

**DIAGNÓSTICO DE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE
NECOCLÍ - ANTIOQUIA Y PROPUESTAS PARA SU
MEJORAMIENTO.**

POR:

**ELSY YULISA ALDANA TORRES
KATHERIN JULIETH TORRES OSORIO
TANIA MOSQUERA LÓPEZ**

ASESOR:

JAVIER COBALEDA

TRABAJO DE GRADO

**FACULTAD NACIONAL DE SALUD PÚBLICA
HÉCTOR ABAD GÓMEZ
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA**

2021

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	9
1. PLANTEAMIENTO	11
2. JUSTIFICACIÓN	17
3. OBJETIVOS.....	19
3.1 OBJETIVO GENERAL:.....	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	20
4. MARCOS DE REFERENCIA	20
4.1 GEOGRÁFICO	20
4.1.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO:.....	21
4.2 TEÓRICO (CONTEXTUAL)	23
4.2.1 HIDROGRAFÍA DE NECOCLÍ:.....	23
4.2.2 EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DE NECOCLI	24
4.2.3 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE NECOCLI.....	27
4.2.4 IMPACTOS NEGATIVOS EN LA SALUBRIDAD CIUDADANA	34
4.2.5 TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES QUE HAY EN COLOMBIA Y EN ANTIOQUIA.....	36
4.3 CONCEPTUAL.....	37
4.3.1. AGUAS RESIDUALES:.....	37
4.3.2 SANEAMIENTO:	47
4.3.3 ALCANTARILLADO:.....	48
4.3.4 LAGUNAS DE OXIDACIÓN O LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN:	48
4.4 NORMATIVO.....	48
4.5 REVISIÓN DE LA LITERATURA	51
5. HIPÓTESIS.....	55
6. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	56
6.1 ENFOQUE METODOLÓGICO	56
6.2 TIPO DE ESTUDIO	57
6.3 UNIVERSO.....	57
6.4 POBLACIÓN DE REFERENCIA	57
7. TIPO DE MUESTREO	58
7.1 MUESTRA Y MUESTREO.	58
8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	59

8.1 FUENTES DE INFORMACIÓN	60
9. FASES DE LA INVESTIGACIÓN	61
1. VARIABLES.....	63
11. CONSIDERACIONES ÉTICAS.....	64
12. ANÁLISIS.....	66
13. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.....	67
13.1. GESTIÓN DE RECURSOS	67
14. ANÁLISIS, RESULTADOS Y COMPARACIONES.....	71
14.1 CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO NUMERO 1: VERIFICACION DEL ESTADO Y DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS PROCESOS QUE SE EJECUTAN EN LA PTAR	71
14.2 CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO NUMERO 2: DESCRIPCION DE LAS CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL AL INGRESO Y SALIDA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	80
14.2.1 CARACTERIZACIÓN DE VERTIMIENTO.....	80
14.3 CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO NUMERO 3: ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EN TÉRMINOS DE REMOCIÓN DE CARGAS CONTAMINANTES. .	82
14.3.1 CAUDAL	82
14.3.2 ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUAS RESIDUALES.....	83
14.3.3 MEDIDOR DE FLUJO.....	84
14.3.4 DESARENADOR	84
14.3.5 SEDIMENTADOR PRIMARIO.....	84
14.3.6 REACTOR BIOLÓGICO	84
14.3.7 SEDIMENTADOR SECUNDARIO	84
14.3.8 DESINFECCIÓN.....	84
14.3.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS	86
14.4 CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO NUMERO 4: PROPUESTA DE UN DISEÑO, ESTRATEGIA DE ACTUALIZACION O MEJORAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	93
14.4.1 DISEÑO	93
15. CONCLUSIONES	97
16. RECOMENDACIONES	100
16.1 POBLACIÓN EN PROYECCIÓN – METODO GEOMETRICO (69).....	100
17. BIBLIOGRAFÍA:.....	103

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Revisión de la literatura.....	52
Tabla 2. Variables	63
Tabla 4. Valores límites máximos permisibles en los vertimientos de aguas residuales domésticas establecidos por la resolución 631 de 2015.....	80
Tabla 5. Análisis de laboratorio del afluente y efluente de la PTAR.....	80
Tabla 6. Comparación y verificación del cumplimiento de parámetros exigido por la resolución 631 de 2015.....	82
Tabla 7. Medición de caudal de salida de la PTAR.....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Colombia, Antioquia, región de Urabá	21
Figura 2. Mapa de Necocli	21
Figura 3. Mapa satélite Necoclí.....	22
Figura 4. Planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Necoclí	22
Figura 7. Esquema de las unidades del sistema de potabilización de agua, Necoclí Antioquia	26
Figura 8. IRCA Necocli, año 2020.....	26
Figura 9. Cimentación de tubería de alcantarillado	28
Figura 10. Mapa Alcantarillado del casco urbano de Necoclí.....	30
Figura 11. Esquema del sistema de Tratamiento de Aguas Residuales, Necoclí Ant.....	32
Figura 12. Trayectoria es de la planta de tratamiento hasta la laguna de oxidación	32
Figura 13. Esquema de la laguna de oxidación, Necocli Antioquia	33
Figura 14. Parámetros expuestos por el decreto.....	50
Figura 15. Cronograma	67
Figura 16. Presupuesto	68
Figura 17. Esquema Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (Recomendado).....	93

AGRADECIMIENTOS

Dando primeramente las gracias al Señor Jesucristo quien estuvo en medio de nosotros en esta etapa, dándonos la capacidad, la sabiduría, las fuerzas y el ánimo suficiente durante este tiempo; él, quien nos permite un logro más, quien nos enseña de cada error cometido durante el proceso, quien cada día extendía su misericordia con nosotras ayudándonos en cada situación adversa, ofreciéndonos la oportunidad de corregir cada falla y cada error cometido, permitiéndonos crecer como personas, como familia, como estudiantes, como compañeras, y hoy como profesionales, a él se lo debemos todo.

Agradecidas con la universidad de Antioquia quien abrió sus puertas para que entráramos a la obtención de nuevos conocimientos, la oportunidad de ser formadas como profesionales; cada docente, cada compañero de clases, cada persona que hizo parte de este proceso académico.

Con nuestras familias, quienes no dejan de sentir orgullo por los logros de cada una de nosotras, quienes esperan que estemos preparadas para enfrentarnos a la vida laboral, social y de esta manera tener mejores condiciones de vida. Ellos fueron un foco de esperanza, cada vez que sentíamos desfallecer pensábamos en ellos y recobrábamos ganas, han esperado pacientemente el momento en que podamos llevar a cabo nuestra carrera; su apoyo moral, económico han sido trascendentales en todo este tiempo.

GLOSARIO:

Aguas Residuales Domésticas (ARD): Son las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que correspondan a descargas de los servicios sanitarios, áreas de la cocina, lavado de ropa, entre otras.

Concentración: Denominase concentración de una sustancia, elemento o compuesto en un líquido, la relación existente entre su peso y el volumen del líquido que lo contiene.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) ó Demanda de oxígeno: Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados. Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.

Desinfección: Destrucción de bacterias y virus de origen fecal en las aguas residuales, mediante un agente desinfectante.

Pretratamiento: Procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario.

Sedimentación: Proceso físico de clarificación de las aguas residuales por efecto de la gravedad. Junto con los sólidos sedimentables precipita materia orgánica del tipo putrescible

Tratamiento anaerobio: Estabilización de un desecho por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

Tratamiento convencional: Procesos de tratamiento bien conocidos y utilizados en la práctica. Generalmente se refiere a procesos de tratamiento primario o secundario. Se excluyen los procesos de tratamiento terciario o avanzado

Laguna de oxidación: se llaman lagunas aeróbicas o lagunas de oxidación, cuando se usa el oxígeno molecular disuelto como aceptador de electrones, el proceso es aeróbico y se conoce también como respiración aeróbica.

Laguna de oxidación facultativa: Son aquellas que poseen una zona aerobia y una anaerobia, siendo respectivamente en superficie y fondo.

Deplorable: estado deplorable de algo es cuando se evidencian daños importantes, ya sean físicos o simbólicos; por lo tanto, merece una valoración negativa.

Excretas: son el resultado de la transformación de los alimentos en el aparato digestivo de personas y animales, luego de ser consumidos. En las excretas, llamadas también heces o materias fecales, hay microbios, parásitos y huevos de parásitos que causan enfermedades muy graves, algunas de ellas mortales.

Diagnóstico: alude, en general, al análisis que se realiza para determinar cualquier situación y cuáles son las tendencias. Esta determinación se realiza sobre la base de datos y hechos recogidos y ordenados sistemáticamente, que permiten juzgar mejor qué es lo que está pasando.

El tratamiento de aguas residuales o depuración de aguas residuales: consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua, efluente del uso humano o de otros usos

Características físicas: como el olor, sabor, color y turbidez posibilitan la vida.

Características biológicas: referidas a la cantidad de microorganismos que se encuentran en el agua, como virus, bacterias coliformes fecales, hongos, responsables de olores y sabores del agua

Carga contaminante: Es el producto de la concentración másica promedio de una sustancia por el caudal volumétrico promedio del líquido que la contiene determinado en el mismo sitio; en un vertimiento se expresa en kilogramos por día (kg/d).

Lodo: Suspensión de un sólido en un líquido proveniente de tratamiento de aguas, residuos líquidos u otros similares

Muestra puntual: Es la muestra individual representativa en un determinado momento.

Muestra compuesta: Es la mezcla de varias muestras puntuales de una misma fuente, tomadas a intervalos programados y por periodos determinados, las cuales pueden tener volúmenes iguales o ser proporcionales al caudal durante el periodo de muestras.

Punto de descarga: Sitio o lugar donde se realiza un vertimiento al cuerpo de agua, al alcantarillado o al suelo.

Soluciones individuales de saneamiento: Sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales implementados en el sitio de origen.

Vertimiento: Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido.

Vertimiento puntual: El que se realiza a partir de un medio de conducción, del cual se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua, al alcantarillado o al suelo.

Vertimiento no puntual: Aquel en el cual no se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua o al suelo, tal es el caso de vertimientos provenientes de escorrentía, aplicación de agroquímicos u otros similares.

Límites permisibles: Es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

Resumen

El trabajo se desarrolló en el municipio de Necoclí en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, la cual está dada a través de una laguna de oxidación que cumple aspectos anaerobios y facultativos, se encuentra ubicada dentro del casco urbano del municipio de Necoclí a menos de 30m de la zona residencial, esta no cuenta con el mantenimiento pertinente que necesita este tipo de sistemas, generando así una serie de inconvenientes técnicos como lo son las fugas y el deterioro de las tuberías, provocando olores ofensivos, afectación a la fauna y flora y aquejando a la comunidad continuamente.

La prestación del servicio se lleva a cabo desde la administración municipal en la dependencia de Secretaria de Planeación, Servicios Públicos, Vivienda y Ordenamiento Territorial. El objetivo principal de este proyecto fue presentar un diagnóstico sobre cómo se encontraba actualmente la PTAR por lo que inicialmente se recopiló suficiente información en la Administración Municipal, Corporación Autónoma Regional, Dependencia encargada de los Servicios Públicos Domiciliarios, población en general, además de las páginas oficiales y bases bibliográficas, acerca de la ubicación, estructura, diseño, cobertura, procesos, entre otros.

