social y cultural al municipio. Sin embargo, y como ejemplo a estas problemáticas Ramírez, Rodríguez y Vega en el 2002 manifestaron que desde hace unos 25 años el uso de agroquímicos como los DDT se han venido empleando en los diversos cultivos, no obstante, estos no se descomponen fácilmente, dejan residuos en los alimentos y contaminan fuentes hídricas, ya sea por dispersión o por inadecuada disposición de los mismos, lo cual puede afectar los ecosistemas presentes y tener impactos sobre la salud de los habitantes. En el caso de la extracción del carbón, el cual se emplea principalmente en la elaboración del coque, provoca deterioros en ecosistemas, pérdidas de coberturas vegetales y contaminación de afluentes de agua por presencia de metales pesados, entre otros compuestos. Para el caso de Samacá, esta es una actividad en la que alrededor del 35% de la población se encuentra relacionada según lo expresó Acosta Bueno en 2016.

Ahora bien, en cuanto a la relación de este tipo de actividades antrópicas con la calidad del agua se expresa en varios casos que han sido ampliamente estudiados. Por ejemplo, Villanueva & Esquivel en el 2012 evidenciaron los ***Impactos antropogénicos en la calidad del agua del río Cunas*** (Perú), lo que realizaron previamente fue identificar todas las acciones que generaban las actividades que se desarrollaban en la zona (ganadería, agricultura, etc.) y su efecto antrópico en el río; posteriormente tomando 3 estaciones de muestreo colectando agua de la zona para evaluar en laboratorio los niveles de nitratos, fosfatos, coliformes y datos in situ de conductividad, oxígeno disuelto, SST, entre otros, por medio de equipos portátiles para realizar la comparación de los resultados obtenidos con los estándares nacionales de calidad ambiental para agua que rige en el país y una valoración cuantitativa de impactos antropogénicos que concluyó que los resultados derivaban en impactos ligeramente moderados, moderados y severos.

Caso similar presentaron en el 2016 Elordi, Colman & Porta con su *Evaluación del impacto antrópico sobre la calidad del agua del arroyo Las Piedras, Quilmes, Buenos Aires, Argentina* donde buscaban determinar y evaluar aquellos factores antrópicos que tenían afectación directa o indirecta en la calidad de agua de dicho arroyo empleando una “*caracterización físico-química y microbiológica de sus aguas, además de la aplicación de índices de calidad (ICA) y de contaminación (ICOMO)*”. Concluyendo que existe un problema de degradación de esta fuente hídrica debido a fallas en servicios de saneamiento, vertimientos de aguas residuales sin un buen manejo y tratamiento de las mismas, lo cual genera contaminación, aumento en plagas y potenciales focos de infección para la población.

En Samacá, la fuente principal de abastecimiento de agua para poder llevar a cabo actividades económicas es el río Gachaneca, sin embargo y en relación con lo anteriormente mencionado, con el paso del tiempo y la evolución de las actividades ya descritas se ha visto un incremento en los niveles de contaminación en sus afluentes, tal como se evidencia en el Boletín 1 parte A – “Plataforma comunitaria para el monitoreo en la calidad del agua”, en el cual resalta que los afluentes cercanos a vertimientos de minería se encuentran en estado crítico y en las zonas agrícolas llega a niveles aceptables según la Resolución 2115 de 2007 sobre parámetros de calidad de agua potable. La información se obtuvo de los 16 puntos de muestreo establecidos a lo largo del municipio y en los que se midieron valores de los parámetros como pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez y olor.

Estos parámetros permitieron describir la calidad de agua que se presenta y de lo cual se puede deducir que, la mayoría de los afluentes de agua del municipio están siendo alterados por las actividades productivas propias de la región, dada la problemática expuesta con anterioridad. Lo

que busca éste proyecto es evaluar los efectos antrópicos en los parámetros de calidad del agua de 6 afluentes en el valle de Samacá, Boyacá; con el fin de proponer soluciones viables para lograr una sostenibilidad y equilibrio entre el medio ambiente y las actividades productivas que se llevan a cabo en el territorio.

3. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General:

- Realizar un estudio de la calidad de agua de afluentes superficiales en el municipio de Samacá – Boyacá, verificando de esa forma qué efectos antrópicos derivados de distintas actividades productivas que se desarrollan en el lugar afectan el río Gachaneca y posteriormente plantear posibles soluciones a dichas afectaciones.

2.2 Objetivos Específicos:

- Caracterizar la zona de estudio con base en las diversas actividades antrópicas que se desarrollan en el territorio y que tienen incidencia en la contaminación de afluentes del Río Gachaneca.
- Evaluar la calidad del agua mediante normativa vigente y determinar las actividades antrópicas que comprometen la calidad del recurso en los afluentes a lo largo del municipio de Samacá.
- Plantear posibles soluciones a la problemática referente a la contaminación del Río Gachaneca, de acuerdo a la evaluación de las aguas residuales provenientes de cada actividad antrópica definida con anterioridad.

4. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto abordará el proceso de evaluación de calidad de agua, el cual se hace necesario en la medida en que forma parte indispensable de tener un control acerca de los índices de calidad de agua para consumo humano, dado que las autoridades responsables del control y la vigilancia del ambiente y más específicamente del recurso hídrico proponen una serie de niveles permisibles en cuanto a parámetros específicos como el pH, la conductividad eléctrica, temperatura, turbiedad, entre otros, según normativas, las cuales indican si el agua en determinada zona puede ser empleada en actividades domésticas, consumo humano y demás. Así mismo, se tienen en cuenta la diversidad de actividades productivas que se llevan a cabo en todo el territorio. Sin embargo, se hace imperativo exigir un control sobre las mismas para minimizar los impactos al ambiente y posibles alteraciones en la salud de los habitantes del municipio. Por tal motivo, es importante buscar regular los niveles de contaminación en afluentes del Río Gachaneca, y así garantizar la longevidad del recurso con el paso del tiempo y la mínima alteración de los diversos ecosistemas que se encuentran en los alrededores del río, además de tener en cuenta, la salud de la comunidad y las posibles consecuencias a largo plazo que pudiesen tener.

Anexo a todo eso y siendo conscientes de que las actividades productivas que se desarrollan en la zona representan un ingreso para la sostenibilidad de los pobladores se pretenden buscar soluciones

acordes a la problemática expuesta y que a su vez impacten de forma positiva y resulten de utilidad para la comunidad y el medio ambiente; por medio de opciones sostenibles y sustentables de bajo costo y fácil implementación, que al mismo tiempo promuevan la educación ambiental de la población.

5. ANTECEDENTES

Es importante resaltar como primera medida la importancia del agua, como mencionó Guerrero Legarreta en el 2010 en su libro titulado *“EL AGUA”*, la cual da origen a la vida de muchos organismos existentes en el mundo y que a medida del tiempo siguen dependiendo de la misma para su supervivencia. Así mismo, se conoce como el mejor disolvente que puede existir, hablando de sustancias naturales, con lo cual ayuda a conducir nutrientes necesarios para los seres vivos y de igual forma ayuda a eliminar los desechos que no tienen más utilidad en los procesos metabólicos; también es importante tener en cuenta que el cuerpo, no sólo del ser humano, sino el de millones de especies, posee un porcentaje considerable de agua; teniendo en cuenta que gracias a su composición también proporciona del oxígeno necesario para los seres que viven en el agua. Asimismo, la superficie terrestre está compuesta de un 71% de este líquido vital, el cual se encuentra distribuido en diversas interacciones que se llevan a cabo en el planeta (vapor, lluvia, hielo), sin embargo, existen lugares en los cuales se ve reducida la disponibilidad de este recurso (Guerrero Legarreta, 2010).

Por otro lado, Guerrero hace énfasis en que la presión que se ejerce sobre el recurso hídrico, dadas las diferentes actividades humanas, ya sean productivas, de primera necesidad, recreativas, entre otras, hace que se deba realizar un gran esfuerzo por proveer de este líquido a la población y

contando con niveles de calidad aptos para poder llevar a cabo, de forma satisfactoria, todas las necesidades pertinentes y prevenir emergencias sanitarias. Debido a la demanda de agua potable, aparecen en consecuencia, necesidades de evacuar las aguas residuales resultantes de las actividades humanas, debido a su capacidad de disolución, con lo cual este recurso se vuelve vulnerable a ser contaminado por diferentes causas (Guerrero Legarreta, 2010).

Por tanto, *“la dimensión ambiental del agua se está transformando rápidamente en un componente fundamental de la legislación.”*, así lo afirman Solanes & González en un informe perteneciente a la Asociación mundial del agua, en el cual también se da a conocer lo escasa que se vuelve ésta con respecto a la creciente demanda que presenta la población a medida que sus necesidades van en aumento; aun así, con el paso del tiempo y el avance de los conocimientos sobre el recurso hídrico, se va dando una necesidad de controlar el desgaste en cuanto a la calidad del agua y, por lo tanto, se hacen indispensables leyes más acordes a la prevención de estas situaciones. Por eso se implementan los permisos, las concesiones de agua, las prohibiciones y multas que se imponen en pro de la preservación, no sólo del agua sino también de los recursos naturales que se puedan ver afectados por las diferentes actividades antrópicas; adicionalmente se hace indispensable la creación de áreas para la gestión de la calidad e implementar programas especiales enfocados con éste mismo propósito (Solanes & González, 2001).

Con lo anterior, se puede observar la relevancia e importancia que posee el agua y más que el recurso como tal, la calidad del mismo. El recurso hídrico se debe evaluar bajo concepciones como las características físico-químicas del agua en una determinada zona, su parte biológica y todos los conceptos hidrológicos que allí se presentan (cuenca, precipitaciones), lo que permite llevar a cabo un análisis y valoración de la calidad del agua en una determinada zona (Sierra Ramírez, 2011),

dado que no es lo mismo evaluar un río, un lago, un embalse o incluso las aguas subterráneas (acuíferos); en este caso se evalúa en mayor medida los ríos y quebradas, teniendo en cuenta su tamaño y las condiciones hidrológicas que se presentan en la cuenca, como también su factor característico, el cual hace referencia al caudal, y que puede variar de acuerdo a los factores ya mencionados.

Todo lo anteriormente mencionado se da a un nivel mundial. Ahora bien, a nivel nacional, en el territorio colombiano, el recurso hídrico posee otras características, otros usos y con todo eso se puede afirmar que posee otras fuentes de contaminantes. Para tener en cuenta, Colombia es un territorio que posee considerables fuentes de agua con respecto a otros países y zonas en el mundo; los ríos Cauca y Magdalena, así como las vertientes del Caribe se consideran las principales corrientes hídricas en el país, pero así como ayuda a aliviar las necesidades hídricas de las poblaciones cercanas a sus cauces, se ven afectadas también por las aguas residuales que se vierten en los mismos, sin que en muchas ocasiones, hayan recibido un debido proceso de tratamiento para aliviar las cargas contaminantes, teniendo en cuenta también las actividades de carácter industrial que se dan a lo largo del recorrido de estos ríos. Colombia en general depende de fuentes hídricas superficiales y subterráneas para su supervivencia, por esto se debe tener un control al llevar a cabo actividades de agricultura, abastecimiento de población o generación de energía; asimismo, se debe tener en cuenta que algunas zonas costeras del territorio nacional subsisten gracias a las aguas subterráneas y que posteriormente se destinan a riego de cultivos, para industrias o abastecimiento de agua a la población (Sierra Ramírez, 2011).

Conociendo la importancia del agua en general, es importante ahora resaltar los impactos que traen las actividades antrópicas desarrolladas por el ser humano, más específicamente en el caso de la

industria minera; bien lo mencionaba Bebbington & Bury en el año 2010, donde afirman en su artículo titulado “***Minería, instituciones y sostenibilidad: desencuentros y desafíos***” que estas industrias de carácter extractivo “*sustraen del medio ambiente un recurso natural que no reponen y que no está en condiciones de reponerse por sí mismo*”, siendo además calificadas de extractivas las que obtienen minerales, carbón mineral, agregados y también la industria de hidrocarburos (petróleo, gas), incluso sostienen que dichas industrias son insostenibles con el paso del tiempo, dado que extraen recursos que no son renovables, generando de esa forma desequilibrios en el medio ambiente, como por ejemplo el cambio climático, lo cual genera desafíos para la sostenibilidad a lo largo de los años, especialmente en los lugares donde se realizan este tipo de actividades (Bebbington & Bury, 2010).

Sánchez & Cañón en el 2010 en su artículo titulado “***Análisis documental del efecto de vertimientos domésticos y mineros en la calidad del agua del río condoto (Chocó, Colombia)***” manifestaron que dicho río es uno de los principales afluentes del río San Juan y es de gran importancia porque es la principal fuente de abastecimiento del acueducto en el municipio y conecta la zona urbana con los demás corregimientos que se ubican a lo largo de este afluente; en la parte alta del mismo, cabe resaltar que sus aguas son cristalinas y se sabe que posee oro y platino en ciertas partes, con lo cual se ha visto el aumento de actividades mineras en varios kilómetros de recorrido del río, por lo cual es posible afirmar que las características del mismo se han visto modificadas, al recibir constantemente residuos de contaminación por la minería, con lo cual se ve afectada su calidad del agua y perjudica a las poblaciones que se benefician de este recurso (Sánchez & Cañón, 2010).

En Boyacá se presentan casos similares, pero esta vez con las minas de carbón, Rocha en el 2017 en su artículo **“Minería del carbón en Boyacá y sus impactos ambientales”**, manifiesta que en el departamento han venido apareciendo este tipo de industrias al ir conociéndose el potencial que posee esta zona en cuanto a minería y sobre todo las reservas de carbón que se presentan en Boyacá. Por ejemplo, Acerías Paz del Río fue una de las primeras empresas en acceder a la minería en cuanto a carbón se refiere, más exactamente en el municipio de Samacá. Aunque estas actividades extractivas de este recurso natural trajo consigo el desarrollo económico a éste y otros lugares aledaños, también se empezaron a producir deterioros en las fuentes de agua, con lo cual se vieron afectadas otras actividades productivas que se desarrollan en Samacá como lo es la agricultura, cambios en el agua para riego de cultivos, agua para consumo humano, cambios en los suelos empleados para pastoreo y afectaciones a cultivos frutales y vegetales, los cuales son algunos de los impactos que trajo consigo la actividad minera (Rocha, 2017).

Para el caso de la agricultura en la calidad del agua Rojano & Ojeda en el 2018 sostuvieron que esta actividad desde sus inicios evolucionó cerca de la corriente de lagos o ríos donde se asentaban los pueblos, sin embargo, con el paso del tiempo *“nadie se percató de los efectos contaminantes de la agricultura hasta que el uso de fertilizantes nitrogenados y demás químicos se hicieron visibles”*. Por lo cual en la actualidad al hacerse notorios los efectos de esta actividad, hace que las personas se interesen más por este tema dado que *“el agua por su origen en condiciones ideales es de gran calidad, pero a medida que empieza a tener contacto con las diferentes actividades del hombre, empiezan diferentes niveles de degradación”*, incluso la preocupación por los alimentos que se consumen y el agua con el que son regados durante su proceso de crecimiento hasta llegar a su distribución son de interés al tener que plantearse el regadío de cultivo por medio de *“agua*

reciclada como un insumo de bajo costo''. Además, los autores presentan una problemática entre el agua que se destinaba para uso agrícola y que ahora debe repartirse también para uso urbano a medida que se da el crecimiento poblacional. Ciudad de México es un ejemplo de esto, ya que del agua disponible *“usan 85 m³/s y se generan aguas negras por 60 m³/s diarios”*, aunque estas cifras pueden variar, dependiendo en gran medida del manejo que le de cada persona, si rehúsa o no el agua por ejemplo o realiza un consumo eficiente del recurso hídrico disponible (Rojano & Ojeda, 2018).

Según documentos de agencias internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, la Agencia de Protección Ambiental o la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico *“han concluido que la agricultura, con su alta demanda de agua para riego, fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos, así como las ganaderías intensivas que tienen un gran dinamismo”*, generan grandes cantidades de residuos, los cuales son los principales causantes del deterioro del recurso hídrico, ya sean en países desarrollados o en vía de desarrollo. (Pérez Espejo et.al, 2012).

Luego de señalar las alteraciones antrópicas que producen algunas actividades económicas al medio ambiente, se tiene que hay estudios realizados por diversos autores para encontrar una relación evaluando parámetros de calidad, como en el caso que plantearon en el 2013 Carbone, García, Marcovecchio, Piccolo & Perillo sobre el *“Impacto antrópico en la calidad del agua superficial de la cuenca media del arroyo Claromecó, Argentina”*, donde a lo largo del río se ubica una localidad con alrededor de 59.000 habitantes, una planta industrial y una planta de

tratamiento de efluentes urbanos, allí se seleccionaron entre agosto de 2007 con repetición en agosto de 2009, 5 estaciones de muestreo para determinar la concentración de metales pesados y de nutrientes en el agua empleando un autoanalizador, y el material particulado fue estudiado mediante espectrofotometría. Al final se obtuvieron resultados en los que se evidenciaba que había variables como los nitratos y fosfatos que superaban los niveles guía de protección de la vida acuática en el arroyo, además de otros parámetros químicos correspondientes a descargas de aguas residuales y de la planta industrial, encontrando así niveles bajo-intermedio de metales pesados y permitiendo, según las características estudiadas, establecer la influencia de tipo agrícola ganadero que se da en el lugar, presentándose un predominio en el uso industrial y urbano dado que las descargas realizadas en el arroyo no presentan tratamiento previo (Carbone et.al, 2013).

Otro caso es el del ***“Análisis documental del efecto de vertimientos domésticos y mineros en la calidad del agua del río condoto (Chocó, Colombia)”***. Este río es uno de los principales afluentes del río San Juan, donde se utiliza sus aguas para fines recreativos, mineros, domésticos, de navegación, pesca e incluso para abastecimiento del acueducto. Gracias a esto, en los últimos 20 años la calidad de agua del río ha disminuido por este tipo de actividades antrópicas y de las excavaciones mineras para extraer oro y platino, en donde se determinó un nivel de cargas contaminantes diarias entre 20 y 26 toneladas aproximadamente comparándolo con normativas como el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) para estimar los aportes de cargas contaminantes; además los elevados niveles de mercurio, producto de la minería, deja entre 200 y 1000 kg/año de residuos basándose en la producción de oro y platino que afecta a poblaciones de peces y representa riesgo para la salud de los habitantes (Arriaga & Barriga, 2010).