Esta planta cuenta con un porcentaje de cobertura del 78% para la zona urbana del municipio, ya que la zona rural dispone de sistemas improvisados de eliminación de excretas que se vierten a los caños y zanjas mientras que en la zona urbana el agua del efluente de la planta se vierte directamente al mar.

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales fue construida hace 40 años aproximadamente y no se estimó la población futura, actualmente no hay cobertura para la totalidad de los habitantes de la zona urbana del municipio de Necoclí, es decir, no se tuvo en cuenta el crecimiento poblacional que iba a tener este, por esta razón no satisface la demanda de aguas residuales del municipio, además el alcantarillado es combinado, y no existen aliviaderos que evacúen el agua del sistema antes de ingresar a la PTAR.

Posterior a esto, los procesos que se dan en la planta son ineficientes e inoperantes ya que no ayudan a la adecuada remoción de carga

contaminante ni a la correcta descontaminación del agua porque no son suficientes para lograr el apropiado funcionamiento de la planta.

Por esta razón y con el fin de conocer si se estaba realizando un adecuado proceso en el tratamiento de estas aguas se realizaron pruebas de laboratorio que comparan las características Fisicoquímicas del agua al entrar y al salir de la PTAR y teniendo en cuenta lo que dice la resolución 631 de 2015 y los parámetros establecidos para el vertimiento nos disponemos a desarrollar una propuesta de mejora que permita el eficaz funcionamiento de la PTAR.

Los procesos de la planta presentan grandes deficiencias y no cumplen a cabalidad con sus funciones de manera que también abarca problemas estructurales, por tal motivo se propuso la implementación de estructuras para medir el caudal de entrada, sistemas para retención de arenas como desarenador, sedimentadores primario y secundario, reactor biológico y un proceso de desinfección para evitar enfermedades de origen hídrico.

Palabras clave: Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), laguna de oxidación anaerobia, facultativa contaminación, sistemas de tratamiento, alcantarillado, aguas residuales, vertimiento, diagnostico.

1. Planteamiento

El agua es un elemento esencial para la existencia de vida en nuestro planeta; es una sustancia bastante común en la tierra, indispensable para el origen y supervivencia de la gran mayoría de formas de vida conocidas. Todos los seres vivos somos en mayor o menor medida agua, pues el cuerpo humano está compuesto de entre un 55 % y un 78 % de agua, teniendo en cuenta sus medidas y complejidad. (1)

Por mucho tiempo se ha caracterizado como un solvente que simplemente actúa como un vehículo para los movimientos difusivos de macromoléculas biológicas funcionales, tales como proteínas y ácidos nucleicos. Ahora está claro que, también, el agua juega un papel activo en la vida de la célula en muchas escalas de tiempo y distancia, por esto, aunque la vida en la tierra parece incapaz de existir de manera sostenida sin ella, esta dependencia es sutil y multifacética; esto no deja lugar a dudas de que ejerce una agencia activa en la vida, extendiendo, modificando, reestructurando, complementando y habilitando las funciones de las biomoléculas (2) y necesitamos consumirla en calidad y cantidad suficiente para vivir, es por ello que la humanidad ha almacenado y distribuido agua prácticamente desde sus orígenes. (3)

Debido a la contaminación de las fuentes de agua procedente de procesos y entornos antropogénicos industriales, domésticos, recreativos es necesario realizar su descontaminación para asegurar un consumo seguro y así evitar el brote de enfermedades vehiculizadas por el agua, que fueron las que dieron lugar no sólo al establecimiento de áreas protegidas (fuentes y sistemas de abastecimiento de agua potable), sino también a la descontaminación y el tratamiento de las aguas residuales para eliminar la mayor cantidad de microorganismos posibles.(4)

Es aquí donde entra el saneamiento básico como un derecho fundamental de los seres humanos, este derecho implica que toda persona, sin ningún tipo de discriminación, debe tener acceso físico y económico a servicios de saneamiento que sean seguros, higiénicos, aceptables social y culturalmente, que proporcionen privacidad y aseguren la dignidad. (5)

El artículo 366 de la constitución política nos menciona que el saneamiento será objeto fundamental de su actividad, la solución no solo de las necesidades insatisfechas en salud, sino también de educación, saneamiento ambiental y de agua potable.(6) Es un objetivo y una meta de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en el cual busca garantizar la

disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos, la prestación de servicios adecuados de agua y saneamiento es esencial para lograr los ODS, incluidos los relativos a la salud y a la igualdad de género. Mediante la gestión sostenible de estos recursos, se puede dar lugar a mejor la producción de alimentos y energía y contribuir al trabajo decente y al crecimiento económico; además, preservar los ecosistemas hídricos y su diversidad biológica, además de adoptar medidas para combatir el cambio climático. (7)

El saneamiento es fundamental para proteger la salud pública, debido a que el acceso a servicios inadecuados de agua, saneamiento e higiene tienen consecuencias importantes para asegurar la salud o la enfermedad de una población. (8) Se define como la forma en que los seres humanos promueven una vida saludable y una buena salud lo que significa que en cuanto se pueda garantizar el acceso al agua salubre y a instalaciones sanitarias adecuadas para todos, se habrá ganado una importante batalla contra todo tipo de enfermedades. (9)

Precisamente para preservar la salud y no exponernos a los residuos que nosotros mismos generamos como lo son las aguas residuales, es indispensable mejorar el acceso (de todos los entornos, hogares e instituciones, incluso todos los ecosistemas) a los servicios básicos de saneamiento y gestionar de forma segura toda la cadena de este mismo, teniendo presente las fases para hacerlo efectivo tales como su producción, recogida, transporte, tratamiento y disposición(10) para ello se han efectuado una serie de procesos consecutivos al interior de las plantas de tratamiento que ayudan a garantizar todos estos aspectos, pues estas se componen por un conjunto de operaciones y procesos unitarios de origen físico-químico o biológico que están envueltos por fenómenos de transporte y manejo de fluidos, entre ellos cabe mencionar:

El pretratamiento, que consta de:

- La recolección de aguas residuales
- El control de olores propios
- La remoción de objetos grandes
- El escaneo o maceración

El tratamiento primario, basado en:

- La sedimentación

El tratamiento secundario, que reúne los ciclos de:

- El tratamiento aeróbico

El tratamiento anaeróbico
Lodos activados
La sedimentación secundaria

y los **procesos de desinfección donde se realiza:**

La filtración y remoción de micro partículas
La ionización
El lagunaje
La desinfección

Y de esta manera evitar enfermedades que se deriven de estos residuos.

Pero lamentablemente en Colombia, así como en otros países de América Latina, la alta existencia de aguas residuales sin ningún tratamiento, crudas, vertidas en aguas superficiales y la baja proporción de aguas residuales bien tratadas, aun suelen representar un riesgo para la salud pública. Una de las prácticas más comunes de disposición final de las aguas residuales domésticas ha sido la disposición directa sin tratamiento en los cuerpos de agua y en el suelo, y la calidad de estas aguas puede generar dos tipos de problemas: de salud pública, particularmente importantes en países tropicales como es el caso de Colombia por la alta incidencia de enfermedades infecciosas, estos agentes patógenos se dispersan en el ambiente de manera eficiente a través de las excretas o las aguas residuales crudas (Mara, 1996), y los problemas ambientales, por afectar la conservación o protección de los ecosistemas acuáticos y del suelo, lo que contribuye a la pérdida de valor económico del recurso y del medio ambiente y genera a su vez una disminución del bienestar para la comunidad ubicada aguas abajo de las descargas (Pierce y Turner, 1990) (11)

Colombia es uno de los países con mayor riqueza hídrica en el mundo. El último reporte de las fuentes hídricas por país de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura posicionó al país como el sexto a nivel mundial en el ranking de este recurso (12) pero también somos el sexto país entre los nueve países más corruptos de América Latina. (13) a pesar de que el país invirtió dineros de regalías por 1,8 billones de pesos en 920 proyectos de agua y saneamiento básico, según la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (Súper-servicios), de los 1.122 municipios solo 541 (el 48,2%) tienen plantas de tratamiento de aguas residuales. La situación es más crítica según la Asociación Colombiana de Ingeniería, que asegura que apenas el 31% de ciudades tienen sistemas de tratamiento eficiente, (14) Convirtiéndose

esto en un foco que imposibilita la gestión oportuna del desarrollo en el saneamiento básico, pues este es una clara demostración de cómo la corrupción se apodera de los recursos, impidiendo el desarrollo en materia de saneamiento.

En Colombia, se cuenta con el Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales municipales (PMAR), el cual incluye en su contenido avances en el saneamiento de aguas residuales municipales, un programa llamado SAVER 2018-2022 y el PMAR 2020-2050. En cuanto al avance, Colombia ha registrado un progreso importante desde 2002 en el saneamiento de sus cuencas, pues en 2004 se formuló este plan priorizando acciones tales como la coordinación institucional y regional, la optimización de las operaciones de Sistemas de tratamiento de aguas residuales, el fomento a nuevas alternativas de manejo y tratamiento de aguas residuales, reglamentación y modificación normativa, entre otras; en el programa de saneamiento de vertimientos(SAVER)se ha desarrollado desde 2010 para precisamente priorizar y financiar cuyos sistemas de tratamientos municipales; pues con este se contribuye a avanzar en el saneamiento de las cuencas más contaminadas del país, además se estructuraran proyectos de tratamiento de aguas residuales bajo el mecanismo de Asociación Público-Privada.(15) Si bien hemos avanzado mucho, aún hay grandes retos en el saneamiento de vertimientos de aguas residuales municipales.

De acuerdo a lo estipulado por la legislación colombiana pactado en la ley 142 de 1994 es deber del prestador del servicio público domiciliario la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos líquidos. Este art 14 que es donde se dan las definiciones, nos menciona lo que significa prestar el servicio público domiciliario de alcantarillado. Cabe resaltar que también nos menciona que el estado intervendrá en la prestación de los servicios públicos para garantizar la calidad del bien objeto del servicio público y su disposición final para asegurar el mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios y también para brindar Atención prioritaria de las necesidades básicas insatisfechas en materia de agua potable y saneamiento básico. (16)

Un estimativo del caudal de aguas residuales generado por los centros urbanos identifica que en Colombia se están arrojando a los cuerpos de agua cerca de 67m³/s, en donde Bogotá representa más del 15.3%, Antioquia el 13 %, Valle del Cauca el 9.87% y los demás departamentos están por debajo del 5%. Esta proporcionalidad condiciona el grado de

impacto sobre las corrientes hídricas, y marca una tendencia en las regiones. (17)

Según la proyección 2005-2020 en el departamento de Antioquia, cerca del 85% de las 125 cabeceras municipales tienen una población de menos de 30.000 habitantes, (DANE) estos en general tienen graves deficiencias gubernamentales, institucionales, financieras y técnicas alejándose cada vez más de la capacidad para afrontar el desafío que trae consigo el tratamiento de aguas residuales. (18)

Las Corporaciones Ambientales de este departamento, específicamente Cornare y Corantioquia han realizado un significativo esfuerzo por dotar de sistemas de tratamiento a los municipios, tanto en las áreas urbanas como a los principales corregimientos, sin embargo, a pesar del esfuerzo realizado por las Corporaciones, no existe un trabajo metódico que evalúe las prácticas actuales, que defina aprendizajes y lecciones que permitan mejorar los diseños, los procesos constructivos, la operación, la financiación y la administración de las plantas de tratamientos de aguas residuales.(19)

El Municipio de Necoclí el cual se encuentra ubicado en el noroccidente de Colombia, Departamento de Antioquia y al costado oriental del Golfo de Urabá, según la proyección de población municipal por área 2005-2020 del DANE, nos indica que para 2020 cuenta con 70.824 habitantes, donde 17.568 están asentados en la cabecera municipal y 53.256 equivalen al resto de la población (20). Para el manejo de las aguas residuales, Necoclí cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales para el área urbana, con un porcentaje de cobertura el 78% y el resto de la población realizan redes de alcantarillado improvisadas, es decir disponen de sistemas de eliminación de excretas, donde la mayoría están conectados a pozos sépticos y otros vierten sus desechos líquidos a los caños, quebradas y zanjas, o a las mangas y solares circundantes; en el área rural algunos corregimientos cuentan con sistemas de alcantarillados veredales, los cuales son apoyados técnicamente por la secretaría de salud a pesar de que en ellos también se evidencia un funcionamiento deficiente. (21)

Claramente se puede observar una gran controversia entre el ser y el deber ser con relación a la planta de tratamiento de aguas residuales; en materia de legislación no se está cumpliendo lo establecido por la ley en el municipio, ya que este como muchos otros municipios del país presenta una considerable problemática en temas de tratamiento y disposición final

de las aguas residuales. En materia de disposición de estos desechos, en el municipio de Necoclí, se puede observar que finalmente el agua es conducida a las fuentes hídricas, afectando la vida acuática y también a las personas que asisten a este con fines de ocio, disfrute y deleite; pese a esto, durante mucho tiempo se han evidenciado diferentes enfermedades a raíz del contacto con dichas aguas, la falta del buen tratamiento contribuye a la proliferación de moscas y zancudos, causantes de enfermedades como chikungunya, dengue, paludismo, enfermedades gastrointestinales e infecciones cutáneas que afectan a la comunidad de Necoclí por lo cual conlleva a la siguiente pregunta: **¿En qué estado se encuentran los procesos de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la cabecera municipal de Necoclí y cuál es el nivel de conocimiento de los interesados al respecto?**

2. Justificación

El tratamiento de aguas residuales es hoy en día una de las necesidades más urgentes en las ciudades. Así lo ha hecho notar el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), que en un estudio publicado en marzo de 2017 señaló que el 66% de los municipios del país no cuentan con sistemas municipales de tratamientos de aguas.

Por ello, la operación de plantas de tratamiento de agua representa uno de los mayores desafíos para sanear el medio ambiente, aprovechar mejor los recursos naturales y obtener beneficios para las comunidades. (22)

La operación de plantas de tratamiento de agua no solamente debe tener por objetivo la reutilización del agua, ya sea para su uso en ciudades, para riego, en aplicaciones industriales o para su reintegración al medio ambiente, sino que, además, se debe asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad requeridos; es por ello que cada una de las tareas debe adecuarse a las normas de operación oficiales. (23) Esto reafirma la necesidad de poner en marcha sistemas de tratamientos de aguas y la necesidad de construir plantas capaces de restaurar el equilibrio ambiental en zonas afectadas por la contaminación. (24)

Las aguas contaminadas y la falta de saneamiento básico obstaculizan la erradicación de la pobreza extrema y de las enfermedades en los países más pobres. (25) Este es el caso del municipio de Necoclí, en el cual se encuentran una serie de condiciones en materia de saneamiento básico inadecuadas que obstruyen el buen desarrollo de la comunidad, limitándola a vivir en entornos insalubres y conllevando a aumentar la degradación de los ecosistemas, aspectos que repercuten en la salud y en la calidad de vida de los habitantes del municipio. Este flagelo afecta principalmente a la cabecera municipal ya que en las veredas se cuenta con alcantarillados veredales, también se observa que este es el punto de mayor conflagración por los olores ofensivos que se genera, el inadecuado servicio y la afectación ambiental en general.

Por todo lo anterior es necesario realizar un diagnóstico de la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Necoclí y plantear propuestas para su mejoramiento.

Nuestro proyecto resulta viable, y uno de los puntos a favor es que las autoras de dicho proyecto pertenecen a la región, más específicamente

del municipio donde se realizará el proyecto, siendo esto una gran ventaja en temas de contactos, economía y de conocimiento del problema; aparte de esto, se puede evidenciar el compromiso y la disposición por parte de los principales actores que intervienen en dicho proceso, se han mostrado interesados, dispuestos, preocupados y han expresado cuánto se requieren investigaciones en materia de la PTAR.

Este proyecto nos concede tener una mirada más profunda que permita a la sociedad Necocliseña visibilizar la situación que se está exponiendo para entender los factores que rodean la problemática, comprender por qué se está generando y buscar una posible solución que mitigue los impactos negativos que se presentan en toda la comunidad.

Como profesionales en el área ambiental y de la salud pública tenemos todas las capacidades para apoyar a la región y sociedad en general en todos los procesos donde se nos haga partícipes, se nos permita aportar y también crecer como lo es este trabajo que aparte de ser un instrumento útil para la comunidad Necocliseña será de gran fortalecimiento para las bases de esta carrera profesional ya que nos enseña puntos claves en la investigación, la obtención de información, la revisión de literatura sin mencionar los nuevos conceptos con los que afianzamos la construcción de este.

Con la realización de este proyecto se generaría una alerta en los interesados debido a que tener un diagnóstico implica el análisis de la situación presente, además permite entender cómo está funcionando la planta, conocer sus procesos, sus unidades, detectar los problemas que impiden el buen funcionamiento y desarrollo de la misma, también formular mejoras, recuperar lo que parece perdido y sobre todo implica tener una alternativa de solución.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General:

Diagnosticar los procesos que se ejecutan en la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Necoclí, departamento de Antioquia, en el primer semestre de 2021.

3.2 Objetivos Específicos:

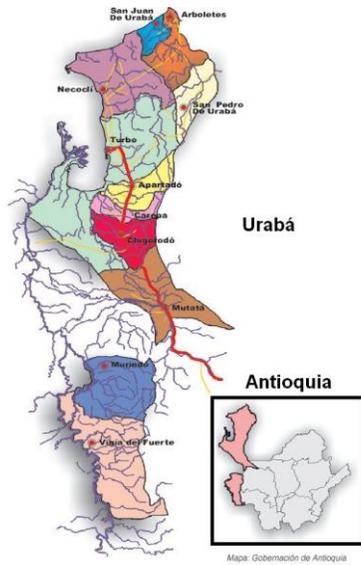
- Verificar el estado y el funcionamiento de los procesos que se ejecutan en la PTAR.
- Describir las características fisicoquímicas del agua residual al ingreso y salida de la planta de tratamiento.
- Analizar los resultados de los parámetros fisicoquímicos en términos de remoción de cargas contaminantes.
- Proponer una estrategia de actualización y mejoras del sistema de tratamiento de aguas residuales.

4. Marcos De Referencia

4.1 Geográfico

4.1.1 Localización Del Proyecto:

Figura 1. Mapa de Colombia, Antioquia, región de Urabá



Fuente: Google

Figura 2. Mapa de Necoci

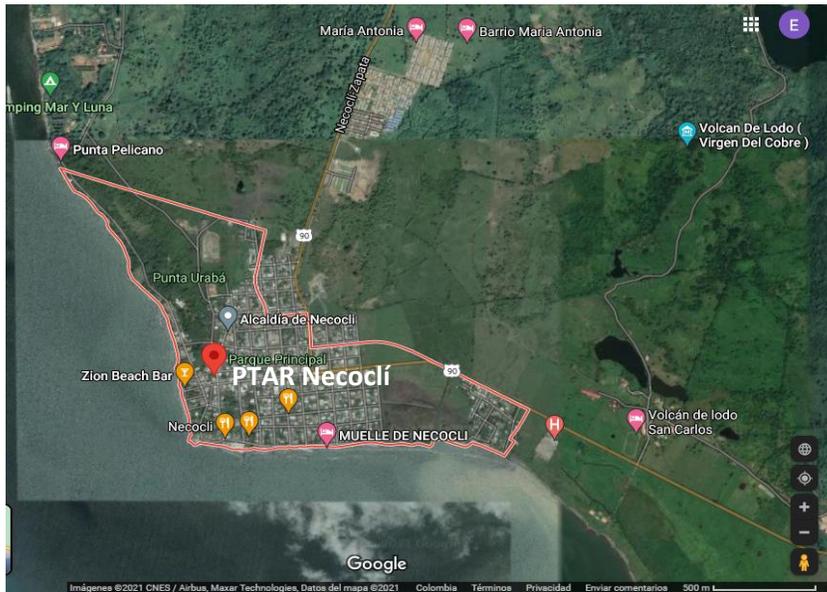


Fuente: Google

El proyecto de investigación se encuentra ubicado en el Municipio de Necoclí, municipio del departamento de Antioquia; denominado la Perla Solitaria del Golfo de Urabá, con una extensión total de 1361 Km², temperatura media de 28 °C y 6 metros sobre el nivel del mar. Su principal fuente de economía radica en la agricultura, se destaca con el plátano y el coco, también produce maíz, arroz, ñame, fríjol, yuca y frutas variadas; ganado mayor: Cebú (leche e industria del queso); turismo es la actividad económica de mayor potencial, especialmente por el uso que pueda dársele a los 95 kilómetros de playa con que cuenta el distrito, minería de Oro; pesca en buen volumen; madera y su industria básica; en cuanto a artesanías sobresalen productos elaborados con cáscaras de coco, manillas, collares y pulseras, hamacas y chinchorros, cortinas y lámparas en madera. La composición demográfica del municipio cuenta con una población de 70.824 habitantes. De la población total el 47,24%, es decir 27.273 corresponden a niños y niñas en edades de 0-19 años, caracterizándose como población supremamente joven y vulnerable; es importante resaltar que hay 1.288 indígenas o sea un 2.2% de la población. (26)

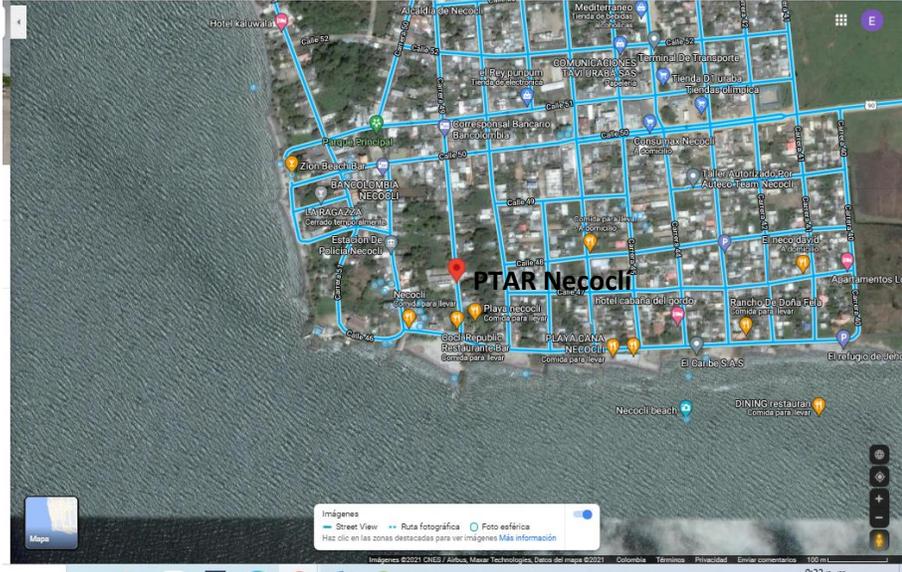
La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra ubicada en el área urbana del municipio de Necoclí, en el barrio caribe ubicado al Norte de este territorio; en la carrera 49 numero 46 - 105 en dirección al mar

Figura 3. Mapa satélite Necoclí



Fuente: Google Earth

Figura 4. Planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Necoclí



Fuente: Google Earth

4.2 Teórico (Contextual)

4.2.1 Hidrografía De Necoclí:

En el territorio Necocliseño hay predominio de planicies y pequeñas ondulaciones, con numerosos cerros que no sobrepasan los 200 metros de altura sobre el nivel del mar y que corresponden a las estribaciones de la Serranía de Abibe.