Sin embargo, a pesar de las problemáticas mencionadas, existen soluciones ambientales que pueden mitigar los impactos que causan las actividades productivas que traen desarrollo económico a una población, como lo menciona Reynosa en el 2015, es importante aportar soluciones que promuevan una conciencia tanto individual como colectiva, que dé importancia a la protección del medio ambiente y permita tener una visión más amplia acerca de la utilización y la racionalización de los recursos naturales disponibles. En cuanto al recurso hídrico como tal es importante brindar y garantizar agua potable a la población, en la medida en que esto contribuye a prevenir diversas enfermedades, las cuales tienen relación con la contaminación del agua con sustancias que podrían comprometer la salud de los pobladores, ya sea a corto, mediano o largo plazo, como lo manifestaron Benez, Kauffer & Álvarez en el año 2010. Por último, y en consecuencia con lo que expresa Reynosa, el desarrollar juntas específicas para el seguimiento de la calidad del agua e impulsar la sensibilización acerca de un uso adecuado del recurso hídrico por parte de la comunidad, juega un papel clave a la hora de garantizar una buena calidad en el agua (Bonilla, 2002).

Por tales razones, soluciones como la biorremediación por plantas acuáticas es lo que, en mayor medida, se utiliza actualmente para la recuperación de recurso hídrico contaminado, así lo evidenciaron Herrera, Morales, Moreno, Álzate & Castañeda, en su artículo del año 2019 titulado **“Biorremediación de aguas residuales mediante *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*”**, allí se destaca el papel de las macrofitas flotantes en procesos que permitían mejorar la calidad de aguas residuales, dado que este tipo de plantas acumulan contaminantes como metales pesados en sus hojas, tallos o raíces, por lo cual se incorporan a su proceso metabólico y permiten la degradación

de este tipo de compuestos para convertirlos en compuestos orgánicos, los cuales son menos tóxicos y de mayor degradabilidad y eliminación que las sustancias tóxicas. Además, este tipo de plantas son de fácil implementación, económicamente viables y su uso en zonas rurales o de difícil acceso es de gran ayuda sino se tienen sistemas de alcantarillado disponibles (Herrera, et.al, 2019).

Adicionalmente otros sistemas complementarios a este uso de plantas acuáticas son los humedales artificiales, los cuales disponen de esta vegetación dentro de estructuras como tanques o canales de poca profundidad, con o sin materiales como la grava o la arena para atrapar los sedimentos o capas vegetales que permitan enraizar las plantas que se van a emplear (Porras, 2017).

Una aplicación de estas alternativas la mencionaron Gómez & Pinzón en el 2012, al evidenciar que el lago del parque La Florida ubicado en el departamento de Cundinamarca kilómetro 3 vía Engativá-Cota, se emplean buchones de agua (*Eichornia crassipes*) para la biorremediación del lugar, dado que se depositan allí aguas contaminadas. Posteriormente se realizan mantenimientos y monitoreo de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de metales, esto por parte de laboratorios certificados por un periodo de dos años (2009 – 2011), donde se realizó este estudio. Al final los valores de remoción de sólidos suspendidos totales fueron los esperados realizando una remoción de más de la mitad de estos compuestos. Para el oxígeno disuelto, se encontró que tener un control sobre la proliferación de la planta es esencial para evitar procesos de eutrofización en el lago; por otro lado, niveles de fósforo, nitrógeno y plomo fueron disminuidos en gran medida gracias al buchón de agua, obteniendo casi un 99% de remoción para este último contaminante mencionado, lo cual ratificaría la capacidad de este tipo de plantas acuáticas en la acción de biorremediación de aguas residuales o contaminadas por diversas fuentes (Gómez & Pinzón, 2012).

En el 2013 Peña, Madera, Sánchez & Medina realizaron una revisión y análisis de artículos científicos para considerar el uso de la *Heliconia* en humedales, para biorremediación de aguas residuales y evaluar su desempeño en remoción de contaminantes teniendo en cuenta parámetros como DBO, DQO, SST, algunos nutrientes, patógenos y metales pesados a la par de realizar sus propias plantaciones para realizar comparaciones con los resultados de otros autores; cabe aclarar que este tipo de planta se encuentra ampliamente en el territorio colombiano y sobre todo en el Valle del Cauca, lo cual hace que sea una gran opción para implementarse en este tipo de tratamientos biológicos de depuración. Ahora bien, de los resultados obtenidos se destaca que la *Heliconia* posee una gran capacidad de adaptación a las condiciones de humedal artificial, asimismo se demostró su alta capacidad (>60%) en remoción de DBO, DQO y SST, además de acumulación de metales pesados, sin afectaciones a su desarrollo o crecimiento normal, lo cual la hace una gran opción en remoción de contaminantes para humedales artificiales (Peña, et.al. 2013).

Incluso alternativas con extractos naturales han sido propuestas y puestas en práctica; por ejemplo, Muñoz en el 2007 dio a conocer en su escrito ***“Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja “*Citrus cinensis*” pretratada”*** las ventajas que este cítrico podría ofrecer en el proceso de remediación de aguas contaminadas con metales como el plomo preparando el material biosorbente así:

El pretratamiento del material biosorbente se llevó a cabo mediante la reticulación con una solución 0.2M de CaCl_2 , el pH de esta solución se ajustó a 5 usando una solución 0.05 M de HCl. La reticulación se efectuó manteniendo todo el sistema en

agitación constante durante 24h. El material tratado fue secado en una estufa a la temperatura de 40°C por 24 h. El tamaño de partícula es de 180 – 250 micras.

Estas pruebas se realizaron en laboratorio, variando las cantidades de plomo en soluciones acuosas y procesos de filtrado para finalmente concluir que lo más importante es el nivel de pH, dado que la biosorción de plomo es sensible a esto debido a la composición de las paredes celulares de la cáscara de naranja y con valores menores a 3,6 de pH no resulta muy efectiva por ejemplo, sin embargo al incrementar el valor de este parámetro se logra una mejor biosorción; además, al emplear distintas concentraciones de plomo su remoción en promedio fue del 95% lo cual demuestra la efectividad del uso de este tipo de residuos orgánicos (cáscara de naranja). Vale aclarar que el término biosorción se refiere a un proceso fisicoquímico que ocurre con cierta clase de biomasas (cáscaras, por ejemplo) en la cual se retienen contaminantes en la estructura celular de ésta. Asimismo, la reticulación sólo hace alusión a una reacción química que se da para unir cadenas moleculares (Muñoz, 2007).

Teniendo en cuenta los antecedentes mencionados se puede dar razón de las problemáticas que generan las actividades antrópicas en el medio ambiente y más específicamente en el recurso hídrico. Sin embargo, la innovación y necesidad de recuperación de la calidad de agua ha impulsado iniciativas como las mencionadas, con el fin de lograr soluciones amigables con el medio ambiente y que puedan ser sostenibles con el tiempo para evitar la pérdida de este recurso vital para la vida de todos los seres vivos.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1 Marco Teórico

BIORREMEDIACIÓN:

Este término hace parte de lo que se refiere a remediación, es decir, el planteamiento de soluciones viables para mejorar algún problema ambiental, esto se puede dar en suelo, agua, incluso aire (Olguín, Hernández & Sánchez, 2007). La biorremediación como tal es una tecnología que busca aprovechar las actividades de metabolización que llevan a cabo microorganismos en su mayoría para lograr descontaminar variedad de matrices ambientales (Viñas, 2005). Este proceso es biológico gracias a que estos organismos degradan los contaminantes hasta convertirlos en no tóxicos, ya sea que se encuentren en grupos o individualmente. (Olguín et.al, 2007).

Viñas señaló en 2005 que se pueden dar dos variantes de este tipo de tecnología, la primera es *in situ* que puede denominarse bioestimulación, ésta se basa en activar a los microorganismos dispuestos para descontaminar una superficie ya sea de suelo o fuente hídrica, la segunda variante es realizar procedimientos en laboratorio en los cuales se mantiene en condiciones controladas y llevando a cabo varias pruebas que permitirán, posteriormente, su aplicación a una escala mayor (Viñas, 2005).

CALIDAD DE AGUA

Éste término es muy variado y relativo, aunque es de tener presente que para caracterizar un cuerpo hídrico y estudiar su calidad se deben tener en cuenta tres características principales que son su parte biológica, la hidrología que presenta el lugar a estudiar y por último las características fisicoquímicas que posee el cuerpo de agua, esto con el fin último de controlar y preservar el recurso hídrico a través del tiempo y de actividades humanas que puedan comprometerlo (Ramírez, 2021). Aunque según el Estudio Nacional de Aguas realizado por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) en el año 2000 el muestreo de agua para analizar estos parámetros es constante, realmente en Colombia solo se hace necesario regularmente para actividades como la extracción de hidrocarburos en general y estudios que realizan las corporaciones encargadas para sus registros. (Castro, Almeida, Ferrer & Díaz, 2014).

CÁLCULOS DEL ICA

En cuanto a los índices de calidad de agua se entiende que tienen como fin la evaluación de los componentes físicos, químicos y biológicos del agua en términos estables y estándares normales con relación a su calidad real de acuerdo a posibles efectos humanos o usos que se le estén dando al recurso. El ICA es un número que puede expresar la calidad del agua integrando la medición de otros parámetros como el pH, conductividad eléctrica o sólidos suspendidos por mencionar algunos (Lozada, Vélez & Patiño, 2009). En Colombia es ampliamente usada la siguiente ecuación como mencionó Lozada y colaboradores en 2009:

Ecuación 1 - Cálculo del ICA

$$ICA_m = \prod_{i=1}^n I_i^{w_i}$$

Fuente: Lozada, Vélez & Patiño, 2009

Aquí se tiene un promedio geométrico ponderado donde: li es el subíndice de i-ésimo parámetro y Wi es el peso o porcentaje que se asigna al i-ésimo parámetro.

CÁLCULOS DEL IRCA

Se refiere al índice de riesgo a la calidad de agua el cual se emplea para evaluar si el agua estudiada es apta o no para el consumo humano de acuerdo a los límites permisibles planteados por la normativa vigente. En la tabla 1 se indican algunos de los parámetros a tener en cuenta y su valor máximo permisible.

Tabla 1 – Algunos valores máximos permisibles

Características físicas	Color aparente	Olor y sabor	Turbiedad
Expresadas como	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	Aceptable o no Aceptable	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)
Valor máximo aceptable	15	Aceptable	2

Fuente: Ministerio de la Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2021.

Posteriormente se asigna un puntaje de riesgo para cada característica química, física o microbiológica como se muestran en la tabla 2, según la resolución 2115 de 2007.

Tabla 2 – Algunos puntajes de riesgo

Característica	Puntaje de riesgo asignado
Nitratos	1
Fluoruros	1
Coliformes Totales	15
<i>Escherichia Coli</i>	25
Nitritos	3

Fuente: Ministerio de la Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2021.

Por último, se realiza el cálculo del porcentaje del IRCA para determinar el riesgo, teniendo en cuenta que si es superior a 80,1% será inviable sanitariamente, entre 35,1% y 80% el riesgo es alto,

entre 14,1 y 35 el riesgo es medio, de 5,1 a 14 el riesgo es bajo y menos de 5% se categoriza como agua sin riesgo para el consumo humano (Ministerio de la Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2021).

Ecuación 2 - Cálculo del IRCA

$$\%IRCA = \frac{\Sigma \text{puntaje de riesgo a parámetros no aceptables}}{\Sigma \text{puntaje de riesgo que se asigna a todos los parámetros analizados}} \times 100$$

Fuente: Ministerio de la Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2021

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Estos permiten evaluar el recurso hídrico, dar una información sobre las características químicas del agua y su naturaleza, además de sus propiedades, pero sin llegar a aportes sobre la influencia de esto en la vida acuática. Las variables que más frecuentemente se emplean son el pH, oxígeno disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos. (Samboni, Carvajal & Escobar, 2007). Entre los parámetros físico-químicos que se pueden evaluar se encuentran los siguientes:

Oxígeno Disuelto:

Es un indicador de cuanto oxígeno se presenta en el agua, así como de contaminantes por presentar desechos de materia orgánica o inorgánica, puede ser por descargas de aguas residuales de diferentes fuentes (industrial, doméstica) y que se vierten a cuerpos de agua. (Peña, Rubalcaba, Novo, Rodríguez & Pérez, 2006).

Sólidos Suspendidos Totales (SST):

Este indicador se refiere a todos aquellos materiales como las arcillas, limos, plancton, materia orgánica, materia inorgánica, entre otros microorganismos los cuales se presentan en el agua por medio de diferentes fuentes, estos pueden llegar o no a disolverse en el cuerpo de agua que los contiene. Sin embargo, se refiere a los que se mantienen en suspensión (Beltrán-Vargas, 2012).

Demanda Química de Oxígeno (DQO):

Se refiere a la cantidad de oxígeno que se necesita para degradar químicamente la materia orgánica o aquellas sustancias susceptibles a este proceso, y que se encuentran presentes en el agua. Esto se da por medio de microorganismos aerobios que viven en el agua (Instruments, H, 2014). Los residuos que se generen se consideran de peligrosidad ya que se pueden encontrar muestras de cromo, mercurio, entre otros. (Mañunga, Gutiérrez, Rodríguez & Díaz, 2010).

Conductividad Eléctrica:

Puede definirse como la capacidad que tiene el agua para conducir corriente a través de iones que se presenten en esta, ya sean positivos como el sodio o potasio (Na^+ , K^+) o negativos como el cloruro o sulfato (Cl^- , SO_4^{-2}) por ejemplo. Esto se debe a la concentración de iones como los mencionados, la temperatura y movilidad que tenga el cuerpo de agua analizado. (IDEAM, 2021).

pH:

Se considera un parámetro definido en la concentración que se presente de iones hidrógeno, este toma valores de 0 a 14, siendo 0 el valor donde una muestra de agua se clasificaría como muy ácida y 14 como muy alcalina, por lo cual el valor de 7 se considera el nivel de equilibrio. Para el agua en condiciones naturales, estos valores pueden oscilar entre 4.5 y 8.5, debido a factores como el dióxido de carbono que se presenta en la atmósfera y puede llegar a cauces de agua potable por medio de precipitaciones. (Zamora, 2009).

Escherichia Coli:

Hace referencia a bacterias coliformes fecales, es decir que son indicadores de presencia de contaminantes por residuos (material fecal) de animales o seres humanos en el agua; esto se da por fenómenos como la escorrentía producto de lluvias o desbordamiento de otros cuerpos de agua, los cuales pueden arrastrar a su paso este tipo de desechos o por vertimientos de aguas residuales domésticas a una fuente hídrica. (Rock & Rivera, 2014).

Alcalinidad:

Esta variable, a diferencia del pH, indica la capacidad que tiene un cuerpo de agua para poder regular por sí misma o neutralizar los cambios en cuanto a la acidez que se pueda presentar en este por diversos factores, es decir, cuánto ácido puede llegar a absorber una solución sin llegar a alterar el nivel de pH. Mientras que el pH solo evalúa si una muestra es ácida o alcalina. (Sigler & Bauder, 2017).

Dureza Total:

Se asocia con un alto contenido de compuestos minerales en el agua y otros compuestos como sales, que pueden ser de calcio o de magnesio; entre más presencia de sales se encuentren en un cuerpo de agua representará un mayor grado de dureza y es un valor total al sumarse el valor de las durezas individuales de los iones de calcio o magnesio principalmente (Zamora, 2009).

Fosfatos:

Son iones que pueden presentarse en el agua por crecimiento acelerado de organismos en este, como por ejemplo de algas, que al final pueden causar la disminución del oxígeno en el agua, también el agua de lluvia puede contener alguna cantidad de fosfatos que al caer se pueden filtrar en el suelo o diluirse en la corriente de los diferentes afluentes. (Bolaños, Cordero & Segura, 2017).

Nitratos y Nitritos:

Son compuestos químicos formados de oxígeno y nitrógeno, aunque la presencia de nitritos es menos frecuente ya que suelen convertirse en nitratos con facilidad, este último compuesto aporta nutrientes para el crecimiento de una planta. Es posible encontrar estos compuestos en fertilizantes, sin embargo, al ser tan soluble en agua provoca fácilmente altas concentraciones de estos en cuerpos de agua (Bolaños et.al., 2017). Además, los nitritos por biodegradación de los nitratos u otros compuestos nitrogenados se emplean también como indicador de contaminación de tipo fecal en el agua. (Cabrera, Hernández, Gómez, & Cañizares, 2003).

Sulfatos:

Son sales muy solubles, las cuales principalmente pueden presentarse en la naturaleza o en fertilizantes, además de explotaciones de rocas también, incluso pueden llegar al suelo y a fuentes hídricas por medio de precipitaciones cuando hay partículas de dióxido de azufre en la atmósfera, estas son producidas más que todo por la quema de combustibles (diésel). (Bolaños et.al., 2017).

Coliformes Totales:

Se definen como grupos de bacterias que se encuentran generalmente en los intestinos de animales y seres humanos, asimismo se presentan en sus excretas. Teniendo en cuenta esto, es de resaltar que aporta información acerca de los posibles cambios que se presentan en el agua con respecto a estos microorganismos, definiendo su grado de potabilidad. (Redondo & Echandi, 2012).

Fluoruros:

Estos compuestos se encuentran principalmente en comestibles, dentífricos y medicamentos diseñados para los seres humanos, aunque también se recibe gracias a los sistemas de agua potable por adición de sustancias para potabilización e incluso pueden tener presencia en acuíferos, siendo estos una fuente de abastecimiento para algunas personas que no cuentan con red de agua potable (Trejo & Bonilla, 2001).

6.2 Marco Legal

Actualmente se hace necesario establecer políticas públicas para la conservación del medio ambiente, dado que con cada acción que involucre los recursos naturales disponibles puede verse afectado el medio y su disponibilidad y calidad a corto, mediano y largo plazo. Por tanto, cabe

mencionar la más importante política establecida y es la constitución política de 1991, la cual se dice, entra a considerar el medio ambiente como de gran importancia. Así lo expresa su artículo 80, en el cual se menciona que para garantizar el desarrollo sostenible se deben bien administrar los recursos naturales, especialmente el recurso hídrico al ser de gran importancia para el desarrollo del país, según el decreto 2811 del 1974. Además, según la ley 99 de 1993, se debe dar una buena gestión y conservación del medio ambiente en general y de sus recursos para garantizar su conservación.

En concordancia con la preservación del recurso hídrico en el país, se ha establecido la ley 373 de 1997 que establece programas para un uso más eficiente del agua potable; el decreto 3100 de 2003 que reglamenta todas las tasas retributivas que se generan al emplear fuentes hídricas como receptores de vertimientos; el decreto 1575 de 2007 que establece una serie de sistemas para la protección y el control de la calidad del agua que se emplea para el consumo humano; el decreto 1324 de 2007 que propuso la creación de un registro sobre todos aquellos usuarios que hacen uso del recurso hídrico y de ese modo controlar la disponibilidad y calidad del mismo.

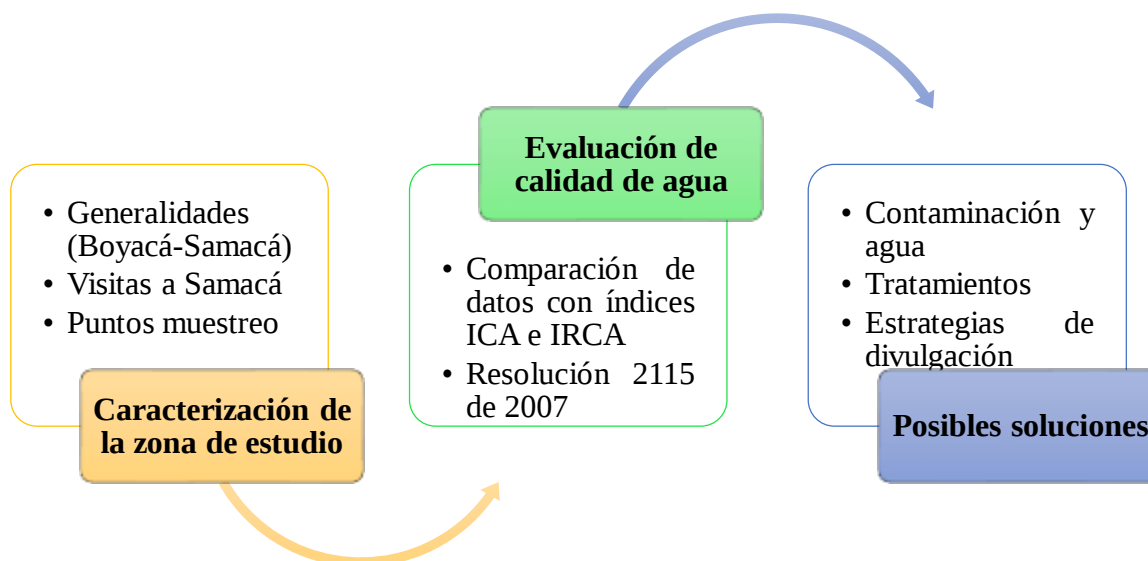
Por último, se cuenta con la resolución 2115 de 2007, en la cual el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, señala todas aquellas características, instrumentos y la frecuencia que deben tener los sistemas de control y vigilancia para preservar la calidad del agua que se destina principalmente para el consumo humano; sin desconocer el decreto 3930 de 2010 que habla específicamente sobre los vertimientos y obligaciones de los generadores de estos. Aunque vale la pena aclarar que, aunque la resolución 2115 se contempla para aguas potabilizadas,

el índice IRCA contribuye a una ayuda a la hora de evaluar la calidad de agua que puede estar consumiendo un sector de la población.

7. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se establecieron tres pasos fundamentales que consisten en caracterizar la zona de estudio, evaluar la calidad del agua del lugar y de acuerdo a ello plantear posibles soluciones con base en metodologías empleadas en otros estudios. En la ilustración 1 se especifican los pasos a seguir para el desarrollo del proyecto.

Ilustración 1 - Esquematización de la metodología



Fuente: Autor

A continuación, se profundiza cada uno de los pasos ya establecidos anteriormente:

7.1 Caracterización de la zona de estudio:

Para el desarrollo del proyecto lo que se realizó, como primera medida, es la recopilación de información a partir de fuentes bibliográficas, es decir, estudios realizados en otros lugares sobre actividades antrópicas, información sobre la población, sus actividades económicas y demás, aplicación de metodologías con índices de calidad entre otros; las cuales aportaron antecedentes a la investigación; con lo cual se hace más eficiente y puntual la idea acerca de cómo se debe manejar el análisis de calidad de agua, más aún en un afluente de agua dulce (río Gachaneca) que abastece a gran parte de la población en el municipio estudio (Samacá – Boyacá) y además las actividades

económicas como la ganadería, minería y agricultura entre otro tipo de industrias, las cuales pueden estar generando efectos antrópicos allí.

Posteriormente, se realizó la delimitación de la zona a estudiar, los puntos principales a tener en cuenta y las características pertenecientes al municipio como lo son las zonas fronterizas, su clima y más importante aún sus fuente hídricas representativas y de valor para el territorio, teniendo en cuenta que de éstas se abastece gran parte de la población y a su vez es recurso principal para llevar a cabo diversidad de actividades económicas como la agricultura o minería que se conocen en Samacá y que dan sustento a gran parte de la población, sobre todo rural.

Así mismo, se realizaron visitas al municipio y recorridos a los diversos afluentes del río Gachaneca, obteniendo datos de 16 puntos de muestreo aguas arriba y aguas abajo del municipio como se indica en la tabla 3. Estos puntos se establecieron teniendo en cuenta las condiciones del terreno, vertimientos y cambios notables en los cuerpos de agua, para de esa forma poder relacionar los parámetros tomados con actividades como la minería, la agricultura y el riego de cultivos. Cabe aclarar que los puntos de muestreo se definieron en el año 2019.

Tabla 3 - Puntos iniciales de muestreo

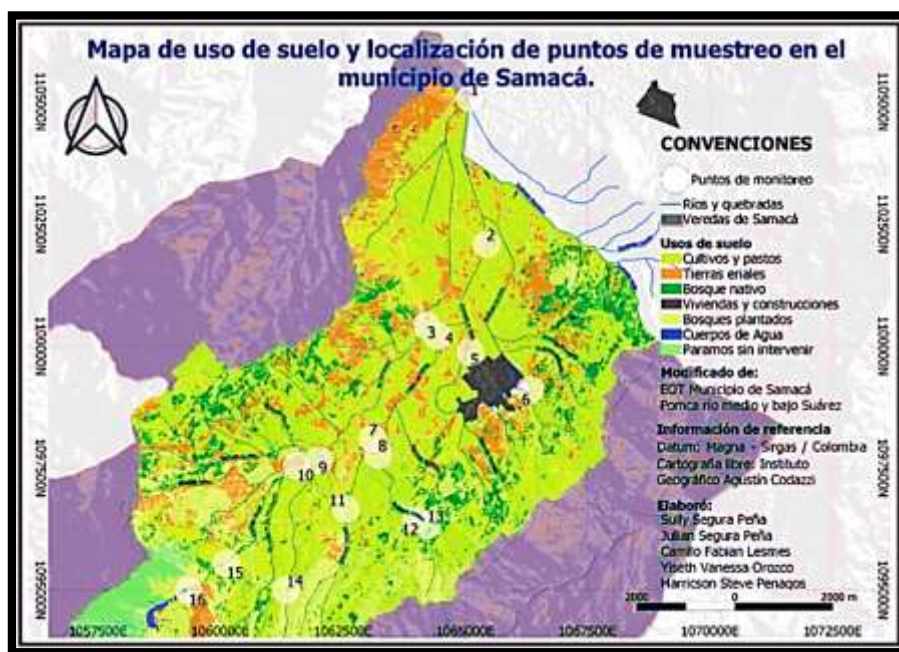
Punto	Nombre	Uso de suelo asociado
1	Intersección vía principal	Zona de cultivos, pastos y tierras eriales
2	Quebrada el Chulo	Zona de cultivos y pastos
3	Puente intersección salida de Samacá	Zona de cultivos y pastos
4	Vallado las Delicias	Zona de cultivos y pastos
5	Unión Quebradas (Quite y Chulo)	Zona de cultivos y pastos
6	Aguas abajo salida de Samacá	Uso urbano
7	Canal afuera de la empresa G.F.C. S.A.S	Uso minero – Uso agrícola
8	Empresa German Franco Carbón S.A.S.	Uso minero
9	Textilera	Uso industrial – Uso urbano
10	Unión de aguas de mina (La Carpintería)	Uso minero
11	Salida empres Acerías Paz del Río	Uso minero

12	Nacedero quebrada Pataguy – Ganadería	Pastos – Uso ganadería
13	Nacedero quebrada Pataguy – Mana	Zona de cultivos, pastos y tierras eriales
14	Aguas arriba textilera (tala de árboles)	Zona de cultivos, pastos y tierras eriales
15	Río Gachaneca – aguas abajo represa	Zona de cultivos, pastos y tierras eriales
16	Represa Gachaneca	Zona de cultivos, pastos y tierras eriales

Fuente: Autor

Para el año 2020, los muestreos *in situ* se realizaron semana a semana en horas de la mañana, empleando un multiparámetro Hanna HI9819 y HI9829, identificando el tipo de afluente a analizar y sus características, a que uso estaba destinada esta agua y observaciones anexas que requieran ser tenidas en cuenta. Como eran mediciones *in situ* los equipos se llevaban calibrados y previamente esterilizados para luego sumergir las sondas en cada afluente e iniciar con toma de datos de pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y alcalinidad; se tomaron 3 datos de cada parámetro para promediar los resultados después; para la Sonda Faramacá del mismo modo que con los multiparámetros y Boya de acuerdo a sus sensores. Sin embargo, para los puntos 14 y 15 no se tomaron más muestras de agua, es decir, tan solo se tuvieron en cuenta 14 puntos de las 16 iniciales dado que no se obtuvieron muestras notables de agua. En la ilustración 2, obtenida del boletín 1 acerca del Mapa de Riesgo del municipio de Samacá del proyecto Plataforma Comunitaria Para el Monitoreo en la Calidad del Agua en la Región de Samacá-Boyacá se señalan los puntos de muestreo iniciales.

Ilustración 2 - Puntos de muestreo iniciales



Fuente: Peña, Lesmes, Peña & Orozco, 2020.

Con ayuda de laboratorios acreditados por el IDEAM (Laboratorio Analizar Ltda, Hidrolab y Quimicontrol Ltda) se realizaron cuatro muestreos adicionales, dos para época de verano (febrero) y dos en época de invierno (diciembre 2019 y septiembre 2020); teniendo en cuenta esto y al comparar datos obtenidos con las sondas, se decidió tener en cuenta sólo 6 puntos de muestreo escogiéndolos los más críticos y que reunieran afluentes colectores de aguas producto de otras actividades antrópicas para su estudio. Más exactamente estos puntos clave fueron: la represa de Gachaneca, en Acerías, sector carpintería, empresa Germán Franco Carbón, el puente a la salida del municipio y en la intersección de la vía principal; de este modo se pudo consolidar la información obtenida de literatura consultada y a la vez evidenciar, gracias a la observación, las actividades económicas que podría estar ocasionando efectos antrópicos y alteraciones a la calidad de agua de Samacá. Dentro del análisis de resultados se especifican en mayor medida las características de estos puntos.

7.2 Evaluación de la calidad de agua:

Teniendo en cuenta la información y datos obtenidos de las distintas actividades económicas que se llevan a cabo a lo largo del río Gachaneca y de las actividades de las que la población se beneficia se detalla en la tabla 4 las observaciones en campo para los 6 puntos de muestreo:

Tabla 4 - clasificación de los 6 puntos de muestreo

Punto	Fotografía	Concepto
1		Este punto es la unión de los afluentes, por lo cual se reciben vertimientos de aguas residuales, mineras, ganaderas y agrícolas. En cuanto a color y olor del agua en este punto, no parecen estar dentro de los niveles aceptables.
2		Perteneciente al puente, se ubica sobre el río Gachaneca. Allí se evidencian vertimientos de origen agrícola y minero, incluso a veces es receptor de basuras y el color del agua en este punto es opaco.

3		Aquí se ubican las aguas que provienen de la empresa Germán Franco Carbón S.A.S. y la quebrada Pataguy. Además del vertimiento de residuos de minería también hay presencia de residuos de ganadería y agricultura.
4		Este punto denominado La Carpintería se encuentra frente al colegio Nacionalizado (sede La Fábrica), aquí se unen la red de drenajes de dos quebradas (Tres chorros y Qda Grande), aquí se observan sedimentos que provienen de industrias mineras, asimismo el agua presenta un color opaco.
5		Las aguas que provienen de la empresa Acerías Paz del Río se encuentra sobre la Quebrada Tintoque que limita las veredas de Salamanca y Pataguy; allí se observa a simple vista que los sedimentos, sólidos suspendidos, olor y color presentan una baja calidad.

6		El afluente que proviene de la represa no presenta mayores alteraciones por alguna actividad antrópica, posee una vegetación adecuada, al agua no presenta turbidez, es de olor y color aceptable.
---	---	---

Fuente: Autor

Ahora bien, para el muestreo de cada punto se realizaron toma de datos *in situ* con un equipo multiparámetro Hanna HI9819, Sonda Faramacá y sonda tipo Boya (estos dos últimos pertenecen al proyecto de la Plataforma Comunitaria) y otros análisis realizados por el laboratorio Analizar Ltda, siguiendo el protocolo de monitoreo a la calidad del agua del IDEAM. Con las sondas se tomaron mediciones semanales de parámetros de conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y pH durante los meses de diciembre de 2019 a septiembre de 2020 semanalmente con multiparámetros, sonda y boya. Respecto a los muestreos realizados por el laboratorio se tuvieron en cuenta resultados del mes de febrero para época de verano y de septiembre para época de invierno, ya que las variables fisicoquímicas eran más definidas; ellos realizaron un procedimiento consistente en llenar 4 recipientes, 3 de plástico y uno de vidrio, debidamente esterilizados, para la medición de sólidos suspendidos totales, nitritos, nitratos, fosfatos, sulfatos y otros según determinaciones de la guía de muestreo del IDEAM; de la siguiente muestra se tomaron datos de DBO y por último DQO. Es de aclarar que todas las muestras realizadas con multiparámetros, sonda y boya se realizó

con muestras compuestas, es decir, una combinación de muestras puntuales del mismo sitio en intervalos de tiempo.

En consecuencia, con lo anterior y como se había estipulado se realizaron las debidas comparaciones basándose en la norma colombiana actual vigente (Resolución 2115 de 2007) teniendo en cuenta que, aunque son para mediciones de agua potable, sería pertinente tener en cuenta estos cálculos a fin de constatar la calidad del agua de los afluentes en el municipio, de los cuales algunas personas pueden llegar a emplear para consumo humano o alguna otra actividad como riego de cultivos. Además de tener cuenta los índices de calidad de agua (ICA) para poder establecer el nivel de contaminación de las aguas en puntos específicos del río. El índice IRCA, establece un cálculo en el que se tienen en cuenta la sumatoria de los puntajes de riesgo asignados a las características no aceptables, dividido en la sumatoria de los puntajes de riesgo asignado a todas las características o parámetros analizados; con lo cual se pudo establecer si el agua, en los distintos puntos de estudio, cumplen o no cumplen con los requerimientos pertinentes para clasificarse como apta para consumo humano y si presenta consecuencias gracias a los efectos antrópicos ocasionados por las actividades económicas en Samacá

7.3 Planteamiento de las posibles soluciones:

Por último, según la información bibliográfica obtenida en campo y sumado a las comparaciones realizadas, se buscó establecer una relación entre los resultados obtenidos de las muestras de agua analizadas en los seis puntos establecidos y las problemáticas en cuanto a la calidad del agua que pueden llegar a poner en riesgo a la población del municipio de Samacá. De esta forma, se buscó

plantear posibles soluciones ambientales a la problemática acerca de la contaminación del río a causa de actividades como la agricultura y la minería; todo esto por medio de procesos viables y sostenibles que permitan mejorar la calidad del agua en el río Gachaneca y sus afluentes, además de prevenir deterioros en la salud de la población en general y optimizar los procesos productivos logrando una sostenibilidad gracias a la reducción de contaminantes en sus aguas residuales. Cabe destacar que estos procesos siempre deberán ir encaminados con la necesidad y apoyo de la comunidad para evidenciar un cambio, no sólo del medio ambiente, sino también de pensamiento y cuidado hacia éste por parte de los pobladores del municipio; e, incluso, extender este tipo de iniciativas a más interesados para la mitigación de efectos antrópicos en el recurso hídrico, por medio de estrategias de divulgación de conocimiento.

8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

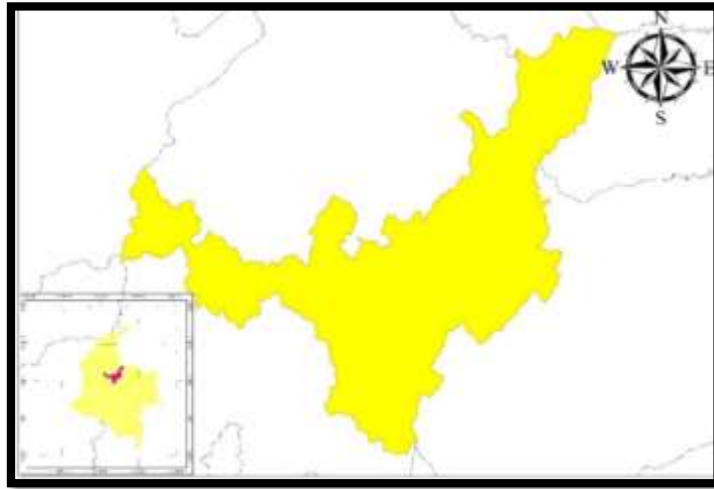
8.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

8.1.1 Características generales del departamento de Boyacá y del municipio de Samacá

Es pertinente mencionar, como primera medida, que el departamento de Boyacá se encuentra ubicado en la parte centro oriental de Colombia, caracterizado por presentar relieves altos gracias a la cordillera oriental que atraviesa el departamento y climas variados gracias a la topografía que proporciona esta cordillera. Sus límites departamentales se encuentran distribuidos por el norte con departamentos como Norte de Santander, Santander e incluso con Venezuela, por el oriente con los departamentos de Casanare y Arauca, en el sur se encuentra con Cundinamarca y una parte del Meta, por último, al occidente con Caldas y Antioquia.