La principal arteria fluvial del municipio de Necoclí es el Río Mulatos.

El paisaje de este municipio, cuenta con una gran influencia del Mar Caribe, al contar con 95 kilómetros de litoral costero dentro y fuera del Golfo de Urabá y en el que se centra su atractivo turístico, complementado por el referente histórico y arqueológico, La Ensenada de Río-Negro, las Ciénagas La Marimonda y El Salado, los volcanes de lodos, sus artesanías, entre otros (26)

El Municipio de Necoclí cuenta con las Ciénagas El Salado y la Marimonda; relictos de manglar en Río Necoclí, Caños Urabá y Urabalito, Río Bobal, Río Caimán Viejo y Río Caimán Nuevo; Asociación Catival en la cuenca del Río Caimán Nuevo y humedales de la Ensenada de Rionegro en la Vereda Lechugal; humedales y áreas inundables de las Veredas Marimonda, Mulatos, Marimonda El Cerro, Cabañas y el Caballo y la Ensenada de Río-Negro.

4.2.2 Empresa De Servicios Públicos De Necocli

Hasta el año 2019 en el municipio de Necoclí existía un operador privado de servicios públicos de acueducto y alcantarillado, denominado Servicios Públicos S.A., esta empresa prestó sus servicios hasta finales del mes de diciembre, luego fue la Administración Municipal quien se hizo cargo de estas prestaciones como operador directo. Actualmente es quien ejerce las funciones del casco urbano de dicho municipio bajo la gobernanza del alcalde Jorge Tobón. (27)

La prestación del servicio se lleva a cabo desde la Secretaria de Planeación, Servicios Públicos, Vivienda y Ordenamiento Territorial; se han observado algunos cambios con relación a la entidad anterior, entre ellos se tiene la reducción del personal operativo (de 22 operadores pasaron a 8), la academia y experiencia del personal administrativo no a

finas con el área, la inversión en mantenimiento y compras de equipos, insumos y demás materiales necesarios para el funcionamiento.

4.2.2.1 Sistema de Tratamiento De Agua Potable en el Municipio De Necoclí

El sistema de acueducto en el municipio de Necoclí funciona hace más de 40 años aproximadamente, fue diseñado en ese momento para abastecer a tres localidades: barrio centro y dos barrios más (Simón Bolívar y Caribe), los cuales eran poblados por 3.000 habitantes; hoy en día cuentan con 17.568 habitantes esparcidos en 8 barrios de gran expansión en territorio; si hablamos a cerca de la población flotante, esta es mayor a la asentada; Necoclí por ser un municipio turístico, en épocas vacacionales como lo son los meses de abril, junio, diciembre, los residentes sufren mayormente por la ausencia total del líquido para poder cubrir la necesidad del agua en el sector turístico, tales como hoteles, establecimientos públicos y restaurantes.

La captación se realiza en la Ciénaga el Salado, Ciénega que hasta la fecha no ha sufrido crisis por ausencia o falta del líquido, por el contrario, es un afluente rico en flora y fauna, ya que se pueden evidenciar una amplia gama de especies vegetales, así como acuáticas durante todas las temporadas del año.

El material en el que están elaboradas las redes de acueducto es Asbesto, un material que actualmente ha creado grandes situaciones negativas al interior del municipio. Por un lado, sabemos que científicamente está comprobado que este tipo de material ocasiona grandes problemas de salud a los seres humanos, teniendo en cuenta que la tubería que transporta el agua de consumo es en dicho material y por otro lado debido al tiempo de antigüedad de las construcciones de estas redes, ha vuelto obsoleto el sistema, frecuentemente observamos grandes escapes de agua para el consumo en diferentes barrios del municipio, escapes que llevan al desperdicio de grandes cantidades de agua, impide el tránsito normal por la vía, además de deteriorarlas.

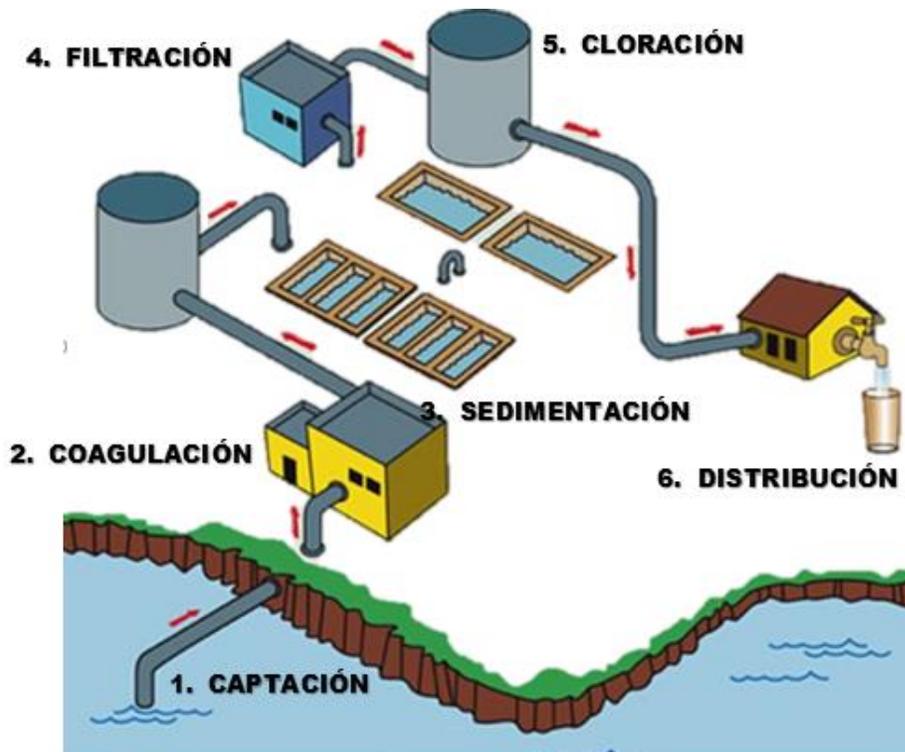
El agua en el municipio no es continua (24/7), todos los barrios tienen fluido del líquido solo algunas horas del día, estas no mayores de tres a cuatro en los barrios bajos y en los barrios que son más altos, solo llega agua al cerrar los canales de conducción de los barrios bajos, para que con la presión que ejerce el agua pueda subir y así abastecerlos, esto sucede en las horas de la madrugada, lo que implica que los habitantes

de ellos tengan que pasar largas horas de la noche esperando, e incluso haciendo conexiones de motobombas para poder almacenarlas y poder saciarse durante el día.

Actualmente la planta de potabilización está tratando un caudal de 35 l/s, de esta cantidad se pierde alrededor del 25%, debido a los fraudes, daños en accesorios y tuberías y demás factores que suman a este porcentaje. Con el crecimiento poblacional, se dice que el municipio de Necoclí necesita que este caudal mínimo sea de 150 l/s para al menos mejorar las condiciones del sistema.

En temas de calidad del agua, aunque a través del análisis microbiológico y fisicoquímicos que se realiza mensualmente por la Seccional de Salud del Departamento de Antioquia, se puede comprobar que la planta de potabilización genera agua no apta para el consumo humano, a los hogares llega en condiciones deplorables, lo cual ha llevado a que las personas tengan que buscar estrategias de filtrado para que al menos esta pueda ser usada en las labores domésticas. (27)

Figura 5. Esquema de las unidades del sistema de potabilización de agua, Necoclí Antioquia



Fuente: Autor

Figura 6. IRCA Necocli, año 2020

Mes	No. Muestras de Vigilancia	IRCA (%) Mensual	Nivel de Riesgo
Enero	3	22,58	Medio
Febrero	2	39,29	Alto
Marzo	SD	SD	SD
Abril	SD	SD	SD
Mayo	SD	SD	SD
Junio	SD	SD	SD
Julio	SD	SD	SD
Agosto	3	29,50	Medio
Septiembre	2	11,47	Bajo
Octubre	3	39,98	Alto
Noviembre	2	39,31	Alto
Diciembre	3	26,57	Medio
Enero - Diciembre	18	29,81	Medio

SD: Sin Datos

Fuente: Alcaldía de Necocli

4.2.3 Sistema De Tratamiento de Aguas Residuales en el Municipio de Necoclí

4.2.3.1 Alcantarillado

El sistema de alcantarillado es combinado, cumple la función de colector de aguas residuales y aguas lluvias, las aguas recogidas por los colectores son transportadas hacia la planta de tratamientos de aguas residuales con el propósito de descontaminarlas antes de descargarlas al mar.

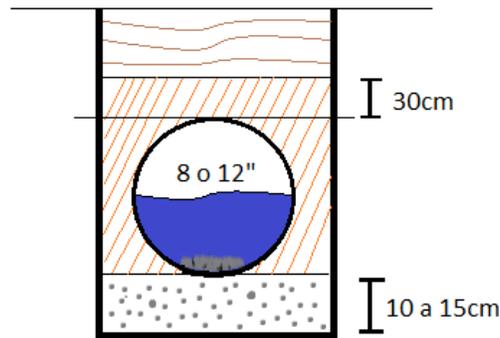
El alcantarillado de Necoclí fue construido hace aproximadamente 30 años, está compuesto por redes de recolección en Asbesto- Cemento, que por su antigüedad actualmente se encuentra obsoleto. Este alcantarillado fue diseñado para un aproximado de 3.000 usuarios que eran los que habitaban el municipio en esa época, con diámetros de 8 y 10 pulgadas, en su mayoría de 8; lo cual era suficiente y lograba atender la demanda de aguas residuales del municipio, debido al poco crecimiento y la estrecha extensión en el territorio. A medida que pasaba el tiempo el municipio fue creciendo en población, habitantes de municipios vecinos e incluso de otros departamentos fueron llegando en busca de oportunidades para mejorar su calidad de vida; este territorio urbano fue creciendo hasta alcanzar la construcción de nuevos barrios y acopios de nuevas viviendas. (28)

La cobertura de este servicio de alcantarillado abarca el 78% del casco urbano de la población (27), actualmente la población del municipio es dos veces más de la que había cuando construyeron el alcantarillado, estos nuevos usuarios fueron conectados a las tuberías principales para recolectar los vertimientos de sus aguas residuales domésticas, a través de tuberías de 6"; pero lamentablemente no se han desarrollado nuevos proyectos que permitan una ampliación adecuada del sistema de alcantarillado, logrando así solo el cambio de algunas tuberías principales que ya habían cumplido su vida útil y que no soportaban la cantidad de aguas residuales que eran vertidas, estos nuevos tramos quedaron con tuberías de 12".