En el aspecto hidrológico, Boyacá cuenta con diversidad de ríos que contribuyen a la formación de cinco importantes cuencas como la del río Suárez, Chicamocha, Arauca, Magdalena y Meta. Además de ríos cuenta con variedad de lagos, del cual el más conocido es el lago de Tota ubicado en la provincia de Sugamuxi o el Sochagota que se encuentra en Paipa y presta diversos servicios ambientales; también se encuentran lagunas, que son santuarios de fauna y flora y permiten recolección de grandes cantidades de agua para poder abastecer poblaciones pequeñas a sus alrededores. (Gobernación de Boyacá, 2021). En la ilustración 3 se aprecia en detalle la ubicación del departamento en el país:

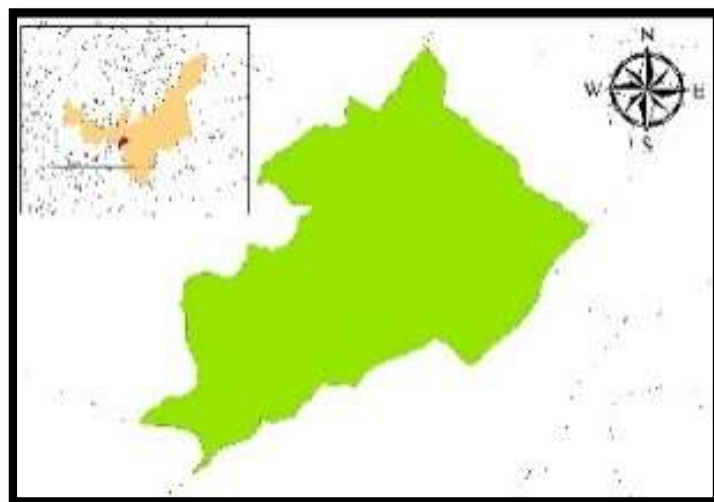
Ilustración 3 – Ubicación del departamento de Boyacá en el país



Fuente: Autor

Es válido mencionar sobre el municipio de Samacá que sus límites son: por el norte limitado con los municipios de Sáchica, Sora y Cucaita; por el Sur con Ventaquemada, Ráquira y Guachetá; por el Oriente con Cucaita, Tunja (Capital del departamento) y Ventaquemada; finalmente por el Occidente con el municipio de Ráquira. A continuación, en la ilustración 4 se muestra el departamento de Boyacá en la parte superior izquierda y el municipio de Samacá en color verde.

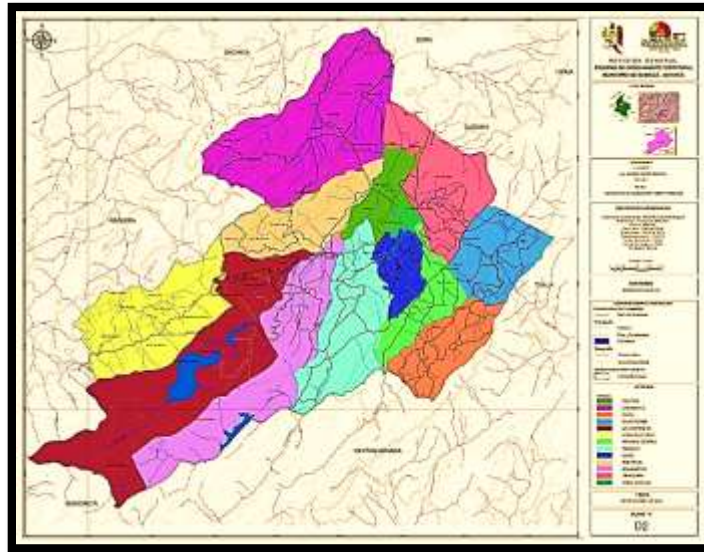
Ilustración 4 –Ubicación de Samacá en el departamento



Fuente: Autor

La zona de estudio se encuentra a unos 32 km de Tunja, capital del departamento de Boyacá. Samacá se divide en veredas, aparte de la zona central urbana, estas son Gacal, Pataguay, Chorrera, Ruchical, Tibaquirá, Páramo centro, Salamanca, Churuvita, Quite, Loma redonda y Guantoque tal como se muestra en la ilustración 5 sobre la división política que posee en la actualidad:

Ilustración 5 - División política de Samacá



Fuente: Alcaldía de Samacá. Modificado por: Autor

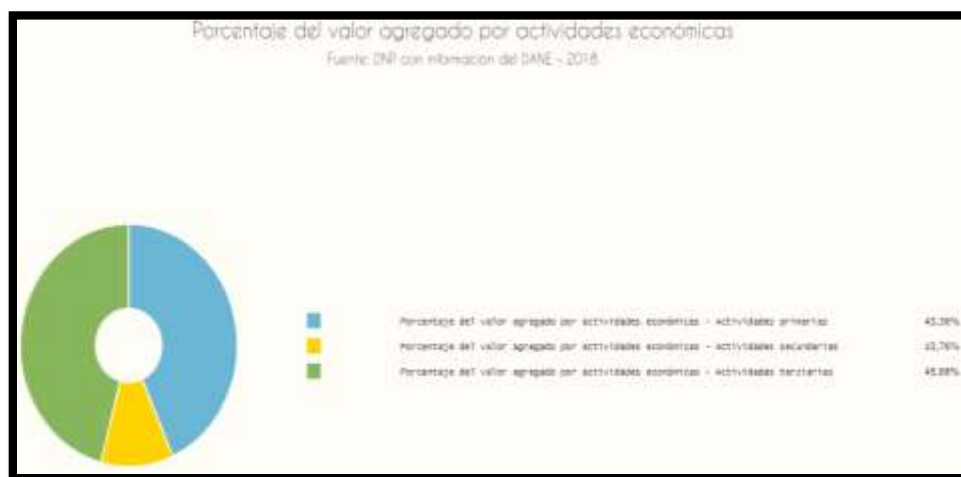
Ahora bien, en cuanto al recurso hídrico en el municipio se encuentra la represa Teatinos, que nace en el páramo El Rabanal y el embalse del río Gachaneca dividido así: Gachaneca I (área: 201 ha, capacidad: 4'720.000 m³) y Gachaneca II (área: 28,5 ha, capacidad: 1'495.000 m³), naciente en los pantanos de la Bolsa. Estas fuentes hídricas garantizan el abastecimiento de agua para riego en temporadas de verano y la colección de agua en temporada invernal para evitar inundaciones. Actualmente el sistema del distrito de riego en Samacá comprende estas dos represas (Gachaneca I y II) y *“aproximadamente 87 kilómetros de canales y vallados además de estructuras, puentes, revestimientos, tuberías, zanjaz y drenajes. El revestimiento de canales con concreto ciclópeo cubre 40 kilómetros y complementan el sistema estructuras de control de torrentes y gaviones*

para detener la erosión de los suelos'' . El río Gachaneca desciende por todo el valle y se encuentra en ciertos puntos con otros ríos de municipios vecinos hasta llevar sus aguas al río Moniquirá. Aparte del cauce principal se encuentran algunas quebradas y arroyos, del cual los habitantes cercanos obtienen beneficios y emplean sus aguas en diferentes actividades y necesidades, algunas de estas son Ranchería, Cerritos, Las cruces, Quebrada grande, Pedregal, entre otros (Nuestro municipio - Alcaldía Municipal de Samacá, s. f.).

Seguido de esto vale resaltar que Samacá es una zona que se caracteriza por tener una economía basada en actividades de producción agrícola, minería de carbón, que según evidencias se realizaban este tipo de explotaciones desde la época de la colonia y producción del coque, lo que constituye el mayor ingreso para el municipio y sus habitantes, aunque otras actividades como la ganadería, comercio, textiles o transporte de carga hacen parte complementaria de las ya mencionadas. Incluso se tenía explotaciones de hierro y cal (Nuestro municipio - Alcaldía Municipal de Samacá, s. f.).

En la ilustración 6 por ejemplo, se pueden observar los porcentajes que se le da a cada clasificación de las actividades económicas en el municipio de Samacá. Con lo cual, se tiene que para las actividades primarias un 43,36% representa el valor agregado para la economía del municipio, aquí se pueden encontrar actividades como la agricultura, ganadería y minería. Para las actividades secundarias se tiene un 10,76% que contempla procesos de transformación de materias primas o abastecimiento a otras industrias con productos para generación de bienes o servicio. Por último, las actividades terciarias que contemplan servicios como el turismo, comunicaciones o el transporte representan un 45,88% del valor agregado en la economía de Samacá.

Ilustración 6 - Porcentaje por actividades económicas en Samacá

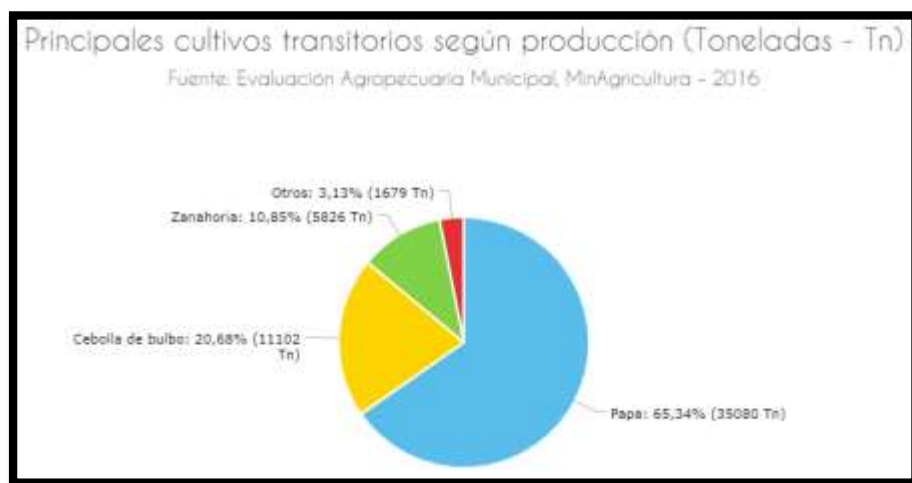


Fuente: TerriData DNP

Estos datos fueron tomados del aplicativo TerriData creado por el Departamento Nacional de Planeación – DNP, para que las estadísticas e indicadores territoriales sean de fácil visualización y difusión.

En la ilustración 7 por otro lado, se pueden observar los principales cultivos representativos para el municipio, allí se encuentra en primer lugar la papa con un 65,34% de producción con alrededor de 35080 toneladas, seguido por la cebolla de bulbo con un 20,68% de producción con 11102 toneladas, la zanahoria con un 10,85% y 5826 toneladas de producción y por último se encuentran otros cultivos transitorios que representan el 3,13% de producción con 1679 toneladas total en Samacá.

Ilustración 7 - Porcentaje de cultivos en Samacá



Fuente: TerriData DNP

8.1.2. Visitas al municipio de Samacá:

Ilustración 8 - Entrada páramo el Rabanal en Samacá



Fuente: Autor

Ilustración 9 – Gachaneca I



Fuente: Autor

Ilustración 10 – Gachaneca II



Fuente: Autor

Como se puede observar en las ilustraciones 8, 9 y 10 se visitaron las fuentes de agua principales en el municipio de Samacá y su nacimiento (Gachaneca I y II) para verificar el estado y calidad del agua, además de evidenciar si se llevaban a cabo actividades antrópicas en la zona, con lo cual no se presentó en ninguna de ellas. A continuación, se muestran en las ilustraciones 11, 12 y 13,

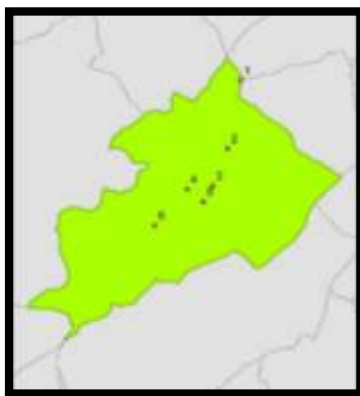
el mapa del municipio de Samacá con las ubicaciones y numeración de los puntos en que fueron tomadas las muestras de agua para ser evaluadas posteriormente.

Ilustración 11 - Ubicación puntos de muestreo Google Earth



Fuente: Autor

Ilustración 12 – Ubicación de los puntos de muestreo ArcGis



Fuente: Autor

Ilustración 13 – Ubicación puntos de muestreo en los afluentes



Fuente: Autor

Para el punto 6, que es el más alto, se refiere a la represa Gachaneca y se tiene que posee gran variedad de bosques y sus suelos son de tierras eriales, es decir, no han tenido intervención para cultivos o labrado de alguna forma para su posterior intervención; los puntos 4 y 5 corresponden a la unión de las aguas provenientes de la mina y la salida de la empresa Acerías Paz del Río, respectivamente, estas dos tienen la característica de que se emplea para el vertido de aguas de mina y se ubican frente a frente la una de la otra tal como se muestra en la ilustración 12.

El punto 3 pertenece al vertido de aguas residuales que realiza la empresa German Franco Carbón S.A.S., lo cual categoriza también este afluente como de uso minero al igual que los puntos 4 y 5; el punto número 2 corresponde a la intersección de un puente que es salida para el municipio, en esta zona se identificaron principalmente cultivos y pastos que son empleados para el alimento de animales en muchas ocasiones, por lo cual estas aguas podrían tener presencia residuos de herbicidas, pesticidas o algún producto para la conservación y protección de cultivos. Finalmente,

el punto número 1 se refiere a la intersección de la vía principal en el municipio donde se unen los afluentes que provienen aguas arriba y se reúnen todos los vertimientos realizados allí; es de resaltar que en esta zona se presentan cultivos, pastos y algunas tierras eriales también.

En la tabla 5 se muestran algunas características a tener en cuenta de los puntos de toma de muestras, incluyendo su ubicación geográfica con coordenadas N y E además de una breve descripción de su terreno y usos que se le dan al mismo por parte de los habitantes y empresarios.

Tabla 5 - Características de los puntos de muestreo

P.		1	2	3	4	5	6
Nombre		Intersección vía principal	Intersección puente salida	Empresa G.F.C.	La Carpintería	Empresa Acerías Paz del Río	Represa Gachaneca
Coordenadas	N	1105109,32	1100377,27	1097760,55	1097543,18	1096673,43	1095035,01
	E	1065060,58	1064203,47	1063207,35	1061532,7	1062592,4	1059394,75
Uso de Suelo		Zona de cultivos, pastos y tierras eriales	Zona de cultivos y pastos	Uso Minero	Uso Minero	Uso Minero	Bosques plantados y tierras eriales

Fuente: Autor

Luego de la identificación de los 6 puntos a tener en cuenta se procedió a visitar cada punto designado, en el cual se tomaron las muestras y algunas fotografías para corroborar la información previamente obtenida gracias a la investigación realizada, no sólo del municipio como tal, sino

también de las características que presentan los afluentes al llevar a cabo vertimientos producto de las actividades productivas que se presentan en el municipio, tales como las agrícolas, entre las que se destacan las plantaciones de cebolla, algunas agropecuarias como la ganadería y las mineras para la producción y venta de coque que caracteriza este municipio.

Ilustración 14 – Canaleta conductora de aguas residuales mineras



Fuente: Autor

En la ilustración 14 se presenta una canaleta por la cual circulan los residuos pertenecientes a las actividades de las minas y empresas de carbón que laboran en el municipio para ser vertidos en los afluentes de quebradas y ríos que recorren Samacá; como se evidencia, el agua allí es de color opaco, presenta turbiedad y posible rastro de químicos y metales pesados resultantes de este tipo de explotaciones y actividades mineras en la producción del coque; dado que el polvillo que se forma y los gases que se generan pueden llegar a contaminar los afluentes cercanos o quedarse en el agua sin llegar a disolverse en su totalidad (Quintero, 2011).

Ilustración 15 – Pozo agua residual empresa G.F.C.



Fuente: Autor

La ilustración número 15 evidencia específicamente los pozos que se han diseñado para almacenar las aguas residuales resultantes de producción de coque y presenta características similares a la anterior, es decir, color opaco y en tonos un poco brillantes, lo que destaca un posible presencia de metales pesados en ella, además de la turbiedad y un olor particular; es de aclarar que el pozo descrito pertenece a la empresa Germán Franco Carbón, donde realizan un proceso de recirculación de estas aguas, es decir, después de someterlas a procesos de descontaminación con algunos productos químicos, para poder llevar a cabo el lavado del producto que se realiza en la empresa, para finalmente verterla al afluente luego de su proceso de remoción de contaminantes.

Seguido a esto, en la ilustración 16 perteneciente al punto 2 de muestreo, que corresponde a la intersección del puente, donde se presenta una quebrada receptora de aguas residuales, ésta presenta un color en tonos café, lo que podría ser un indicio de presencia de materia orgánica, entre otros desechos tal vez químicos, y podría pertenecer a aguas residuales domésticas, aguas

residuales de actividades ganaderas y agrícolas también, como se había especificado anteriormente y se evidenció en la visita realizada al municipio; dado que posee olor un poco fuerte, sobre todo cuando el agua aumenta su temperatura por efectos de la luz solar que recibe esta durante el día. La materia orgánica que produce el estiércol por ejemplo puede generar acumulación de nutrientes tanto en el suelo como en el agua, además que contiene bacterias patógenas como la *Escherichia coli* que puede causar problemas estomacales o reducir los niveles de oxígeno en la sangre; para el medio ambiente puede generar eutrofización (acumulación de nutrientes) y posteriormente la degradación del medio (Pinos, García, Peña, Rendón, González & Tristán, 2012).

Ilustración 16 – Quebrada receptora aguas residuales



Fuente: Autor

Las actividades productivas, en especial la relacionada con la minería, generan riesgos a corto, mediano y largo plazo al ambiente e incluso a las personas que habitan lugares aledaños en los que se desarrollan este tipo de prácticas. Aunque muchos consideran ésta una fuente de empleo e ingresos para las personas, puede producir efectos adversos incluso para ellos, no sólo en la salud, sino también en la tecnificación de estas actividades, que inevitablemente desplazan a los trabajadores por máquinas. Ahora bien, en cuanto a los riesgos físicos y al ambiente se pueden

describir la inclinación de las pendientes de montañas al ser cortadas para la extracción de material, esto hace que cada vez sean más propensas a los deslizamientos y debilitamiento del terreno. Además, la calidad del aire disminuye junto con la calidad del suelo y por supuesto del agua, debido a las partículas que se liberan en la extracción, la pérdida de minerales, nutrientes en el suelo y las aguas residuales producto de este tipo de actividades respectivamente. (Mejía, Aguirre & Moya, 2012).

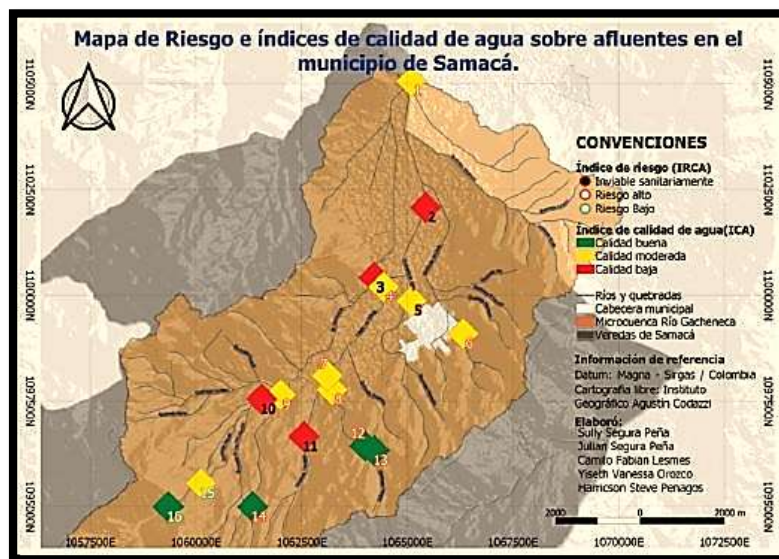
Con esto se quiere establecer una relación con la normativa que se maneja actualmente en el país. Para esto se consultó la resolución 2115 de 2007, ya que por medio de esta se dan a conocer todos aquellos instrumentos de control y vigilancia que se deben tener en cuenta para la calidad del agua que se usa para consumo humano principalmente; en este documento se definen también algunos conceptos, valores permisibles para las características físicas (color, olor, sabor, turbiedad, entre otros) y características químicas (niveles de nitritos, cianuro, cadmio, mercurio, fluoruros y demás) que pueden o no tener implicaciones en la salud humana, asignando unos puntajes de riesgo de no cumplir con niveles permisibles, con los que es posible calcular en qué porcentaje de índice de riesgo a la calidad del agua (IRCA) se encuentra una fuente hídrica. (Ministerio de la Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2021). Aunque ya se ha mencionado que esto se calcula para aguas tratadas, es pertinente revisar los resultados que se arrojaran, dado que las aguas que recorren el municipio de Samacá son empleadas para diversos usos, incluso pueden llegar a ser consumidas o empleadas en riego de cultivos; por lo cual desde esta perspectiva parece pertinente realizar la debida comparación.

8.2 EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUA

Se colectaron muestras de agua para seis diferentes puntos a lo largo de las fuentes hídricas presentes en el municipio de Samacá, estas son: primer punto la intersección de la vía principal que es donde se unen los vertimientos de varios afluentes, el segundo punto que es la intersección ubicada en el puente de la salida de municipio, el tercer punto fue la empresa German Franco Carbón S.A.S, el cuarto punto se denomina La carpintería, donde se unen las aguas residuales que provienen de las empresas que laboran en el lugar; el quinto punto fue la salida de la empresa Acerías Paz de Río y, por último, el sexto punto de muestreo fue la represa Gachaneca que contiene aguas no contaminadas por actividades antrópicas, como se observó en los otros puntos establecidos.

Estos 6 puntos se tomaron de las 16 iniciales dado que son los más representativos en cuanto a niveles de riesgo a la calidad de agua. A continuación, en la ilustración 17 se observa el mapa de riesgo realizado dentro del marco del proyecto ***“Plataforma Comunitaria para el monitoreo de la Calidad del Agua en la región de Samacá”*** en el cual se observa que los puntos asociados a vertimientos de aguas residuales y de minería se encuentran en estado crítico, los asociados a residuos agroindustriales se catalogaron como inviables sanitariamente, mientras que los puntos más cercanos al páramo El Rabanal y que son de área protegida presentan una buena calidad con índices de riesgo bajos, esto en términos generales.

Ilustración 17 - Mapa de riesgo e Índices de calidad de agua sobre afluentes en el municipio de Samacá



Fuente: Peña, Lesmes, Peña & Orozco, 2020.

Posteriormente, se muestran a detalle los 6 puntos representativos ya mencionados, comenzando por mencionar el proceso que se llevó a cabo para catalogar la calidad del agua en estos.

En cuanto a la clasificación que se tiene para los ICA, en estos se toman valores de 1 a 0, siendo este último un indicador de mal manejo del recurso hídrico, así pues, se les asignara un color verde a los valores mayores de 0,70 de buena calidad, color amarillo a los valores comprendidos entre 0,35 y 0,70 de calidad media o moderada y color rojo a los valores menores de 0,35 para baja calidad del recurso hídrico, como se muestra en la tabla 6:

Tabla 6 - Interpretación con colores para valor del ICA

Color	Valor	Interpretación
Verde	>0,70	Buena calidad de agua
Amarillo	0,35 – 0,70	Calidad de agua media o moderada
Rojo	<0,35	Baja calidad de agua

Fuente: Ministerio de la Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2021.

Teniendo en cuenta la clasificación que se asigna con color respectivo, el cálculo del ICA está dado por la sumatoria de valores de cada uno de los índices de las variables multiplicado por un peso relativo o ponderado que se le asigna, en este caso es de 0,2, este valor lo propuso el IDEAM cuando se analizan tan sólo estas cinco variables. De esa forma, la ecuación se manifiesta así:

Ecuación 3 - Cálculo del ICA

$$ICA = (I_{OD} * 0,2) + (I_{SST} * 0,2) + (I_{DQO} * 0,2) + (I_{CE} * 0,2) + (I_{pH} * 0,2)$$

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2021.

Los parámetros recolectados y analizados fueron el oxígeno disuelto como indicador de materia orgánica en el agua; sólidos suspendidos totales que manifiestan todos aquellos residuos granulares o de materias orgánicas e inorgánicas, así como de microorganismos; DQO como indicador de sustancias que tienden a oxidarse; la conductividad eléctrica que indica la capacidad del agua para conducir la electricidad a través de iones presentes en la misma y el pH que indica si la muestra en el lugar es de carácter ácido o básico (Ministerio de la Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2021).

Según el boletín del índice de calidad de aguas superficiales dado por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca se tuvo en cuenta el cálculo de cada índice en cada parámetro mencionado previamente, así:

- **Oxígeno disuelto (OD):**

Ecuación 4 - Obtención índice de OD

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01 * valorparámetro)$$

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2021.

- **Sólidos suspendidos totales (SST):**

Ecuación 5 - Obtención índice de SST

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 * \text{valorparámetro})$$

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2021.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Donde dependiendo el valor de DQO tomado se le asigna un valor como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7 - Valores correspondientes para DQO

Nivel de DQO	DQO≤20	20<DQO≤25	25<DQO≤40	40<DQO≤80	DQO>80
Equivalencia de índices	=0,91	=0,71	=0,51	=0,26	=0,125

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2021.

- **Conductividad eléctrica (CE):**

Ecuación 6 - Obtención índice de CE

$$I_{CE} = 1 - 10^{(-3,26 + 1,34 * \text{LOG}_{10}(\text{valorparámetro}))}$$

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2021.

- **Potencial de Hidrogeniones (pH):** En este parámetro se tuvo en cuenta que si el valor era menor a 4 el índice es 0,1; si el valor es mayor o igual a 8 el índice es de 1; si el valor es mayor a 11 el índice es 0,1; si el valor oscila entre 4 y 7 se emplea la ecuación:

Ecuación 7 - Obtención índice de pH entre 4 y 7

$$I_{pH} = 0,02628419 * e^{(\text{valorparámetro} * 0,520025)}$$

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2021.

o si oscila entre 8 y 11 la ecuación es:

Ecuación 8 - Obtención índice de pH entre 8 y 11

$$I_{pH} = 1 * e^{[(valor\ parámetro - 8) - 0,5187742]}.$$

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2021.

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación, se muestran en la tabla 6 los valores de los parámetros evaluados para cada uno de estos puntos mencionados, que se emplearon en el cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA) y del Índice de Riesgo a la Calidad de Agua (IRCA). Es necesario recordar que se realizaron muestras en época de invierno (septiembre) y de verano (febrero).

Tabla 8 - ICA en época de verano

PUNTOS	1	2	3	4	5	6
PARÁMETROS						
OD	109,3	56,5	103,5	86,4	106,5	114,1
SST	26	11,51	16	14	17	11,51
DQO	33	14,98	27	14,98	14,98	14,98
CE	619	36	302	22	466	7
pH	7,01	6,2	6,72	5,15	6,25	4,6
ICA						
i OD	1,093	0,565	1,035	0,864	1,065	1,141
i SST	0,942	0,98547	0,972	0,978	0,969	0,98547
i DQO	0,51	0,91	0,51	0,91	0,91	0,91
i CE	2,02597593	0,93309704	0,15666955	0,9654183	1,06841238	0,99254528
i pH	1	0,66058289	0,86569757	0,38264068	0,67798412	0,28745968
ICA	0,303805	0,81082999	0,6452056	0,82001179	0,51071435	0,86329499
CALIDAD	Baja	Buena	Moderada	Buena	Moderada	Buena

Fuente: Autor

Con respecto al índice de calidad de agua se evidencia que el recurso en los puntos de la intersección ubicada en el Puente de la salida de municipio, la Carpintería y la Represa Gachaneca según cálculos, poseen una buena calidad de agua y se les asigna un color verde ya que sus puntajes

superan el valor de 0,80 y lo mínimo es de 0,70; para los puntos de la empresa Germán Franco Carbón S.A.S y la salida de la empresa Acerías Paz de Rio se evidencia que poseen una calidad media de las aguas a su alrededor por los valores de 0,64 y 0,51 respectivamente, por último la intersección de la vía principal donde se unen los vertimientos de varios afluentes toma un valor bajo en cuanto a la calidad de agua y se resalta de color rojo por el valor de 0,30; con lo cual se podría interpretar como un manejo deficiente del recurso en ese punto, dado que allí es donde se unen todas las aguas de los demás puntos, por consiguiente se elevaría el número de contaminantes presentes y disminuiría la calidad del agua según los diversos autores ya mencionados, ya sea porque la carga de material orgánico aumenta, o hay presencia de metales pesados e incluso de residuos de producción del coque o pesticidas que se emplean en los cultivos.

Por otro lado, los puntajes de riesgo para evaluar los índices de riesgo a la calidad del agua y niveles permisibles se enuncian en la tabla 9, esto según la resolución 2115 de 2007; sin embargo, solo se contemplan los parámetros estudiados y analizados a lo largo de este trabajo.

Tabla 9 - Valores permisibles y puntajes de riesgo asignados para parámetros analizados

Característica	Valor permisible	Puntaje de riesgo asignado
Nitratos	10 (mg/L)	1
Fluoruros	1 (mg/L)	1
Coliformes Totales	<100 UFC	15
Escherichia Coli	0 UFC	25
Nitritos	0,1 (mg/L)	3
pH	6,5 – 9,0	1,5
Alcalinidad	200 (mg/L)	1
Dureza Total	300 (mg/L)	1
Fosfatos	0,5 (mg/L)	1
Sulfatos	250 (mg/L)	1

Fuente: Fuente: Ministerio de la Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo

Territorial, 2021.

Ahora bien, para el cálculo del IRCA en época de verano se tomaron en cuenta los parámetros de pH, *E.coli*, alcalinidad, dureza total, fosfatos, nitratos, sulfatos, coliformes totales y fluoruros, con los cuales se pudo realizar el cálculo del índice de riesgo con la ecuación 9 especificada en la resolución 2115 de 2007, así:

Ecuación 9 - Cálculo del IRCA

$$\%IRCA = \frac{\Sigma \text{puntaje de riesgo a parametros no aceptables}}{\Sigma \text{puntaje de riesgo que se asigna a todos los parametros analizados}} \times 100$$

Fuente: Ministerio de la Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2021

Cuando el valor se acerca a 0, se considera que se cumplen con los valores permisibles para los parámetros estudiados y el agua es apta para consumo humano, sin embargo, al acercarse al 100% se evidencia que existe un alto riesgo a la salud de los seres vivos, por presencia de altos niveles de contaminantes. Teniendo en cuenta esto se procede a evaluar los parámetros tomados en campo (*E. coli*, dureza total, y demás), comparando su valor obtenido con los niveles permisibles según la normativa colombiana; los valores que superen el nivel permisible se sumarán y serán divididos entre todos los puntajes de riesgo para los parámetros analizados, para así al final multiplicar por 100 y obtener el valor que indica el porcentaje de riesgo en que se encuentran los cuerpos de agua analizados.

Adicionalmente se muestra en la tabla 10 los porcentajes que permiten la clasificación de las aguas de acuerdo al %IRCA obtenido luego de realizar los cálculos:

Tabla 10 - Porcentajes de clasificación para el IRCA

% IRCA	80,1 - 100	35,1 - 80	14,1 - 35	5,1 - 14	0 - 5
Nivel de Riesgo	Inviabile sanitariamente	Alto	Medio	Bajo	Sin Riesgo

Fuente: Ministerio de la Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2021.

En la tabla 11 se encuentran los valores para parámetros de pH, *E.coli*, alcalinidad, dureza total, fosfatos, nitratos, sulfatos, coliformes totales y fluoruros que fueron tomados en época de verano; en los 6 puntos de muestreo y poder realizar posteriormente el cálculo correspondiente del IRCA.

Tabla 11 - IRCA en época de verano

PUNTOS	1	2	3	4	5	6
PARÁMETROS						
pH	7,01	6,2	6,72	5,15	6,25	4,6
<i>E.Coli</i>	560	880	520	120	300	100
Alcalinidad	91,96	3,74	43,34	<2,94	6,38	<2,94
DT	185	13,2	103	8	155	3
Fosfatos	0,17	0,07	<0,35	0,08	0,06	0,05
Nitratos	<0,35	<0,35	<0,35	<0,35	0,47	<0,35
Sulfatos	151	8,2	88,83	7,99	176	<4,0
Coliformes T	2223	1320	2100	1182	1110	930
Fluoruros	0,36	<0,05	0,21	<0,05	0,19	<0,05
IRCA	84,2105263	87,3684211	84,2105263	87,3684211	84,2105263	87,3684211
Nivel riesgo	Inviabile sanitariamente	Inviabile sanitariamente	Inviabile sanitariamente	Inviabile sanitariamente	Inviabile sanitariamente	Inviabile sanitariamente

Fuente: Autor

Según los datos obtenidos se evidencia que en época de verano la calidad del agua presenta valores de alto riesgo de contaminantes en el agua, a lo largo de todos los afluentes analizados y es posible afirmar que no es apta para consumo humano y conlleva un gran riesgo el hacer uso de ésta. Lo anterior, debido a que parámetros como la *Escherichia Coli* y coliformes totales no cumplen con los valores permisibles en la resolución 2115 en los 6 puntos analizados, lo cual podría dar indicios

de presencia de presencia de heces fecales, ya sea de animales o de seres humanos provenientes de aguas residuales domésticas, como lo expresaba Redondo & Echandi en el 2012 y Rock & Rivera en el 2014.

Además, los valores de pH óptimo no se cumplen para los puntos 2, 4, 5 y 6 que corresponden al Puente, la Carpintería, salida de la empresa Acerías Paz del Río y la Represa Gachaneca; esto se puede deber en el punto 2 a que el afluente tiene a su alrededor zonas de cultivos que quizá empleen fertilizantes para sus plantaciones, lo cual hace que al acumularse puede acidificar en cierto grado el agua, como lo mencionaba Bolaños y colaboradores en el 2017. Para los puntos 4 y 5 que corresponden a aguas de descargue minero, es posible la presencia de sustancias que pueden oxidarse como el cromo o el mercurio, provenientes de minería, como indicaban Manguña y colaboradores en el año 2010; también puede haber presencia de sólidos suspendidos de origen inorgánico (Beltrán, 2012) e incluso moléculas de dióxido de azufre que llegan por medio de precipitaciones al estar presentes en la atmósfera, debido a la quema de combustibles (Bolaños et.al., 2017).

Finalmente, en el punto 6 perteneciente a la represa Gachaneca el agua que también tiende a ser ácida, puede ser producto de precipitaciones con contenido de moléculas de dióxido de carbono (Zamora, 2009) o moléculas de dióxido de azufre (Bolaños et.al., 2017), las cuales son resultado de quema de combustibles principalmente u otros compuestos volátiles empleados en procesos industriales. Además, en época de verano la retención de contaminantes a la atmósfera aumenta sus niveles al calentar la superficie terrestre y liberar otro tipo de contaminantes por evaporación.

En las tablas 12 y 13 se muestra la información tanto de parámetros para calcular índice ICA como IRCA respectivamente, pero con datos tomados de época de invierno. Teniendo en cuenta esto, se realiza el mismo análisis en cuanto a calidad de agua, revisando los valores de buena, media y baja calidad.

Tabla 12 - ICA en época de invierno

PUNTOS	1	2	3	4	5	6
PARÁMETROS						
OD	51,5	67,2	32,4	59,7	58,5	68,3
SST	90	11,51	11,51	46	11,51	11,51
DQO	37	14,98	51	14,98	14,98	14,98
CE	962	311	321	3540	292	16
pH	5,57	6,01	6,77	2,9	6,86	7,04
ICA						
i OD	0,515	0,672	0,324	0,597	0,585	0,683
i SST	0,75	0,98547	0,98547	0,882	0,98547	0,98547
i DQO	0,51	0,91	0,26	0,91	0,91	0,91
i CE	4,46329431	0,20309223	0,25521102	30,3086521	0,10563816	0,97743056
i pH	0,47604237	0,59843497	0,88850197	0,11875234	0,93107433	1,02243633
ICA	0,44245039	0,59256255	0,44055219	5,56017996	0,66118123	0,91566738
CALIDAD	Baja	Moderada	Moderada	Baja	Moderada	Buena

Fuente: Autor

Para la época de invierno se tiene que el punto 6 (represa Gachaneca) mantiene sus niveles de buena calidad; en comparación con la época de verano que mostraba un nivel ácido en cuanto a su pH teniendo un valor de 4,6 y que ahora es de 7,04, es decir, un nivel estable; considerando el ciclo hidrológico y los procesos de precipitaciones que se dan de manera regular en época invernal, es posible afirmar que podría darse un nivel de alcalinidad en el agua de la represa tendiendo así la capacidad de regular los cambios en cuanto a la acidez (Sigler & Bander, 2017).