El alcantarillado del municipio tiene un diseño de espina de pez, el cual está dado por una tubería central que recoge las aguas de filtración de una serie de tuberías situadas a ambos lados y acopladas a ella con un ángulo aproximado de 45°. Su estructura se ordena por las siguientes fases: lo primero que encontramos es una cama de material triturado o arenilla, con una altura de 10 a 15cm; luego esta introducido el tubo con

diámetro de 8 a 12" con un atraque de material seleccionado y compactado, este material también se rellena por encima del tubo 30cm; posterior a esto encontramos una cama de material común o resultante de la excavación y por último la A prima.

Figura 7. Cimentación de tubería de alcantarillado



Fuente: Autor

Del total de la población que reside en el casco urbano del municipio de Necoclí solo el 78% tiene cobertura por el sistema, el resto de la población realizan redes de alcantarillado improvisadas y para el caso de los nuevos barrios que se han ubicado en las partes más altas del municipio se construyen canales de alcantarillado que vierten en pozos locales que almacenan aguas residuales y que luego transitan en caños que se conectan directamente a la laguna de oxidación.

Estas estrategias que se han implementado de forma no planificada, han llevado a ocasionar múltiples situaciones negativas al interior de la comunidad, pues actualmente se pueden observar que estas redes son tan superficiales que se pueden ver a simple vista, en muchas ocasiones han generado olores molestos e irritantes, además de visualizar materias fecales en las vías peatonales.

La misma falta de planificación desde el área Administrativa Municipal ha permitido que las vías de este municipio hayan sido intervenidas para mejorar el acceso (pavimentadas) sin haber hecho las mejoras en el sistema de alcantarillado, es decir han embellecido las vías, sin tener en cuenta o dar la prioridad a los sistemas que cubren las necesidades básicas de los habitantes como lo son el acueducto y el alcantarillado; llevando a que luego de haber pavimentado las calles se vean obligados a intervenirlas nuevamente para hacer el cambio de las tuberías de estos servicios.(27)

El alcantarillado es combinado, lo que quiere decir que además de abarcar el transporte de aguas residuales domésticas, también trata con las aguas lluvias, convirtiéndose en un problema en la época de altas precipitaciones, ya que los caudales que generan las lluvias que van al sistema de alcantarillado, provoca que se cope la capacidad hidráulica de las redes. Estos flujos contienen una combinación de aguas pluviales y de aguas residuales que llevan una mezcla de contaminantes como lo son sólidos de gran tamaño (sedimentables), sólidos flotantes, grasas, compuestos orgánicos (DBO) y no orgánicos (parte de DQO), así como microorganismos patógenos (29).

Por otro lado, provocan el colapso de la planta de tratamiento de aguas residuales, debido a los caudales de aguas residuales que entran al sistema y que no pueden ser tratados en la PTAR ya que no cuenta con la capacidad hidráulica; obligando a que la planta detenga su funcionamiento mientras que los caudales se normalicen en los niveles promedio.

Figura 8. Mapa Alcantarillado del casco urbano de Necoclí



Fuente: Google Maps

4.2.3.2 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Municipio De Necocli

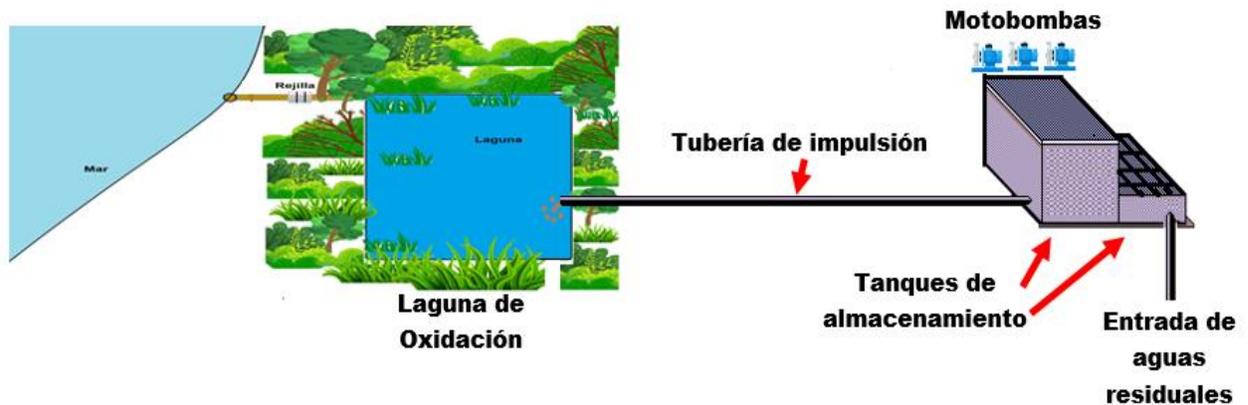
La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales fue diseñada para 3.000 usuarios, hoy son alrededor de 70.000 habitantes en el municipio, con este crecimiento demográfico no se avanza al mismo ritmo en temas relacionados con el saneamiento, no se han hecho mejoras en dicha planta de tratamiento.

Actualmente en la planta de tratamiento del municipio solo hay 3 puntos de llegada de aguas residuales, se encuentra funcionando uno, donde llegan las aguas domésticas, comerciales y pluviales de los barrios por medio de tuberías, siendo almacenadas en un tanque construido en concreto, el cual cuenta con un volumen de 96m^3 , que por su poca capacidad rebosa en muchas ocasiones, inundando todo el terreno de la planta alcanzando a desaguar en el mar.

Posterior a este almacenamiento, pasa a un segundo tanque paralelo con un volumen de 240m^3 donde cuenta con tres motobombas que funcionan al tiempo e impulsan el agua hacia la laguna de oxidación, estas bombas por su antigüedad muchas veces paran el proceso de bombeo, acumulando los residuos sólidos con los que llega el agua. Del primer tanque al segundo tanque hay una rejilla de cribado, pero esta no logra retener la materia sólida ya que las celdas de esta, están muy separadas y no cumple la función de filtración.

Las motobombas succionan el agua a través de mangueras de 4" sumergidas a una profundidad de 4m; en tiempos de verano se encuentran funcionando 15 horas, pero cuando hay altas precipitaciones trabajan las 24 horas del día, esto se da debido que en las temporadas de lluvias no se alivia el agua antes de ingresar al sistema de alcantarillado, impactando así negativamente el funcionamiento de la PTAR. Luego de esto, el agua llega a la laguna de oxidación, y esta última es la receptora de todas las aguas residuales que son enviadas desde la planta de tratamiento (27)

Figura 9. Esquema del sistema de Tratamiento de Aguas Residuales, Necolí Ant.

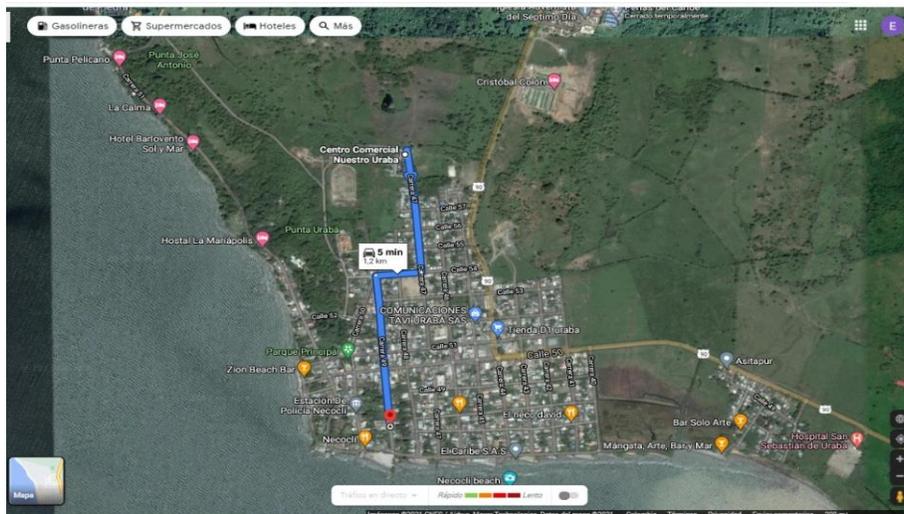


Fuente: Autor

4.2.3.2.1 Laguna De Oxidación del Municipio de Necolí

La laguna de oxidación está ubicada en el área urbana del Municipio de Necolí, exactamente en el Barrio Simón Bolívar, a una distancia aproximadamente de 1,2 kilómetros de los tanques de llegada de las aguas residuales. Esta laguna hace la recepción de las aguas residuales de todos los barrios que son bombeadas desde estos tanques y las redes que la transportan están elaboradas en material asbesto que atraviesan dos barrios del municipio.

Figura 10. Trayectoria es de la planta de tratamiento hasta la laguna de oxidación

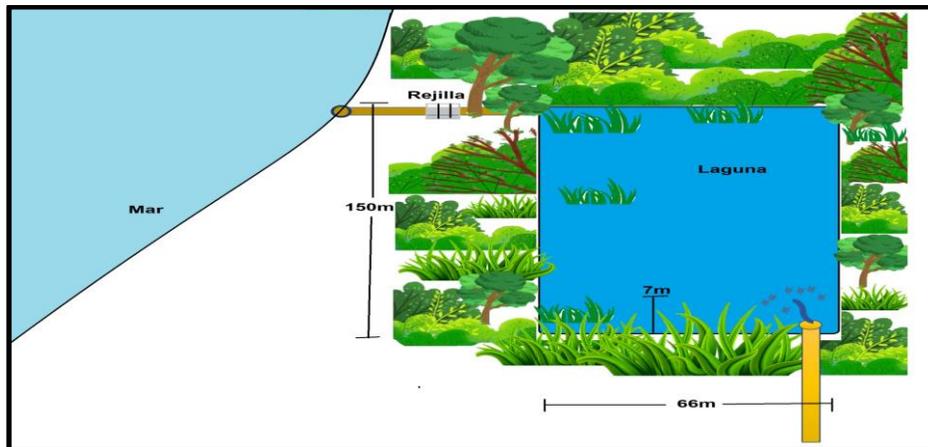


Fuente: Google Earth

Al llegar el agua a la laguna de oxidación tiene un proceso anaerobio y facultativo, en el cual se combina la sedimentación de sólidos y la acumulación de estos en el fondo, con la suspensión de materiales presentes en el agua residual en la superficie y con biomasa activa suspendida en el agua o adherida tanto a los lodos sedimentados como al material suspendido; las medidas que abarcan la laguna, están dadas por una profundidad de 7 metros, un ancho de 66 metros y largo de 96 metros aproximadamente.