La intersección de la vía principal donde se ubica el punto 1 de muestreo continúa con sus niveles bajos de calidad de agua al igual que en época de verano; en el punto 4 (la Carpintería), en época de verano presentaba buena calidad y en invierno presenta bajos niveles, lo cual puede deberse a que las precipitaciones aumentan y con ello los niveles de escorrentía y por tratarse de un punto donde se unen las aguas residuales de las empresas que laboran en el lugar, puede ocasionar que se arrastren más contaminantes, ya sea porque en las empresas se presenten desbordamientos en sus piscinas de recolección de aguas residuales o se da un transporte de material que se emplea en cada proceso productivo, como lo menciona Rock & Rivera en el 2014. La empresa Germán Franco Carbón S.A.S y la empresa Acerías Paz de Río, puntos 3 y 5 respectivamente, muestran nuevamente niveles de calidad moderada en invierno al igual que en verano.

Para el %IRCA, en época de invierno se tomaron en cuenta los parámetros de pH, alcalinidad, dureza total, fosfatos, nitratos, nitritos, coliformes totales y fluoruros, con los cuales se pudo realizar el cálculo del índice de riesgo empleando la ecuación 9 especificada en la resolución 2115 de 2007 obteniendo los valores que se muestran en la tabla 13:

Tabla 13 - IRCA en época de invierno

PUNTOS	1	2	3	4	5	6
PARÁMETROS						
pH	5,57	6,01	6,77	2,9	6,86	7,04
Alcalinidad	91,96	3,74	43,34	<2,94	6,38	<2,94
DT	81	92	147	42	48	13
Fosfatos	0,11	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06
Nitratos	2,9	<0,35	-	-	-	-
Nitritos	0,16	0,027	<0,018	<0,018	<0,018	<0,018
Coliformes T	1030	890	860	68	740	142
Fluoruros	0,2	0,61	0,2	0,2	0,2	0,2
IRCA	73,4693878	67,3469388	61,2244898	67,3469388	67,3469388	67,3469388
Nivel riesgo	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto

Fuente: Autor

Analizando el índice de riesgo IRCA en época de invierno se evidenció que los niveles de riesgo bajaron de más del 80% a un promedio de 67% con respecto a la época de verano, sin embargo, aunque se presenta una reducción de niveles aún presenta un riesgo alto. Asimismo, en general la reducción en contaminantes puede deberse a que los niveles de caudales suben por mayor presencia de lámina de agua en los afluentes gracias a las precipitaciones, con lo cual el transporte de contaminantes puede ser más rápido o incluso disolverse (Beltrán, 2012). Además, los niveles de alcalinidad pueden llegar a ser más favorables en cuanto a que se regula de una mejor forma los niveles de acidez, esto también es gracias a la frecuencia de las precipitaciones (Sigler & Bauder, 2017).

En conclusión, los análisis de valores de parámetros de calidad del agua obtenidos en época invernal y en verano, muestran niveles altos de contaminantes en cuanto a índices de riesgo de calidad del agua (IRCA), por tal motivo se hace necesario buscar una serie de soluciones que puedan ayudar a los habitantes de Samacá a mejorar la calidad de sus afluentes a lo largo del municipio, asimismo, la modificación de patrones de comportamiento en sus actividades económicas generaría a futuro una mejoría en el recurso.

8.3 POSIBLES SOLUCIONES

8.3.1: Relación de la contaminación con el fenómeno del cambio climático y su incidencia en el recurso hídrico:

El implementar soluciones a problemáticas, como la expuesta durante este escrito, o en general de tipo ambiental se hace cada vez más necesario, ya que fenómenos como el cambio climático, del

que vemos sus efectos en gran medida hoy en día pueden tener origen en acciones como las expuestas (contaminación de fuentes hídricas por efectos de minería, agricultura, ganadería y demás). Según reportes del IPCC, un grupo intergubernamental compuesto por expertos en el cambio climático, los cuales aportan desde sus perspectivas ideas que permitan evaluar, analizar y buscar soluciones a problemáticas ambientales a partir de estudios realizados, situaciones como el aumento del promedio de la temperatura de la tierra y también de los cuerpos de agua como mares, océanos y otros, además de un desajuste en períodos de precipitaciones, intensidades y frecuencias de las mismas generaría pérdidas de biodiversidad e incluso humanas, principalmente por desastres naturales, estas ideas fueron evidenciadas en el año 2007 (Bernstein, Bosch, Canziani, Chen, Christ & Riahi, (2008).

Como se mencionó, efectos de este tipo de problemáticas podrían comprometer el desarrollo, fases reproductivas o migraciones en los individuos, además de ver afectada su distribución en sus hábitats, el tamaño poblacional y estructuras de estos por factores como “*modificación en los patrones de precipitación y aumento de temperatura*” (Böhning-Gaese, Jetz & Schaefer, 2008). En cuanto a las alteraciones que sufre el ciclo hidrológico podría comprometer la producción de nutrientes, la distribución e incluso el funcionamiento de los ecosistemas en los que interactúan diversas especies. Ahora bien, para el ser humano conllevaría un posible cambio en el volumen de los servicios ambientales y su calidad también al verse afectados los ecosistemas (Bernstein et al., 2008).

Otros casos a tener en cuenta para adaptar soluciones viables a problemáticas ambientales las expuso Uribe en su escrito “***El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina***” en el año 2015, donde mencionó que las variaciones en cuanto a “*la dinámica de las*

poblaciones de fauna y flora cuyos ciclos de vida dependen del regular funcionamiento de cuerpos de agua cuya dinámica se vería afectada por aumentos en la variabilidad climática y por cambios en la disponibilidad de agua'', han de ser motivantes para generar cambios. Así mismo, se debería considerar la *''afectación de la dinámica de poblaciones que habitan ecosistemas de alta montaña (páramos, lagunas y boques alto andinos) que podrían verse afectadas por los cambios hidrológicos que resulten como consecuencia de la pérdida y retirada de glaciares''*; incluso los sistemas agrícolas se podrían ver afectados, trasladados o incluso extintos por la pérdida de especies encargadas de polinizar e incluso controlar plagas que invaden y subsisten de las plantas en los cultivos.

Igualmente, Uribe evidenció qué en cuanto a la contaminación que se produce en el recurso hídrico se tiene que:

“Durante las últimas cuatro décadas, la contaminación y la descarga de nutrientes sobre los ecosistemas acuáticos han surgido como factores importantes de cambio en ecosistemas de agua dulce y costeros. La introducción excesiva de nutrientes en los ecosistemas acuáticos puede conducir a su eutrofización y a la consecuente pérdida de su productividad primaria y secundaria, así como a la extinción local de especies de peces y de otros animales acuáticos. El crecimiento acelerado en la producción de alimentos durante los últimos 40 años ha estado acompañado de un aumento igualmente significativo en la utilización de fertilizantes nitrogenados y fosforados que son las principales fuentes de nutrientes que causan la eutrofización de los ecosistemas acuáticos. Esto ha ocasionado la acumulación de fósforo y de

nitrógeno en fuentes de agua dulce en zonas agrícolas, y la hipoxia en los ecosistemas marinos costeros” (Uribe, 2015, p.25).

Incluso, se considera que *“el suministro de agua es también un servicio de aprovisionamiento fundamental que depende de la conservación de los ecosistemas y de su diversidad biológica. Las aguas superficiales (ríos, lagos, marismas y lagunas) son ecosistemas que proveen la mayor parte del agua”*, esto a nivel de América Latina, además de proveer de alimento y proteínas a animales, el mantenimiento de micro climas y también como medio de transporte (Uribe Botero, 2015).

8.3.2: Algunos tratamientos de remediación para el recurso hídrico:

En consecuencia y aunque se estudien alternativas de políticas públicas para la mitigación o compensación por daños al medio ambiente, se hace necesario plantear y desarrollar soluciones viables que puedan llegar a generar un cambio significativo en el entorno para reducir contaminantes; además de tener en cuenta la fuente del contaminante, dado que cada componente de las aguas residuales procede de cada actividad productiva realizada. Por tal motivo, se estudian alternativas para las aguas residuales de actividades mineras y otra para aguas residuales de actividades agrícolas o crianza y mantenimiento de animales como se ve en el municipio de Samacá, para su futura implementación.

En el año 2020, Asunción & Rosas en su revisión sistemática sobre remediación de aguas residuales producto de la minería subterránea mencionaron que:

“Actualmente en el mundo se dispone de una gran variedad de métodos como la biorremediación, que se da por hongos y bacterias; la fitorremediación, que se da por plantas transgénicas y la ficorremediación, que se dan por plantas vasculares y

algas. Además, hoy en día también existen diversos métodos no convencionales de remediación de bajo costo que ayudan a disminuir contaminantes como metales pesados presentes en el agua o en los suelos, en los cuales se usan materias vegetales vivas o materia inorgánica inerte que muchos de nosotros las desechamos sin saber las propiedades que pueden ayudar a remediar partes contaminadas del suelo, así como el agua'' (Asunción & Rosas, 2020, p.8).

Esto se plantea con el fin de cumplir la necesidad de tratar las aguas residuales producidas luego de cada actividad, y de este modo poder *“verificar la calidad en la que se encuentra, antes de ser reutilizado, volcados a un cuerpo natural de agua o descargados al sistema de alcantarillado.”* (Asunción & Rosas, 2020).

8.3.2.1: Aguas contaminadas por actividad minera:

Ahora bien, en cuanto a aguas contaminadas por efectos de la minería y que en su mayoría presentan metales pesados en su composición se ha encontrado que, según estudios llevados a cabo con la cáscara de plátano, el llevar a cabo una filtración adicionando este residuo orgánico así: *“al utilizar la cáscara directamente o como filtro, la cáscara de plátano deberá pasar por un proceso que consiste primero en deshidratarla, luego debe ser micro pulverizada, tamizada o cernida y finalmente mezclada con el agua o utilizada como filtro”*, este proceso ayuda a disminuir la concentración de metales pesados en aguas resultantes de actividades minera e incluso aquellas que tienen presencia de pesticidas tóxicos, teniendo en cuenta que *“una proporción de 5 ml por 100 de líquido es capaz de purificar en un 65% agua con moléculas de uranio, cadmio o níquel”*.(Palacios, 2014).

Incluso vale destacar que Palacios afirmó que *‘la cáscara de plátano, además de ser un residuo barato y altamente disponible, cuenta en su composición con hidroxila y carboxila de pectina, que son elementos capaces de absorber no sólo metales pesados sino también compuestos orgánicos’*, al mismo tiempo, sabiendo que los metales pesados en sí poseen una carga positiva se traduce en que las moléculas negativas provenientes de la pulverización de la cáscara de plátano los atraigan luego de una semana, en promedio, de secarse con ayuda de la luz solar; incluso si se decide repetir el proceso el agua tratada podría llegar a ser purificada completamente. Aunque es de importancia resaltar que el deshidratar la cáscara es clave para la efectividad del método, por ejemplo, en el estudio emplearon una autoclave y las cáscaras fueron sometidas por 32 horas continuas y en temperatura promedio de 60°C a la deshidratación, obteniendo un nivel de pérdida de agua de más del 80%. Para el estudio que se realizó como aplicación en una empresa petrolera que ofrece diversidad de servicios, el filtro se planteó de la siguiente forma:

“Estaba compuesto principalmente por una unidad compacta de polipropileno de 10" de alto por 4.5" de ancho, la cual tiene una porosidad de 50 micras que ayudó a retener la cáscara de plátano micro pulverizada, colocada en el compartimiento interior del filtro y a la vez permitió el paso únicamente del fluido contaminado, sin influenciar en el filtrado de los metales pesados ya que esta unidad compacta sólo retenía las partículas cáscara de plátano puesto a que estas superaban las 80 micras de diámetro y los metales pesados disueltos en agua únicamente tenían partículas menores a las 2.5 micras. La parte externa del filtro está compuesta por una carcasa de 10" de alto por 1" de ancho y una tapa que tiene un sistema de cañería por la que ingresa el agua, la distribuye hacia el interior del filtro y finalmente permite que el agua salga por el lado opuesto. Es muy importante que el agua que ingresa al filtro

circule despacio o el caudal sea bajo, para que la cáscara de plátano pueda realizar el proceso de captación de los metales pesados. La recirculación podría ser considerada porque tiene la ventaja de aumentar la remoción de los metales’’ (Palacios, 2014, p.83).

Al final y luego de emplear los 10mL de la cáscara micropulverizada, por cada litro de agua a tratar por contaminantes con metales pesados, se concluyó que *‘‘se logró la reducción del 70% en Bario, el 93.62% en Cadmio, el 90.99% en Plomo, el 93.82% en Níquel y el 65.52% de reducción de Vanadio’’*. (Palacios, 2014). Sin embargo, es de aclarar que este tipo de filtro expuesto para la empresa se diseñó teniendo en cuenta una inversión de capital para sus volúmenes de aguas contaminadas, mientras que en el caso de Samacá podría llevarse a cabo de una forma más sencilla y sin elevados costos.

Otra técnica empleando reactivos la evidenció Aduvire en el año 2019 en su escrito sobre ***‘‘innovaciones técnicas en el tratamiento de aguas ácidas de mina con recuperación de subproductos con valor económico’’***, allí se aconseja caracterizar las aguas provenientes de las minas para posteriormente elegir el tratamiento que más se adecue a las necesidades, además de analizar la posibilidad que se tiene de recuperar subproductos al final del proceso. Al final se aconseja el proceso por etapas, ya que se gestionan de mejor forma los recursos a emplear y posibilitar la recuperación de metales en los lodos resultantes, lo que resultaría en bajos costos y elevado control de este tipo de elementos para el medio ambiente y las fuentes hídricas.

En concordancia, el proceso a llevar a cabo es caracterizar los efluentes tomando medición de parámetros fisicoquímicos como pH, sólidos suspendidos y demás, aparte del contenido que se tenga de metales en el agua, luego de esto se realizan ensayos en laboratorio para determinar cantidades y funcionamiento con mejores resultados de los reactivos utilizados, los cuales se sugiere en el estudio (cal o NaOH, principalmente) para su posterior aplicación real en campo. Aduvire destacó que:

“Una variable importante en el diseño de los sistemas de tratamiento de aguas de mina es el consumo de material reactivo necesario para alcanzar la neutralización de los efluentes. Esta tasa de consumo experimental junto con las características hidráulicas y geoquímicas ayuda a determinar el tamaño de los dispositivos de tratamiento. La dosis de consumo de material reactivo obtenido, también determina la secuencia de la operación, los tiempos de tratamiento y el volumen de lodos a generarse durante el tratamiento. En los ensayos experimentales también se tiene en cuenta los caudales a tratar y las concentraciones presentes en los efluentes, estos últimos determinan si se realizará solo tratamiento o se realizará tratamiento con recuperación de metales. Si se elige sólo tratamiento el proceso será en una sola etapa (Proceso Directo), pero, si se opta por la recuperación de subproductos con valor económico el tratamiento será por etapas con separación de fases sólidas (Proceso por Etapas)” (Aduvire, 2019, p.3).

Comparando lo resaltado en el estudio entre procesos directos y por etapas (disolución de reactivos, agitación y decantación), es posible afirmar que la mejor opción es el proceso por etapas dado que se obtienen resultados favorables en cuanto a la remoción de la carga metálica existente.

Además, mostró que el uso de reactivos como la cal no son tal elevados, lo que genera un ahorro en insumos para el llevar a cabo el tratamiento, incluso permitirá *‘‘tener un proceso de menor costo de tratamiento del agua de mina, pero, además hay mejoras añadidas como la obtención de subproductos con posibilidades de aprovechamiento económico, menor requerimiento en el manejo de lodos, ente otras ventajas secundarias’’*. (Aduvire, 2019). Entre esas ventajas secundarias cabría mencionar que el agua resultante de estos procesos puede ser apta para su descarga final en los afluentes aledaños al cumplir con el previo control de calidad que se realiza y determinar si cumple con los niveles permisibles estipulados en la normativa vigente encargada de regular este tipo de procesos.

En caso de los llamados biosorbentes hay gran variedad de alternativas para su aplicación en reducción de contaminantes por metales pesados, estos son naturales y pueden provenir de procesos agrícolas, industriales o productos residuales, además son de bajo costo (Gutiérrez, Vargas & Pedreguera, 2013). Un ejemplo de ello fue evidenciado por Llanos, Ríos, Jaramillo & Rodríguez en el año 2016, los cuales expusieron las ventajas de la cascarilla de arroz como un material absorbente en tratamientos de remoción de contaminantes y metales pesados, teniendo en cuenta el tamaño de las partículas de la cascarilla, el nivel de pH a tratar, el tiempo de contacto con el agua y el tipo de metal a remover.

Algo similar ocurre con las cáscaras de naranja según Gutiérrez y colaboradores, describiendo que se emplean estos insumos de varias formas, una se encarga de cortar las naranjas en fracciones de 5cm y ser lavadas con abundante agua, para luego secarlas por unas 24 horas en horno a 60°C para reducir toda humedad que pudiera afectar el proceso de remoción de metales, seguido a esto se trituran y criban en un tamiz. Un proceso similar se sigue en otro tratamiento de la cáscara de

naranja, con la variación de agregar a esta mezcla una solución 0,2M de NaOH , con agitación posterior por dos horas y filtración para luego volver a secar. Este tipo de biomasas o biosorbentes facilitan posteriormente la bioabsorción, que se refiere a la absorción que se hace de los contaminantes en aguas residuales

8.3.2.2: Aguas domésticas, contaminadas por agentes químicos o producto de agricultura:

Con relación a este tipo de aguas residuales existen otro tipo de tratamientos que se han venido utilizando en diversidad de situaciones y se encargan de otro tipo de contaminantes presentes en el agua, en el caso de aguas domésticas, contaminadas por agentes químicos o producto de agricultura, se presentan en mayor medida el material orgánico o componentes nitrogenados en comparación a los metales pesados como se enfocó en la sección anterior. En el caso de estos compuestos nitrogenados, producto de pesticidas, herbicidas o incluso algunos abonos químicos para los suelos cultivados se presentan alternativas como las microalgas, así lo destacaron Galindo, Rivas, Meléndez & Mayorquín en el 2020 en su artículo titulado ***“Alternativas microbiológicas para la remediación de suelos y aguas contaminados con fertilizantes nitrogenados”***, donde:

“Se destacan los géneros Chlorella, Spirulina y Chlamydomonas. Éstas no sólo tienen efecto sobre los compuestos nitrogenados, sino también sobre el Fósforo, pesticidas, herbicidas y metales pesados entre otros compuestos, debido a su capacidad para acumular importantes concentraciones de compuestos tóxicos, sin afectar su actividad biológica, al mismo tiempo que liberan O₂ por medio de la fotosíntesis, mejorando la aireación en los cuerpos de agua. Dentro de los géneros de micro algas, los estudios coinciden en que la remoción de nitratos, nitritos y fosfatos en aguas contaminadas es mayor con Chlorella, con porcentajes de

remoción mayores al 50% durante el primer día, alcanzando valores máximos del 88.24%, para nitratos y 87.2%, para nitritos en el cuarto día del tratamiento’’ (Galindo, et.al, 2020, p.7)

Esto es posible gracias a que estos organismos poseen la capacidad de utilizar estos componentes contaminantes para su metabolismo y funciones como síntesis de ácidos, proteínas o aminoácidos que ayudarán en sus procesos celulares (Galindo et.al., 2020).

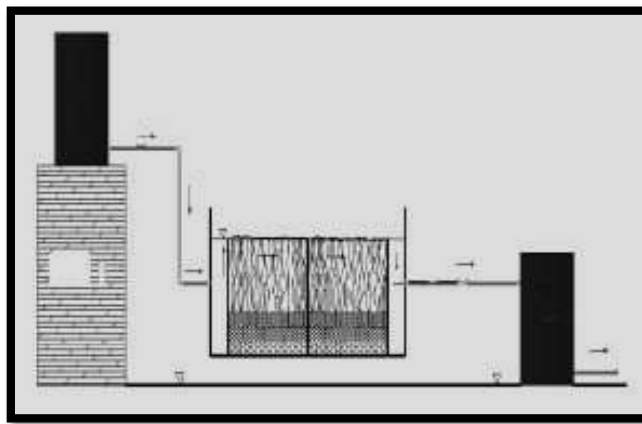
Continuando con el tema de plantas acuáticas, los humedales artificiales también aportan a la remediación de aguas contaminadas con la ayuda de algunas especies. Primero vale aclarar que estos humedales se caracterizan por su forma de canal, superficial, con presencia de material granular de distintos diámetros y con barreras de vegetación que se encuentran al nivel del agua con sus raíces sumergidas, estos no son de gran profundidad, lo que permite que las plantas presentes allí degraden los contaminantes por procesos biológicos y fisicoquímicos. (Rodríguez, Gómez, Garavito & López, 2010). Entonces, para el desarrollo de estos humedales Rodríguez y colaboradores desarrollaron dos reactores con dos especies de plantas acuáticas diferentes el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua común (*Lemna minor*) y lo desarrollaron de la siguiente forma:

“El sistema se alimenta de una mezcla de agua residual doméstica, industrial e institucional, la cual es transportada a un tanque de 30 L (un tanque individual por humedal); se distribuye mediante una tubería de ½ pulgada en PVC; luego, el agua residual sin tratar llega a una cámara pre-sedimentadora de sólidos de gran tamaño; de ahí, el agua pasa por un vertedero rectangular, para hacer la medición del caudal

de entrada y, posteriormente, entra a las dos cámaras del humedal artificial, donde se instalan las plantas acuáticas. El efluente llega a un tanque sedimentador posterior, donde se realiza la toma del agua tratada y después se vierte a un cuerpo de agua cercano” (Rodríguez, et.al, 2010, p.2).

Se hará referencia al uso de buchón de agua que presentó al final mejor remoción en niveles contaminantes. El reactor poseía una profundidad de 0,60 metros debido al largo de sus raíces, 1,20 metros de largo y 0,40 metros de ancho, una capa de grava en el fondo del tanque de aproximadamente 1 pulgada de diámetro, también se tuvo en cuenta el caudal que recibiría de 30 L/día y un tiempo de retención estipulado de 7 días (Rodríguez et.al, 2010). A continuación, se muestra en la ilustración 18 el esquema de lo ya mencionado:

Ilustración 18 – Quebrada receptora de aguas residuales prototipo experimental



Fuente: Rodríguez et.al, 2010.

En conclusión, el buchón de agua mostró resultados más eficientes con porcentajes de remoción entre 70% y 86%, además requiere periodos de tiempo cortos para llevar a cabo el proceso de purificación de agua contaminada (Rodríguez et.al, 2010). De igual forma, no presenta altos costos en implementación y operación, lo cual lo hace una buena opción para la comunidad de Samacá.

Por último, Villarroel en el año 2019 proporcionó una ***“Propuesta de aplicación de las islas flotantes artificiales para la remediación de aguas residuales en las industrias de la provincia de Cotopaxi”***, en este escrito exalta que su funcionamiento es similar al de los humedales artificiales, pero sin estar contenidos en un tanque, sino que se liberan directamente en el cuerpo de agua a tratar, asimismo menciona características como:

“La profundidad no suele superar los 60 cm y su lecho sirve como sustento y soporte para plantas emergentes como espadañas, carrizos y juncos. La función principal de la vegetación es proporcionar superficies y soporte para la formación de películas bacterianas, facilitar la filtración y la absorción de componentes del agua residual a tratar y permitir la transferencia de oxígeno a la columna de agua en tratamiento” (Villarroel, 2019, p.19).

Incluso Carvajal & Lazo en el 2017 destacaron en su proyecto ***“Uso de islas flotantes para la depuración de aguas residuales”*** que este tratamiento contribuye a la depuración de material orgánico, reducción en niveles de nitratos y fósforo, así como oxidando el amonio principalmente. Complementario a esto, Villarroel manifestó que estos sistemas *‘han demostrado ser eficientes en la remediación de aguas con contenidos de nutrientes, materia orgánica y sustancias tóxicas como arsénico, zinc, cadmio, cobre, plomo, cromo, y mercurio, a través de los diferentes procesos de fitorremediación’* (Carvajal & Lazo, 2017), aunque se sugiere de cuidado y mantenimiento para evitar convertirse en fuente contaminante.

Para su estructura, Villarroel manifiesta que se requieren materiales de bajo costo así:

“El marco está constituido por tubos y codos PVC de 2,5 pulgadas, pegamento de tubo, malla de poli cloruro de vinilo de 1.5cm de abertura, y correas de PVC, la estructura flotante tiene un área de 0,60 m². Para la incorporación de esta estructura flotante se le realizó en un cuerpo hídrico de 120 litros. En cada una de las estructuras flotantes se encuentra formado por 12 especímenes de forma paralela, cada una de estas estructuras cuenta con las especies con las que nos ayudan con la remoción de contaminantes” (Villarroel, 2019, p.21).

En cuanto al uso de vegetación se empleó la Achira (*Canna indica*), Pasto guinea (*Panicum Maximum*) y Vetiver (*Vetiveria zizanioides*), formando solo 3 matrices y adicionalmente se agregó un sustrato de fibra de coco, el cual refuerza desarrollo de raíces, ayuda a equilibrar el sistema y aporta nutrientes a las plantas y para esto sólo se extraen las fibras del coco, se lavan con agua y sal, luego se retira toda la sal y finalmente se seca. (Villarroel, 2019). En la ilustración 19 se muestra un prototipo de isla flotante perteneciente a Peña & Candela de su artículo “*Islas flotantes como estrategia para el establecimiento de plantas acuáticas en el Jardín Botánico de Bogotá*”:

Ilustración 19 – Prototipo de Isla flotante



Fuente: Peña & Candela, 2018.

8.3.3: Estrategia de divulgación para la población de Samacá:

Al ser un proyecto que va de la mano con la comunidad y se desea incluirla de forma activa, se analizaron estrategias de transferencia de conocimiento y tecnología, lo cual se refiere a todas aquellas acciones que se realizan por instituciones o de forma individual para desarrollar, aprovechar, usar, modificar y difundir aquellas nuevas tecnologías innovadoras con otros, ya sea personas, comunidades u otras instituciones según lo manifiesta el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (Minciencias, 2021).

Según investigaciones sobre modelos de transferencia tecnológica, el modelo “*Catch Up*” podría considerarse idóneo para la aplicación en este proyecto con la comunidad del municipio de Samacá, dado que se basa en “*imitación y captación de tecnología creada por un tercero, esquema que ha sido empleado activamente en Corea y Japón, países que han basado su desarrollo en la captación e imitación de tecnologías de terceros países*”. Para contextualizar y ejemplificar acerca de este modelo se usa el caso de Corea, que en los años 70’s adoptó cuatro mecanismos basados en educarse con el propósito de desarrollar los recursos humanos con capacidad para absorber conocimientos de transferencia tecnológica; transferencia tecnológica proveniente del extranjero; creación de grupos industriales y por último movilizar personal experimentado en tecnologías; para impulsar estos mecanismos el gobierno hizo restricciones a la inversión extranjera para fortalecer esos grupos industriales y así fomentar la exportación de productos del país, de esta forma impulsó la creatividad de las industrias e incentivo la movilización de personal para reclutar personas experimentadas y que fueran más competitivas.

Sin embargo, en los 80's se pierde la competitividad industrial, pero ante la problemática se impulsa la imitación creativa, que no es más que tener los conocimientos necesarios para impulsar iniciativas y complementándolos con ideas creativas que permitan avanzar con respecto a los planteamientos iniciales propuestos. (del Socorro López, Mejía, & Schmal, 2006).

Como conclusión de este caso en el país y en relación a la temática del proyecto, lo que se busca es implementar estos procesos en el municipio de Samacá, al introducir a la comunidad que desee participar en alternativas de remediación para fuentes hídricas, imitando los procesos que se llevaron a cabo en los diferentes estudios mencionados, para que una vez aprendidos, a mediano o largo plazo, se puedan implementar este tipo de opciones y tecnología propuesta.

9. IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO DEL PROYECTO

En lo referente a los impactos ambientales y sociales del proyecto, cabe resaltar la contaminación a la que se están viendo sometidas las distintas corrientes de agua del río Gachaneca, por cuenta de las diversas actividades productivas que se desarrollan en la zona y que vierten sus residuos a la mismas, además de otros factores como la escorrentía o dispersión de productos químicos a través de las corrientes de aire, con lo cual se ve afectada no sólo la calidad del aire en el municipio sino también la calidad del agua del afluente. Por tal motivo el caracterizar la zona para identificar las actividades productivas, facilitó identificar las diferentes fuentes de contaminación que se pueden encontrar allí y las posibles formas de reducir y eliminar su concentración.

Posteriormente la evaluación en cuanto a la calidad del agua en el municipio, guiado de la resolución 2115 de 2007 y documentos de la CAR, aportó unos resultados precisos acerca de las fuentes contaminantes que están afectando la calidad del agua en el municipio, además de suministrar información de gran utilidad al momento de plantear soluciones, de involucrar a la comunidad y de conducir a las buenas prácticas ambientales, en consecuencia, generar una conciencia ambiental para la preservación del entorno y específicamente del recurso hídrico en Samacá.

Con todo lo anterior, se establecieron unos impactos a corto, mediano y largo plazo en el desarrollo del proyecto; inicialmente se espera obtener una aceptación de la comunidad sobre las medidas propuestas para mejora de la calidad del agua en los afluentes del Río Gachaneca en el valle del

municipio de Samacá, de ese modo generar una disposición de los habitantes del municipio a cumplir con las normativas establecidas y evitar así la excesiva contaminación del recurso hídrico. Con base en la evaluación y valoración de las aguas provenientes de las distintas actividades productivas que se desarrollan en la zona con el paso del tiempo; a mediano plazo se plantea capacitar y luego de ello generar una adaptación, por parte de la comunidad, a realizar muestreos de agua para verificar índices de calidad, así como la implementación de buenas prácticas para evitar la contaminación de los afluentes de agua superficial, lo que conllevará a observar y generar actividades de limpieza en los afluentes de la cuenca del río Gachaneca, que tiempo después, la toma de datos mostrará valores un poco más acordes a los límites permisibles dados por la norma; a largo plazo se espera observar una mejoría en cuanto a la calidad del agua en diferentes puntos de toma de muestras, por ejemplo, evidenciando agua con mejor aspecto, sin olor, color o sabor aparente o que se asocien a niveles de contaminación altos.

Por último, en cuanto a los impactos sociales, la disminución en la calidad del agua del río, que es utilizada por gran parte de la comunidad para satisfacer diversas necesidades, hace que la población sea susceptible a sufrir por efectos adversos de posibles residuos químicos presentes en el agua, u otro tipo de enfermedades infecto-contagiosas al no hacer un buen uso del recurso o simplemente al no tener en cuenta los posibles contaminantes presentes en el mismo.

Cabe destacar que el papel del ingeniero ambiental, en este caso se centrará en tratar de generar un equilibrio entre las actividades socio-económicas que tienen lugar en el municipio y son fuente de ingreso para los habitantes de este y la conservación de la buena calidad del agua, esto con ayuda de proyectos de desarrollo como el presente.

10. CONCLUSIONES

- La caracterización del municipio de Samacá, como zona de estudio para este proyecto, sirvió para evidenciar que las principales actividades económicas que se desarrollan en los puntos establecidos son la agricultura, la minería y en parte la ganadería, con lo cual definir puntos de muestreo fue más sencillo, gracias a la literatura consultada con anterioridad y a las visitas realizadas al lugar para su posterior muestreo, análisis de datos y planteamiento de ideas alternativas para remediación del agua. Asimismo, el tener la represa Gachaneca como referente de buena calidad de agua posibilitó la comparación con otros puntos de muestreo como los de uso minero, los designados para cultivos e incluso evidencia que la calidad de agua es baja en el punto 1 aguas abajo que es la intersección de la vía principal, donde se unen todos estos afluentes y se mezclan todos los contaminantes característicos de cada actividad económica mencionada.
- El estudio previo del municipio de Samacá, evidenciado en el ***Boletín 1 parte A – Mapa de riesgo*** como parte del proyecto “***Plataforma Comunitaria para el monitoreo en la calidad del agua en la región de Samacá-Boyacá***”, con 16 puntos de muestreo a lo largo del municipio, permitió la identificación de los seis puntos más críticos en los afluentes estudiados, además de agruparlos según los que presentan la mayor cantidad de vertimientos provenientes de actividades económicas para el análisis de la calidad de agua y el análisis de riesgo a la calidad del agua actual en Samacá.

- La evaluación de la calidad del agua basada en la resolución 2115 de 2007 aportó indicios sobre el estado en que se encuentran los afluentes a lo largo del municipio, teniendo en cuenta además épocas de sequías y de lluvias para realizar las debidas comparaciones, de los parámetros de pH, conductividad eléctrica, *E.coli*, sulfatos, alcalinidad, entre otros. Al realizar un estudio con parámetros físico-químicos en el agua residual del municipio de Samacá, se pudo constatar que efectivamente la calidad del agua se está viendo afectada por diversos factores contaminantes, lo cual podría conllevar un riesgo a la salud no solo de los seres humanos, sino también de animales y organismos que tiene como hábitat este tipo de fuentes hídricas y dependen de ella para su supervivencia, ya que en general los valores de índice de riesgo fueron de valor alto, lo que significa presencia de contaminantes como metales pesados que aporta la industria minera gracias a las explosiones en las minas para obtener el carbón y en las industrias como tal al someter a procesos diversidad de materiales que aportan partículas al ambiente, también está la materia orgánica proveniente de aguas residuales domésticas, o compuestos químicos como los que se emplean en los cultivos para el mantenimiento y crecimiento de las plantaciones en el municipio.
- En general y tomando en cuenta el índice de calidad de agua (ICA) es posible afirmar que el punto 1 perteneciente a la intersección de la vía principal y el punto 4 perteneciente a la Carpintería son los de mayor grado de contaminación, en época invernal principalmente, aunque en la Carpintería presenta una mejoría en verano. Los puntos 5 y 3 pertenecientes a las salidas de las empresas Acerías Paz del Río y Germán Franco Carbón, respectivamente, se evidenció una calidad en nivel medio comprendido entre valores de 0,40 y 0,67, donde hay vertimientos de aguas industriales y mineras. El punto 2,

perteneciente al Puente, también se asocia a una calidad media, sólo que este es de uso agrícola; mientras que la Represa es el punto donde se presenta mejor calidad de agua durante época invernal y de verano. Esto concuerda con lo expresado en el boletín 1 parte A, por lo cual es posible afirmar que estos puntos son los de mayor cuidado y que deberían ser una prioridad al momento de implementar soluciones de remediación a las aguas residuales presentes en ellos, tomando como referente la calidad en la represa por sus niveles aceptables.

- Teniendo en cuenta lo que se ha mencionado el papel de los Ingenieros Ambientales debe estar encaminado a brindar posibles soluciones a este tipo de problemáticas, en este caso la comunidad que reside en el municipio de Samacá, por tal motivo se describieron diversidad de técnicas para problemáticas tanto mineras, como agrícolas; siendo el factor económico y la innovación los principales motivantes de estas iniciativas, además de emplear otro tipo de residuos como las cáscaras de naranja o del arroz y siendo las plantas acuáticas las soluciones más empleadas y con alta efectividad en la remoción de contaminantes en las aguas residuales. Todo esto con el fin de poder mejorar la calidad del recurso hídrico a corto, mediano y largo plazo en el municipio, modificando asimismo también hábitos que ponen en riesgo la calidad de agua con ayuda de metodologías de fácil aplicación e incorporación de las personas interesadas en participar durante el proceso.

11. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar toma de muestras más seguidas para constatar o descartar otras posibles hipótesis que se pudieran generar sobre la calidad del agua en el valle de Samacá; además de tener en cuenta un registro puntual sobre las actividades productivas que se dan allí, dado que incluso puede que hayan aumentado o disminuido a causa de variedad de factores económicos, de salubridad y demás.
- Ahora bien, en términos generales y teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, se sugiere que las soluciones planteadas se mantuvieran de forma sencilla, en vez de soluciones tecnificadas, esto con el fin de poder involucrar a la comunidad en los procesos de cuidado del medio ambiente y más específicamente del recurso hídrico que tanto se ve afectado en el municipio de Samacá, teniendo en cuenta además que no requieren de grandes inversiones y su mantenimiento es de bajo costo, en comparación a las máquinas e insumos que se requiere para otro tipo de soluciones, sin contar la mano de obra especializada para maniobrar y cuidar de los equipos.
- Por otro lado, se sugiere realizar tomas de muestras antes, durante y después, en tiempos establecidos y pertinentes luego de la aplicación de cualquier técnica planteada en el presente proyecto, dado que de tener un registro podrán manejarse de forma adecuada las cantidades propuestas para los compuestos a aplicar en las aguas residuales a tratar y de esa manera evidenciar la efectividad de la técnica aplicada y también la solución que más se adapte a las necesidades, tanto de empresarios interesados en participar de estas

iniciativas, como de los habitantes del municipio para proteger y conservar el recurso hídrico en Samacá.