Por otro lado, cumple con los aspectos del proceso facultativo debido que, cuentan con una zona aerobia en superficie y una anaerobia hacia el fondo y tienen como finalidad estabilizar la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionado principalmente por las algas presentes, en esta se encuentran cualquier tipo de microorganismos, tanto los que surgen en procesos anaeróbicos como los de procesos aeróbicos, necesarios para la asimilación bacteriana de compuestos orgánicos presentes en las agua, permitiendo además, por un lado, el reposo del agua y asentar materiales que por su peso son llevados a la profundidad de esta superficie; luego de esto es filtrada a través de unas rejillas elaboradas en hierro, permitiendo que más material residual sea retirado de estas, para finalmente ser conducida hasta el mar, vertiéndose por un lugar llamado "la boquita".

Figura 11. Esquema de la laguna de oxidación, Necocli Antioquia



Fuente: Autor

El mantenimiento de esta laguna de oxidación, no está establecido; esto se da cuando los operarios del área técnica consideran o se presenta alguna situación como escapes u obstrucciones. Estas fugas que

regularmente se dan cerca de la laguna, han aquejado la población de este barrio por mucho tiempo, debido a los olores desagradables, zancudos y demás roedores propicios de estas situaciones. (27)

El objetivo que cumplen las lagunas de oxidación está compuesto por una serie de procesos que permiten finalmente verter el agua ya estando descontaminada o mínimamente garantizando la reducción de los contaminantes activos en el líquido. (30)

4.2.4 Impactos Negativos en la Salubridad Ciudadana

A pesar de que la Agenda para el Desarrollo Sostenible 2030 ha ofrecido un nuevo impulso a los esfuerzos desplegados en todo el mundo, la OMS está emprendiendo y liderando la lucha por disminuir la carga mundial de enfermedades relacionadas con la ausencia de saneamiento, igualmente la medición de los niveles de acceso y el análisis de los factores que fomentan o que impiden lograr avances progresivos. Además, de que también promueve prácticas eficaces de evaluación y gestión de riesgos afines con la falta de saneamiento, esto lo hace mediante lineamientos, directrices e instrumentos normativos; aparte de esto, también contribuye con actores asociados para fortalecer el componente de saneamiento desde otras iniciativas sanitarias y medioambientales. (24)

En América Latina y el Caribe, las enfermedades diarreicas agudas (EDA), son una de las diez causas principales de muertes por año, debido a problemas en la calidad del agua, principalmente por manejo inadecuado de aguas residuales. (31) Los principales problemas que causan esta situación incluyen la falta de prioridad que se le da al sector, la escasez de recursos económicos, la carencia de sostenibilidad de los servicios de abastecimiento de agua, saneamiento y los malos hábitos de higiene.

A nivel mundial 1,8 millones de personas mueren cada año debido a enfermedades diarreicas (incluido el cólera) (32) y se piensa que un 88% de las enfermedades diarreicas son producto de un abastecimiento de agua insalubre y de un saneamiento y una higiene deficientes; 1,3 millones de personas mueren cada año de paludismo, se dice que el mejoramiento de la gestión de los recursos hídricos reduce la transmisión del paludismo y de otras enfermedades de transmisión vectorial; se calcula que 160 millones de personas padecen esquistosomiasis y que está estrechamente relacionada con la falta de higiene en la evacuación

de excretas y con la falta de servicios cercanos de abastecimiento de agua potable; 133 millones de personas padecen graves infecciones debidas a helmintos intestinales, que a menudo tienen consecuencias graves como alteraciones cognitivas, disentería importante o anemia; entre otras situaciones negativas que se tienen como raíz del problema el saneamiento. (33)

La población de América Latina se concentra en más del 80% de las ciudades, aun así, la provisión de agua es insuficiente y peor aún, el 70% de las aguas residuales no es tratada, lo que obstaculiza alcanzar el ciclo de agua particularmente en el reúso de esta, debido a sus altos grados de contaminación. Por ejemplo, en Perú, solamente se ha ejecutado el 30% de la inversión pública en tratamiento de agua, de acuerdo al Plan Nacional de Saneamiento Urbano y Rural las sustancias que contaminan el agua son orgánicas e inorgánicas, el alto contenido de arsénico inorgánico, plomo y cadmio conlleva a consecuencias negativas como el cáncer, la diabetes y las enfermedades cardiovasculares a gran parte de la población peruana. (34)

En otros países como lo es México el tratamiento de aguas residuales es uno de los puntos más críticos en la calidad del medio ambiente en muchas ciudades de México. Según datos del Consejo Consultivo del Agua, (Consejo que agrupa a organismos no gubernamentales y especialistas en el área), nos señala que solo el 47.5% de las aguas residuales son depuradas antes de ser vertidas a las fuentes hídricas. Los informes periciales que han sido recolectados por la prensa indican que, debido a la falta de un sistema efectivo de tratamiento de aguas residuales, existe el peligro de una crisis sanitaria en diferentes partes de México. (35)

El municipio de Necoclí no está exento de estas problemáticas en la salud de los habitantes, puesto que, a través del tiempo se han evidenciado serias afectaciones cutáneas, gastrointestinales, infecciones urinarias, enfermedades diarreicas, entre otras, como consecuencia del inadecuado manejo de las aguas residuales del municipio; actualmente se siguen presentando estas situaciones, aumentando el número de pacientes que consultan los diferentes servicios de salud para asistir este tipo de enfermedades.

4.2.5 Tratamientos de Aguas Residuales que hay en Colombia y en Antioquia

En el país existen actualmente 562 sistemas instalados en diferentes municipios del país. Lamentablemente, no todos los sistemas tratan la totalidad del agua residual producida: se estima que solo un 10% de los sistemas construidos tienen un adecuado funcionamiento. La tendencia en cuanto a sistemas de tratamiento de aguas en Colombia es la utilización de tratamientos secundarios, como la construcción de lagunas de estabilización (44%), sistemas de aireación extendida (9.4%) y filtros biológicos (7%). (36)

Según el informe “Estudio Sectorial de los Servicios Públicos Domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado”, presentado a finales de 2017 por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (Superservicios), solo 541 municipios de los 1.122 registrados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) cuentan con algún tipo de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Cundinamarca es el departamento con mayor cantidad de PTAR, con un total de 137; seguido por Antioquia, con 90; Boyacá, con 39; Cauca, con 37; y Tolima, con 36. Bogotá aparece listado con solo un sistema; sin embargo, cuenta con la infraestructura de la planta de tratamiento residual de Salitre.

Las Plantas de Tratamiento Residual son uno de los diferentes sistemas de tratamiento de saneamiento del agua y el más utilizado en Colombia. Para los casos de los departamentos y municipios que carecen de infraestructura de tratamiento de agua residual, es la autoridad ambiental la encargada de definir los esquemas de tratamiento en función de instrumentos.

El departamento de Antioquia cuenta con cerca de 90 plantas de tratamiento de agua residual. (37) Las plantas de tratamiento de aguas residuales se desarrollan a partir de diferentes etapas y cuatro fases principales de tratamiento: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

4.3 Conceptual

4.3.1. Aguas Residuales:

El término agua residual, más comúnmente utilizado en plural, aguas residuales, define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de vertidos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación. (39)

Se caracterizan por ser cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas, domésticas, urbanas y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores (aguas pluviales o naturales).

4.3.1.1. Características Físicas del Agua Residual:

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad.

4.3.1.2 Características químicas del Agua Residual:

Las características químicas de las aguas residuales se abordan en los siguientes cuatro apartados: 1. la materia orgánica, 2. la medición del contenido orgánico, 3. la materia inorgánica, y 4. los gases presentes en el agua residual.

4.3.1.3 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA RESIDUAL:

Las características microbiológicas que se deben tener en cuenta son principalmente grupos de microorganismos biológicos presentes, tanto en aguas superficiales como residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos, organismos patógenos presentes en las aguas residuales, organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia, métodos empleados para determinar los organismos indicadores, y métodos empleados para determinar la toxicidad de las aguas tratadas.(40)

4.3.1.4 Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales

- **Tratamiento Preliminar:**

Esta etapa no afecta a la materia orgánica contenida en el agua residual. En este tratamiento se remueven los sólidos de gran tamaño y las arenas presentes en las aguas residuales. Se conoce también como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales que pueden provocar daños al funcionamiento de los equipos involucrados en los diferentes procesos y operaciones que conforman el sistema de tratamiento.

- **Tratamiento Primario:**

En el tratamiento primario se efectúa un tamizado para eliminar las partículas en suspensión; un desarenado, para eliminar las arenas y sustancias sólidas que estén en suspensión y que no se sedimenten fácilmente y un sistema de trampas de grasas, aceites y sustancias flotantes para ser eliminadas del agua residual, a este proceso se le conoce también como tratamiento mecánico y se da mediante los siguientes procesos:

- **Remoción de sólidos:** En este proceso el afluente es filtrado en cámaras de rejillas con el propósito de eliminar los objetos grandes, tales como trapos, latas, frutas, papel higiénico, entre otros. Éste es el uso más comúnmente mediante una pantalla rastrillada automatizada mecánicamente.
- **Remoción de arena o des-arenador:** Es una estructura diseñada para retener la arena que traen las aguas servidas o las aguas superficiales a fin de evitar que ingresen al canal de aducción, a la central hidroeléctrica o al proceso de tratamiento y lo obstaculicen creando serios problemas.
- **Sedimentación:** Una vez eliminada la fracción mineral sólida, el agua pasa a un depósito de sedimentación donde se depositan los materiales orgánicos, que son retirados para su eliminación. El proceso de sedimentación puede reducir de un 20 a un 40% la DBO5 y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión. En esta etapa el agua residual se pasa a través de grandes tanques circulares o rectangulares. Estos tanques son llamados clarificadores primarios o tanques de sedimentación primarios, son lo suficientemente grandes, tanto que

los sólidos fecales pueden sedimentarse y el material flotante como la grasa y plásticos pueden levantarse hacia la superficie.

- **Flotación:** Una alternativa a la sedimentación, utilizada en el tratamiento de algunas aguas residuales, es la flotación, en la que se fuerza la entrada de aire en las mismas, a presiones de entre 1,75 y 3,5 kg por cm². El agua residual, súper saturada de aire, se descarga a continuación en un depósito abierto. En él, la ascensión de las burbujas de aire hace que los sólidos en suspensión suban a la superficie, de donde son retirados. La flotación puede eliminar más de un 75% de los sólidos en suspensión.
- **Digestión:** La digestión es un proceso microbiológico que convierte los lodos, orgánicamente complejo, en metano, dióxido de carbono y un material inofensivo similar al humus. Las reacciones se producen en un tanque cerrado o digestor, y son anaerobias, esto es, se producen en ausencia de oxígeno. La conversión se produce mediante una serie de reacciones. En primer lugar, la materia sólida se hace soluble por la acción de enzimas. La sustancia resultante fermenta por la acción de un grupo de bacterias productoras de ácidos, que la reducen a ácidos orgánicos sencillos, como el ácido acético.
- **Desecación:** Los lodos digeridos se extienden sobre lechos de arena para que se seque al aire. La absorción por la arena y la evaporación son los principales procesos responsables de la desecación. El secado al aire requiere un clima seco y relativamente cálido para que su eficacia sea óptima, y algunas depuradoras tienen una estructura tipo invernadero para proteger los lechos de arena. Los lodos desecados se usan sobre todo como acondicionador del suelo; en ocasiones se usa como fertilizante, debido a que contiene un 2% de nitrógeno y un 1% de fósforo.