- Es de tener en cuenta la opinión de la comunidad y empresarios con respecto a la/s técnica/s a implementar en procesos de recuperación de aguas contaminadas en el municipio, según su conveniencia, pertinencia y costos que surgen en el proceso. Asimismo, tener claridad en cuanto a la colaboración que estarían dispuestos a prestar para llevar a cabo este tipo de iniciativas, de este modo podría facilitarse el cumplimiento de tareas y garantizar resultados favorables para las personas en el municipio y el medio ambiente y fuentes hídricas principalmente afectadas allí.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta Bueno, D. M. (2016). Impactos Ambientales de la Minería de Carbón y su Relación con los Problemas de Salud de la Población del Municipio de Samacá (Boyacá), según Reportes ASIS 2005-2011. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/4130>
- Aduvire, O. (2019). Innovaciones técnicas en el tratamiento de aguas acidas de mina con recuperación de subproductos con valor económico. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 4(1), 55-64. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2519-53522019000100006&script=sci_arttext
- Arriaga, D. E. S., & Barriga, J. E. C. (2010). Análisis documental del efecto de vertimientos domésticos y mineros en la calidad del agua del río condoto (Chocó, Colombia). *Gestión y Ambiente*, 13(3), 115-130. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/25420>
- Asunción Alvarado, M. D., & Rosas Alegre, A. F. (2020). Remediación de aguas residuales producto de la minería subterránea. Una revisión sistemática entre los años 2010–2020. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/26240>
- Bebbington, A. J., & Bury, J. T. (2010). Minería, instituciones y sostenibilidad: desencuentros y desafíos. *Anthropologica Del Departamento De Ciencias Sociales*, 28(28), 53-84. Recuperado a partir de <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/anthropologica/article/view/1371>
- Beltrán-Vargas, J. E. (2012). Modelación dinámica de los sólidos suspendidos totales en el humedal Jaboque, Bogotá (Colombia). *Colombia forestal*, 15(2), 191-205. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392012000200004
- Benez, M. C., Kauffer Michel, E. F., & Álvarez Gordillo, G. D. C. (2010). Percepciones ambientales de la calidad del agua superficial en la microcuenca del río Fogótico, Chiapas. *Frontera norte*, 22(43), 129-158. Recuperado a partir de <http://www.scielo.org.mx/pdf/fn/v22n43/v22n43a6.pdf>
- Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R. y Riahi, K. (2008). IPCC, 2007: cambio climático 2007: informe de síntesis. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>
- Böhning-Gaese, K., Jetz, W., & Schaefer, H.-C. (2008), Impact of climate change on migratory birds: community reassembly versus. *Global Ecology and Biogeography*, 38-49. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1466-8238.2007.00341.x>
- Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 15-27. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0379-39822017000400015&script=sci_arttext
- Bonilla, O. S. (2002). Agenda ambiental del agua en Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 1(40), 39-49. Recuperado a partir de <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/1705>
- Cabrera Molina, E., Hernández Garciadiego, L., Gómez Ruíz, H., & Cañizares Macías, M. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua: Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de la Sociedad Química de México*, 47(1), 88-92. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932003000100014

Carbone, M. E., García Martínez, B., Marcovecchio, J. E., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. E. (2013). Impacto antrópico en la calidad del agua superficial de la cuenca media del arroyo Claromecó, Argentina. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/2992>

Carvajal, A., & Lazo, E. (2017). Uso de islas flotantes para la depuración de aguas residuales. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/41277>

Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Díaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua. *Ingeniería solidaria*, 10(17), 111-124. Disponible en: <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/view/811>

Chacón Chaquea, M. (2016). Análisis físico y químico de la calidad del agua. Ediciones USTA. <https://elibro.net/es/ereader/usta/68990?page=1>

Chalarca-Rodríguez, D. A., Mejía-Ruiz, R., & Aguirre-Ramírez, N. J. (2007). Aproximación a la determinación del impacto de los vertimientos de las aguas residuales domésticas del municipio de Ayapel, sobre la calidad del agua de la ciénaga. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (40), 41-58. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/20148/16995>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, 2021. *BOLETIN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA EN CORRIENTES SUPERFICIALES "ICA" 2014 - II*. Car.gov.co. Disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ada3c0d8daa1.pdf>

del Socorro López, M., Mejía, J. C., & Schmal, R. (2006). Un acercamiento al concepto de la transferencia de tecnología en las universidades y sus diferentes manifestaciones. *Panorama socioeconómico*, 24(32), 70-81. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/399/39903208.pdf>

ecologiaverde.com. 2021. ¿Qué es un AFLUENTE? - Definición, nombres y más. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/que-es-un-afluente-3264.html>

Elaguapotable.com. 2021. *Calidad del agua*. Disponible en: http://www.elaguapotable.com/calidad_del_agua.htm

Elordi, M. L., Colman Lerner, J. E., & Porta, A. A. (2016). Evaluación del impacto antrópico sobre la calidad del agua del arroyo Las Piedras, Quilmes, Buenos Aires, Argentina. *Acta bioquímica clínica latinoamericana*, 50. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/110148>

Fundación Aquae. 2021. *La escorrentía: un proceso clave en el ciclo del agua*. Disponible en: <https://www.fundacionaquae.org/escorrentia/>

Galindo, L. A. G., Rivas, A. C., Melendez, J. P., & Mayorquín, N. (2020). Alternativas microbiológicas para la remediación de suelos y aguas contaminados con fertilizantes nitrogenados. *Scientia et technica*, 25(1), 172-183. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7368100>

Garzón, J. M., Miranda, J. P. R., & Gómez, C. H. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Universidad y salud*, 19(2), 309-318. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v19n2/0124-7107-reus-19-02-00309.pdf>

Gobernación de Boyacá, 2021. *Hidrografía Boyacense - Gobernación de Boyacá*. Gobernación de Boyacá. Disponible en: <https://www.boyaca.gov.co/hidrografia-boyacense/>

Gómez Sierra, H., & Pinzón Castañeda, G. P. (2012). Análisis de la mitigación del impacto ambiental en el lago del parque La Florida, por fitorremediación usando buchón de agua. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/7129>

Guerrero Legarreta, M. (2010). El agua. FCE - Fondo de Cultura Económica. <https://elibro.net/es/ereader/usta/72081?page=16>

Gutiérrez, A. F. C., Vargas, D. D. C., & Pedreguera, A. Z. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Ingeniería*, 17(1), 1-9. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46729718001>

Herrera, D. P. A., Morales, M. O. B., Moreno, C. J. G., Alzate, J. V. O., & Castañeda, C. G. (2019). Biorremediación de aguas residuales mediante *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*. *Microciencia*, 8, 56-63. Disponible en: <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/microciencia/article/view/7400>

Herzer, H., Celis, A., Bartolomé, M., Rodríguez, C., & Caputo, G. (2003). El manejo de cuenca y su impacto en áreas urbanas. El caso de la llanura pampeana, Argentina. In *III Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas*, Arequipa: INRENA-FAO (pp. 9-13). Disponible en: <https://rehip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/661/El%20manejo%20del%20agua%20en%20el%20sector%20rural%20de%20la%20regi%C3%B3n%20pampeana%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

IDEAM, 2021. Conductividad Eléctrica. [Ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co). Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>

Ideam.gov.co. 2021. INDICADORES - IDEAM. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

Instruments, H. (14 de julio de 2014). Demanda química de oxígeno y materia orgánica. Hannaarg.Com. <http://www.hannaarg.com/blog/demanda-quimica-de-oxigeno-y-materia-organica/>

Lanza Espino, G. D. L. Hernández Pulido, S. (Comp.) y Carbajal Pérez, J. L. (Comp.). (2011). Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores) (2a. ed.). Plaza y Valdés, S.A. de C.V. <https://elibro.net/es/ereader/usta/39052?page=1>

Llanos Páez, O., Ríos Navarro, A., Jaramillo Páez, C. A., & Rodríguez Herrera, L. F. (2016). La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación. *Producción+ limpia*, 11(2), 150-160. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552016000200013

Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T., & Muñoz-García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>

Lozada, P. T., Vélez, C. H. 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 de Ingenierías: Universidad de Medellín*, 8(15), 3. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4845739>

Mañunga, T., Gutiérrez, H. M., Rodríguez, J. A., & Díaz, A. V. (2010). Tratamiento de residuos de DQO generados en laboratorios de análisis ambientales. *Ingeniería e investigación*, 30(2), 87-95. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3661775>

Mapa División Política—Alcaldía Municipal de Samacá. (s. f.). Recuperado 9 de abril de 2021, de <http://www.samaca-boyaca.gov.co/municipio/mapa-division-politica>

Martínez-López, AG, Padrón-Hernández, W., Rodríguez-Bernal, OF, Chiquito-Coyotl, O., Escarola-Rosas, MA, Hernández-Lara, JM, ... y Martínez-Castillo, J. (2014). Alternativas actuales del manejo de lixiviados. *Avances en química*, 9 (1), 37-47. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/933/93330767005.pdf>

Mejía, A. V. A., Aguirre, E. C., & Moya, J. V. (2012). Riesgos antrópicos generados por la actividad minera. *Letras Verdes*, (11), 53-63. Disponible en <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/3815/1/RFLACSO-LV11-04-Arguello.pdf>

Minciencias, 2021. *Transferencia de conocimiento y tecnología*. Disponible en: https://minciencias.gov.co/viceministerios/conocimiento/direccion_transferencia/transferencia-conocimiento

Ministerio de la Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2021. *resolución 2115 de 2007*. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf

Muñoz Carpio, J. C. (2007). Biosorción de plomo (II) por cáscara de naranja “citrus cinensis” pretratada. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/391>

Navas Cuenca, E. (Coord.). (2017). Calidad de aguas: usos y aprovechamiento. Editorial ICB. <https://elibro.net/es/ereader/usta/113231?page=1>

Nuestro municipio—Alcaldía Municipal de Samacá. (s. f.). Recuperado 10 de abril de 2021, de <http://www.samaca-boyaca.gov.co/municipio/nuestro-municipio>

Olguín, E. J., Hernández, M. E., & Sánchez-Galván, G. (2007). Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 23(3), 139-154. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992007000300004&script=sci_abstract&tlng=pt

Orozco, A. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales*. acodal. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=t5w5EZf1VhMC&oi=fnd&pg=PP17&dq=AGUAS+RESIDUALES&ots=MyW3ixErXf&sig=3XMYr5XFhsZ7fgJ1MF0iDJCamTo#v=onepage&q&f=false>

Pagiola, S., & Platais, G. (2002). Pagos por servicios ambientales. *Environment strategy notes*, 3. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Gunars-Platais/publication/265357785_Pagos_por_Servicios_Ambientales/links/55242d010cf2b123c51736b7/Pagos-por-Servicios-Ambientales.pdf

Palacios Redrobán, A. A. (2014). *Determinación del nivel de filtración que tiene la cáscara de plátano, para reducir metales pesados presentes en agua residual en la empresa weatherford, cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana, periodo 2014* (Bachelor's thesis, LATACUNGA/UTC/2014). Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2715/1/T-UTC-00253.pdf>

Peña, L. M., & Candela, C. L. (2018). Islas flotantes como estrategia para el establecimiento de plantas acuáticas en el Jardín Botánico de Bogotá. *Gestión y Ambiente*, 21(1), 110-120. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6687501>

PEÑA, O. S., RUBALCABA, S. C., NOVO, M. F., RODRÍGUEZ, Y. H., & Pérez, A. (2006). Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). *Higiene y*

Sanidad Ambiental, 6, 202-206. Disponible en:
[https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc51015aa031684_Hig.Sanid_Ambient.6.202-206\(2006\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc51015aa031684_Hig.Sanid_Ambient.6.202-206(2006).pdf)

Peña, S., Lesmes, Camilo., Peña, Julián. & Orozco, V. (2020). Plataforma Comunitaria para el monitoreo en la calidad del agua en la región de Samacá-Boyacá. Boletín 1 Parte A, Mapa de Riesgo. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/343047124_Plataforma_Comunitaria_para_el_monitoreo_de_la_Calidad_del_Agua_en_la_region_de_Samaca-Boyaca_Mapade_Riesgo

Peña-Salamanca E.J., Madera-Parra C.A., Sánchez, J. M. & Medina-Vásquez J. (2013). Bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de biorremediación: caso *Heliconia psittacorum* (heliconiaceae). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 37(145), 469-481. Disponible en: <https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/29>

Pérez Espejo, R., Aguilar Ibarra, A., Hansen, A. M., González Rodríguez, C., González Márquez, L. C., Bernal González, M., ... & Jara Durán, A. (2012). Agricultura y contaminación del agua. Disponible en: <https://ru.iiiec.unam.mx/1885/>

Pinos-Rodríguez, J. M., García-López, J. C., Peña-Avelino, L. Y., Rendón-Huerta, J. A., González-González, C., & Tristán-Patiño, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46(4), 359-370. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004

Porras Pardo, C. N. (2017). Estudio del buchón de agua (*Eichornia Crassipes*) para el tratamiento de aguas residuales. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/17528>

Pradana Pérez, J. Á. y García, J. (Coord.). (2019). Criterios de calidad y gestión del agua potable. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. <https://elibro.net/es/ereader/usta/111749?page=1>

Quintero, A. (2011). La gran Minería de Carbón en el Cesar. Disponible en: <https://www.semillas.org.co/apc-aa-files/353467686e6667686b6c676668f16c6c/articulo%2012.pdf>

Ramírez, A., Rodríguez, M. & Vega, Miguel. (2002). Factores socioculturales y medio ambiente en Samacá. *Apuntes del CENES*, 195-210. <https://revistas.uptc.edu.co/index.php/cenes/article/view/114/118>

Ramírez, C. A. S. (2021). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Ediciones de la U. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2fAYEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA33&dq=calidad+de+agua&ots=cdYKPk4Pai&sig=8Q6WebD2P3uIapBh4pmopFyzBAo#v=onepage&q=calidad%20de%20agua&f=true>

Redondo-Solano, M., & Echandi, M. L. A. (2012). Comparación de métodos para el análisis de coliformes totales y fecales en muestras de agua mediante la técnica de Número Más Probable (NMP). *UNED Research Journal/Cuadernos de Investigación UNED*, 3(2), 219-225. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/5156/515651980006.pdf>

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Lagos, M. D., & Jimenez, E. E. G. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+ D*, 16(2), 66-77. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>

Reynosa Navarro, E. (2015). *Crisis ambiental global. Causas, consecuencias y soluciones prácticas*. GRIN Verlag GmbH. Recuperado de: <https://www.aacademica.org/ern/16>

Rocha, L. J. (2017). *Minería del carbón en Boyacá y sus impactos ambientales*. Recuperado de: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/21316>

Rock, C., & Rivera, B. (2014). La calidad del agua, E. Coli y su salud. *College of Agriculture and life Sciences*, 1. Disponible en: <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf>

Rodríguez-Miranda, J. P., Gómez, E., Garavito, L., & López, F. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnología y ciencias del agua*, 1(1), 59-68. Disponible en: http://scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s2007-24222010000100005&lng=en

Rojano, A., & Ojeda, W. (2018). Calidad del agua y la agricultura urbana. Disponible en: <https://www.riego.mx/congresos/comeii2018/assets/ponencias/extenso/18053.pdf>

Ruiz, V. R. L. (2008). *Gestión eficaz de los procesos productivos*. Especial Directivos. Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Wz1tLl8uVWwC&oi=fnd&pg=PT19&dq=procesos+productivos&ots=kQn-q0-hgN&sig=iODvCZRS_u7V4lLlQhJSE3324vA#v=onepage&q=procesos%20productivos&f=true

Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e investigación*, 27(3), 172-181. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0120-56092007000300019

Sánchez Arriaga, D. & Cañón Barriga, J. (2010). Análisis documental del efecto de vertimientos domésticos y mineros en la calidad del agua del río condoto (Chocó, Colombia). *Gestión y Ambiente*, 13(3), 115-130. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/25420>

Sierra Ramírez, C. A. (2011). Calidad del agua: evaluación y diagnóstico. Ediciones de la U. <https://elibro.net/es/ereader/usta/70981?page=28>

Sigler, A., & Bauder, J. (2017). Alcalinidad, pH, y sólidos disueltos totales. *Obtenido de Well Educated Educación en el Agua de Pozo: http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS*, 20, 2012-11. Disponible en: http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf

Solanes, M., González-Villarreal, F. (2001). Los Principios de Dublin Reflejados en una Evaluación Comparativa de Ordenamientos Institucionales y Legales para una Gestión Integrada del Agua. Asociación Mundial del Agua (GWP) Comité de Consejo Técnico (TAC). <https://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/4/23444/gwp00296.pdf>

TerriData :: DNP . (Dakota del Norte). Gobernador Co. Obtenido el 20 de septiembre de 2021 de <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/perfiles/15646>

Trejo-Vázquez, R., & Bonilla-Petriciolet, A. (2001). Exposición a fluoruros del agua potable en la ciudad de Aguascalientes, México. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 10, 108-113. Disponible en: <https://www.scielosp.org/article/rpsp/2001.v10n2/108-113/es/>

Uribe Botero, E. (2015). El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. Disponible en:

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295_en.pdf;jsessionid=AF9418A272BD5F733E7D1CE37DA58E66?sequence=1

Vargas Quiñones, M. E. (2007). Calidad en el servicio. Universidad de La Sabana. <https://elibro.net/es/ereader/usta/69024?page=1>

Villanueva, M. C., & Esquivel, R. P. (2012). Impactos antropogénicos en la calidad del agua del río Cunas. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 2(2). Disponible en: <http://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/view/54>

Villarroel Guayasamin, J. P. (2019). *Propuesta de aplicación de las islas flotantes artificiales para la remediación de aguas residuales en las industrias de la provincia de Cotopaxi, 2019* (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).). Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6657>

Viñas Canals, M. (2005). Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos: caracterización microbiológica, química y ecotoxicológica. Universitat de Barcelona. Disponible en: <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/42392>

Viteri, S. E., & Velandia, J. (2006). Evaluación de asociaciones vegetales por su potencial como fuente de materia orgánica para los suelos de Samacá (Boyacá). *Agronomía Colombiana*, 24(1), 138-146. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/20011>

Zamora, J. R. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. *Pensamiento Actual*, 9(12), 125-134. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5897932>

**13. PRODUCTOS OBTENIDOS DURANTE LA TESIS COMO APORTE AL
PROYECTO MINCIENCIAS “PLATAFORMA COMUNITARIA PARA EL
MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA REGIÓN DE SAMACÁ”**