- **Tratamiento Secundario**

Una vez eliminados de un 40 a un 60% de los sólidos en suspensión y reducida de un 20 a un 40% la DBO₅ por medios físicos en el tratamiento primario, el tratamiento secundario reduce la cantidad de materia orgánica en el agua. Por lo general, los procesos microbianos empleados son aeróbicos, es decir, los microorganismos actúan en presencia de oxígeno disuelto. El tratamiento secundario supone, de hecho, emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos. En presencia de oxígeno, las bacterias aeróbicas convierten la materia

orgánica en formas estables, como dióxido de carbono, agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos. La producción de materia orgánica nueva es un resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico, y debe eliminarse antes de descargar el agua en el cauce receptor. Comprende procesos biológicos aerobios y anaerobios y físico-químicos (floculación) para reducir la mayor parte de la DBO.

- **Filtro de goteo:** En este proceso, una corriente de aguas residuales se distribuye intermitentemente sobre un lecho o columna de algún medio poroso revestido con una película gelatinosa de microorganismos que actúan como agentes destructores. La materia orgánica de la corriente de agua residual es absorbida por la película microbiana y transformada en dióxido de carbono y agua. El proceso de goteo, cuando va precedido de sedimentación, puede reducir alrededor de un 85% la DBO₅.
- **Lodo activado:** Se trata de un proceso aeróbico en el que partículas gelatinosas de lodo quedan suspendidas en un tanque de aireación y reciben oxígeno. Las partículas de lodo activado llamadas floc, están compuestas por millones de bacterias en crecimiento activo aglutinadas por una sustancia gelatinosa. El floc absorbe la materia orgánica y la convierte en productos aeróbicos. La reducción de la DBO₅ fluctúa entre el 60 y el 85 por ciento. Un importante acompañante en toda planta que use lodo activado o un filtro de goteo es el clarificador secundario, que elimina las bacterias del agua antes de su descarga.
- **Estanque de estabilización o laguna:** Otra forma de tratamiento biológico es el estanque de estabilización o laguna, que requiere una extensión de terreno considerable y, por tanto, suelen construirse en zonas rurales. Las lagunas opcionales, que funcionan en condiciones mixtas, son las más comunes, con una profundidad de 0,6 a 1,5 m y una extensión superior a una hectárea. En la zona del fondo, donde se descomponen los sólidos, las condiciones son anaerobias; la zona próxima a la superficie es aeróbica, permitiendo la oxidación de la materia orgánica disuelta y coloidal. Puede lograrse una reducción de la DBO₅ de un 75 a un 85 por ciento.
- **Filtro percolador:** Se utiliza la capa filtrante de goteo utilizando plantas más viejas y plantas receptoras de cargas más variables, las camas filtrantes son utilizadas donde el licor de las aguas residuales es rociado en la superficie de una profunda cama compuesta de coque

(carbón, piedra caliza o fabricada especialmente de medios plásticos). Tales medios deben tener altas superficies para soportar los biofilms que se forman. El licor es distribuido mediante unos brazos perforados rotativos que irradian de un pivote central. El licor distribuido gotea en la cama y es recogido en drenes en la base. Estos drenes también proporcionan un recurso de aire que se infiltra hacia arriba de la cama, manteniendo un medio aerobio. Las películas biológicas de bacterias, protozoarios y hongos se forman en la superficie media y se comen o reducen los contenidos orgánicos. Este biofilm es alimentado a menudo por insectos y gusanos.

- **Placas rotativas y espirales:** En algunas plantas pequeñas son usadas placas o espirales de revolvimiento lento que son parcialmente sumergidas en un licor. Se crea un flóculo biótico que proporciona el sustrato requerido.
- **Filtros aireados biológicos:** Filtros aireados (o anóxicos) biológicos (BAF) combinan la filtración con reducción biológica de carbono, nitrificación o desnitrificación. BAF incluye usualmente un reactor lleno de medios de un filtro. Los medios están en la suspensión o apoyados por una capa en el pie del filtro. El propósito doble de este medio es soportar altamente la biomasa activa que se une a él y a los sólidos suspendidos del filtro. La reducción del carbón y la conversión del amoníaco ocurre en medio aerobio y alguna vez alcanzado en un sólo reactor mientras la conversión del nitrato ocurre en una manera anóxica. BAF es también operado en flujo alto o flujo bajo dependiendo del diseño especificado por el fabricante.
- **Reactores biológicos de membrana:** MBR es un sistema con una barrera de membrana semipermeable o en conjunto con un proceso de fangos. Esta tecnología garantiza la remoción de todos los contaminantes suspendidos y algunos disueltos. La limitación de los sistemas MBR es directamente proporcional a la eficaz reducción de nutrientes del proceso de fangos activos.

- **Tratamiento Terciario:**

Tratamiento terciario o avanzado que está dirigido a la reducción final de la DBO, metales pesados y/o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos.

- **Remoción de nutrientes:** Las aguas residuales poseen nutrientes pueden también contener altos niveles de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que eso en ciertas formas puede ser tóxico para peces e invertebrados en concentraciones muy bajas (por ejemplo, amoníaco) o eso puede crear condiciones insanas en el ambiente de recepción (por ejemplo: mala hierba o crecimiento de algas). Las malas hierbas y las algas pueden parecer ser una edición estética, pero las algas pueden producir toxinas, y su muerte y consumo por las bacterias (decaimiento) pueden agotar el oxígeno en el agua y asfixiar los peces y a otra vida acuática. Cuando se recibe una descarga de los ríos a los lagos o a los mares bajos, los nutrientes agregados pueden causar pérdidas entrópicas severas perdiendo muchos peces sensibles a la contaminación en el agua. La retirada del nitrógeno o del fósforo de las aguas residuales se puede alcanzar mediante la precipitación química o biológica.
- **Desinfección:** El propósito de la desinfección en el tratamiento de las aguas residuales es reducir sustancialmente el número de organismos vivos en el agua que se descargará nuevamente dentro del ambiente. La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua que es tratada (por ejemplo: turbiedad, pH, etc.), del tipo de desinfección que es utilizada, de la dosis de desinfectante (concentración y tiempo), y de otras variables ambientales. El agua turbia será tratada con menor éxito puesto que la materia sólida puede blindar organismos, especialmente de la luz ultravioleta o si los tiempos del contacto son bajos. Generalmente, tiempos de contacto cortos, dosis bajas y altos flujos influyen en contra de una desinfección eficaz. Los métodos comunes de desinfección incluyen el ozono, la clorina, o la luz UV. La Cloramina, que se utiliza para el agua potable, no se utiliza en el tratamiento de aguas residuales debido a su persistencia. (41)

4.3.1.5 Aguas Residuales: Domésticas

Las aguas residuales domésticas (ARD) son por antonomasia, las aguas que más fácilmente se pueden tratar, dadas las siguientes condiciones, prácticamente universales: (I) baja concentración de DBO5, entre 200 y 400 mg/L ; (II) contenido suficientes de los nutrientes para el crecimiento biológico : Nitrógeno y Fósforo ; (III) pH neutro, alrededor de 7,0, además con gran capacidad buffer es decir, difícilmente variable; y (IV) caudales con variaciones menores, salvo en el caso de comunidades muy pequeñas.

4.3.1.5.1 Características de las Aguas Residuales Domesticas

Oxígeno disuelto: El oxígeno disuelto (OD) es uno de los principales parámetros en tratamiento de aguas residuales (TAR) pues muchos de los organismos dependen de él para mantener los procesos metabólicos, para obtener energía y efectuar su reproducción. Además, el OD es el principal indicador del estado de contaminación de una masa de agua, pues la materia orgánica contenida en ella tiene como efecto directo el consumo del Oxígeno Disuelto.

El Oxígeno es un gas poco soluble en el agua, no reacciona con ella, y su solubilidad depende de la presión parcial. Su concentración de saturación varía entre 7 mg/L a 35° C y 14,7 mg/L a 0° C, a una atmósfera de presión. Como indicador de la calidad de las AR, el OD debe tener un máximo del 110 % de la concentración de saturación, pues con aguas sobresaturadas de Oxígeno los peces pueden sufrir la enfermedad de la "burbuja de gas". Esto puede ocurrir en aguas eutrofizadas que contengan una excesiva población de algas y en ciertos momentos del día, cuando la producción de Oxígeno es máxima, el agua se puede sobresaturar. Sin embargo, son más frecuente las bajas concentraciones de OD debido a la demanda de Oxígeno causada por la MO presente. En estas circunstancias, por encima de 7 mg/L existe una población diversificada de peces, con presencia de caracoles, insectos, etc. En general, el OD debe estar por encima de 5 mg/L, concentración mínima necesaria para sustentar la vida de peces salmónidos. La mayoría de los peces, por otra parte, pueden sobrevivir con concentraciones de 4 mg/L, y algunos como la mojarra o tilapia, alcanzan a resistir concentraciones de 3 mg/L. (42)

DBO: La DBO es la demanda bioquímica de oxígeno que tiene el agua. Es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se utiliza para medir el grado de contaminación. La DBO es un proceso biológico y por lo tanto es delicado y requiere tiempo, Como el proceso de descomposición depende de la temperatura, se realiza a 20°C durante 5 días de manera estándar, denominándose DBO5. (43)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO, es causada por la Materia Orgánica arrojada a las masas y corrientes de agua, la cual se constituye en el alimento para las bacterias que se reproducirán rápidamente. Estas bacterias en condiciones aerobias, consumirán Oxígeno, causando la disminución del OD. La DBO se define como la cantidad de Oxígeno

necesaria para descomponer la materia orgánica (MO) presente en el Agua Residual mediante la acción de bacterias en condiciones aerobias. La DBO es causada por la respiración de las bacterias y cesará al agotarse totalmente la MO. Hoy día la DBO se efectúa a 5 días y a 20° C, y se denota con el símbolo DBO5. Sin embargo, pueden realizarse a diferentes tiempos, por ejemplo, la DBO7 es la demanda medida a los 7 días, y la DBOu (DBO última o total) es la medida hasta el agotamiento total de la MO, lo que usualmente toma de 20 a 30 días.

El ensayo de la DBO es de tipo biológico, razón por la cual se debe simular en forma aproximada las condiciones en que la demanda ocurre en los medios naturales. Estas condiciones implican la presencia de Oxígeno y nutrientes (P y N₂), la ausencia de tóxicos, pH y temperatura adecuados, presencia de bacterias en cantidad suficiente, entre otros.

La DBO en las aguas residuales, muy específicamente en las domésticas, se compone de dos fracciones principales: (i) la DBO soluble (sDBO) que es fácilmente biodegradable y que corresponde a la DBO de la muestra filtrada, es decir sin partículas, y (ii) la DBO particulada (pDBO), que es difícilmente biodegradable y que se calcula como $pDBO = DBO - sDBO$. Este fraccionamiento tiene importantes consecuencias cinéticas y prácticas. Además, la pDBO puede ser separada por medios físicos, como la sedimentación, para su posterior tratamiento, ya que es una fracción difícilmente biodegradable y puede tener tratamiento separado de la fracción sDBO. (42)

DQO: Es la demanda química de oxígeno del agua. Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO₂ y H₂O. Cuanto mayor es la DQO, más contaminada está el agua. (43)

La Demanda Química de Oxígeno, DQO, surgió como una necesidad de medir la demanda de Oxígeno de manera rápida y confiable. Esta es otra manera de medir la MO indirectamente, a través de la demanda de Oxígeno de los compuestos orgánicos. La DQO es un modo de medir la energía contenida en los compuestos, pero inicialmente se pensó como un sustituto más rápido y preciso que la DBO. En lugar de descomponer la MO mediante el metabolismo bacterial, que utiliza la respiración como medio para obtener el Oxígeno, en la DQO se utiliza un fuerte agente oxidante en un medio ácido. El agente oxidante más utilizado es el dicromato de Potasio, en presencia del sulfato de Plata como catalizador a alta temperatura.

La DQO de un compuesto es generalmente mayor que la DBO debido a que muchos compuestos que pueden ser oxidados químicamente no pueden serlo biológicamente, a través de la biodegradación bacteriana. Los compuestos no-biodegradables son a menudo sustancias moleculares artificiales de gran peso molecular. Con frecuencia para un agua residual (AR) determinada se puede correlacionar muy bien la DBO con la DQO lo que es un gran beneficio debido a que la DQO toma solo dos o tres horas para hacerlo mientras la DBO requiere de cinco días. La relación DQO/DBO determina también la cantidad de materia orgánica no-biodegradable presente en el agua residual.

Además, aunque no siempre es necesario, sí es posible determinar la DQO por medios estequiométricos, obteniéndose el peso de oxígeno requerido por unidad de volumen de líquido para la completa oxidación de la materia orgánica. Una de las ventajas de la DQO es el poco tiempo que tarda su realización: un análisis de DBO tarda 5 días mientras la DQO puede realizarse en 2 horas y menos. Es por ello que cada vez se utiliza más la DQO en el análisis del tratamiento de las aguas residuales, pero es necesario efectuar una diferenciación entre las diferentes fracciones de la DQO para poder aplicarlas a la cinética bioquímica.

La DQO, como la DBO, puede ser soluble (sDQO), es decir filtrada, y particulada (pDQO). Cada una de estas fracciones a su vez puede ser biodegradable (bDQO) y no-biodegradable (nbDQO). La DQO soluble y biodegradable (sbDQO) es fácilmente biodegradable, mientras que la DQO particulada biodegradable (pbDQO) es difícilmente biodegradable. La DQO no biodegradable no se puede eliminar con el tratamiento biológico y por lo tanto es un remanente del tratamiento, y estará presente en el efluente como sDQOe (si está en el efluente es que NO es biodegradable) y es equivalente al snbDQO del afluente. Las fracciones entonces son: (i) s: soluble; (ii) p: particulado; (iii) b: biodegradable; (iv) nb: no-biodegradable; (v) sb: soluble biodegradable; (vi) snb: soluble no biodegradable; (vii) pb: particulado biodegradable; y (viii) pnb: particulado no biodegradable.

Sólidos: Los sólidos es otro parámetro de gran importancia en el TAR. La MO a menudo está en forma de partículas en suspensión, por lo que es necesario diferenciar entre los Sólidos Suspendidos, SS, y los Sólidos Disueltos, SD. Además, los sólidos pueden ser volátiles, SV, que indican procedencia orgánica, o fijos que se presumen como sólidos inorgánicos.

Los Sólidos Totales, ST, se componen de los SS + SD. A su vez éstos se subdividen en SSV y SSF, y en SDV y SDF. Los más importantes en AR son los SS, especialmente los SSV que son la materia orgánica presente en el agua residual en forma de partículas. La medición de los sólidos se hace gravimétricamente, es decir por peso, y consiste en filtrar la muestra con un filtro seco de peso conocido. Después de secarlos en un horno a 105 ° C se vuelve a pesar el conjunto filtro y sólidos filtrados, y por diferencia se conoce el peso de los sólidos filtrados de un volumen determinado de muestra, y así su concentración en mg/L. Los sólidos volátiles se determinan por su evaporación a más de 550° C en una muffle (mientras los sólidos inorgánicos o fijos no evaporan hasta una temperatura mucho mayor).

Otro tipo de sólido importante en AR son los Sólidos Sedimentables, SSed, que se determinan por el volumen (mL) de sólidos que asienta en 30 minutos en un recipiente cónico conocido como el Cono de Imhoff. Sirven para determinar la cantidad y asentabilidad de los lodos presentes en el AR o el Licor Mixto. (42)

PH: son producto de la utilización del líquido en las diferentes actividades del hogar, las cuales producen un nivel de contaminación al agua que puede manifestar la presencia de sólidos, desechos orgánicos, detergentes, jabones y grasas, lo que precisa de un proceso para su eliminación. (44)

El agua se disuelve en sí misma de la siguiente manera: $H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-$.

En este equilibrio el agua actúa como ácido y como base, propiedad que se conoce como anfoterismo. Las concentraciones de $[H^+]$ y $[OH^-]$ son muy pequeñas, y a 25 ° C cuando el agua es neutra es de 1×10^{-7} . El producto de las concentraciones de ambos iones es constante, y se conoce como la constante del producto de iones: $K_w = [H^+][OH^-] = 1 \times 10^{-14}$. De modo que cuando aumenta un ión disminuye el otro. Cuando la solución es ácida aumenta la concentración de $[H^+]$ y cuando es básica la concentración que aumenta es la de $[OH^-]$.

El pH es una medida relativa de la acidez o alcalinidad del agua. La acidez natural es producida principalmente por el CO₂ y ocurre cuando el pH está entre 8,5 y 4,5. Los valores de pH más bajos de 4,5 son debido a la acidez mineral producida por ácidos fuertes como el H₂SO₄, el HCl o el HNO₃. Por otro lado, la alcalinidad natural es producida por carbonatos y

bicarbonatos y puede llevar el pH hasta valores de 8,3. Los valores más altos requieren de alcalinidad de OH que es producida por bases fuertes como el NaOH o el Ca(OH)₂. (42)

4.3.1.6 Aguas Residuales: no domésticas

Las aguas residuales no domésticas son las que proceden de cualquier actividad industrial en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua, estas contienen casi todos los tipos de contaminantes (minerales, orgánicas, térmicos por las aguas de refrigeración) (45)

4.3.1.7 Vertimiento de Aguas:

Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido. (46)

4.3.1.8 Contaminación del Agua:

La contaminación hídrica es la presencia de componentes químicos o de otra naturaleza en una densidad superior a la situación natural, de modo que no reúna las condiciones para el uso que se le hubiera destinado en su estado natural. Esta alteración en la calidad del agua, que se traduce en la existencia de sustancias como los microbios, los metales pesados o los sedimentos, hace que su consumo tenga efectos dañinos sobre la salud y el medio. (47)

4.3.2 Saneamiento:

Se entiende como el suministro de instalaciones y servicios que permiten eliminar sin riesgo la orina y las heces. Los sistemas de saneamiento inadecuados constituyen una causa importante de morbilidad en todo el mundo. Se ha probado que la mejora del saneamiento tiene efectos positivos significativos en la salud tanto en el ámbito de los hogares como el de las comunidades. El término saneamiento también hace referencia al mantenimiento de buenas condiciones de higiene gracias a servicios como la recogida de basura y la evacuación de aguas residuales. (48)

4.3.3 Alcantarillado:

Se denomina alcantarillado o también red de alcantarillado, red de saneamiento o red de drenaje al sistema de tuberías y construcciones usado para la recogida y transporte de las aguas residuales, no domésticas y pluviales de una población desde el lugar en que se generan hasta el sitio en que se vierten al medio natural o se tratan. (49) Está constituido por una serie de tuberías por las que circulan las aguas residuales. El ingreso del caudal al sistema es paulatino acumulándose a lo largo de la tubería, dando lugar a incrementos en los diámetros de la red, mas no permitiendo la reducción de estos.

El sistema 1 de alcantarillado sanitario está integrado por:

Alcantarillas, colectores, interceptores, estructuras complementarias, emisores, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo, descarga final o cuerpo receptor.

Las aguas residuales están constituidas por las aguas del abastecimiento después de haber pasado por diversas actividades de la población, estos desechos líquidos se componen fundamentalmente de agua, solidos orgánicos disueltos y en suspensión. (50)

4.3.4 Lagunas de oxidación o lagunas de estabilización:

Son una estructura simple para embalsar las aguas residuales domésticas con el objeto de mejorar sus características sanitarias. El tratamiento de aguas residuales ocurre por medio de la interacción de la biomasa entre bacterias y algas, por lo general se construyen con una profundidad determinada y con periodos de retención de varios días, se diferencia de otros sistemas de tratamiento en que no requiere energía externa para su funcionamiento. (51)

4.4 Normativo

- Ley 09 de 1979. por la cual se dictan medidas sanitarias (Art 10, art 14, art 15) Artículo 10: Todo vertimiento de residuos líquidos deberá someterse a los requisitos y condiciones que establezca el Ministerio de Salud, teniendo en cuenta las características del sistema de alcantarillado y de la fuente receptora correspondiente. Artículo 14: Se prohíbe la descarga de residuos líquidos en las calles, calzadas, canales o sistemas de alcantarillado de aguas lluvias. Artículo 15: Una vez

construidos los sistemas de tratamiento de aguas, la persona interesada deberá informar al Ministerio de Salud o la entidad delegada, con el objeto de comprobar la calidad del afluente. (52)

- Ley 142 de 1994: por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios. Artículo 2: El Estado intervendrá en los servicios públicos, conforme a las reglas de competencia de que trata esta Ley, en el marco de lo dispuesto en los artículos 334, 336, y 365, a 370 de la Constitución Política, para los siguientes fines: Garantizar la calidad del bien objeto del servicio público y su disposición final para asegurar el mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios, Atención prioritaria de las necesidades básicas insatisfechas en materia de agua potable y saneamiento básico. (53)
- Resolución 1096 de 2000: por el cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico. Artículo 10: Los proyectos que se lleven a cabo en el territorio nacional en el sector de agua potable y saneamiento básico, cubiertos por el alcance de este Reglamento deberán ser ejecutados por profesionales que tengan las calidades y los requisitos de idoneidad que trata el Título II. Artículo 15: La entidad territorial correspondiente debe presentar en forma concreta los problemas o las necesidades que se van a abordar con el proyecto de agua potable o saneamiento básico, con el fin de justificar su ejecución en la medida en que se obtengan beneficios sociales en al área de su jurisdicción. (54)
- Decreto 3930 de 2010: El presente decreto establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados. (55)
- Resolución 0631 de 2015: La presente resolución establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realicen vertimientos puntuales a los cuerpos superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. (56)

Figura 12. Parámetros expuestos por el decreto

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (ARD) DE LAS SOLUCIONES INDIVIDUALES DE SANEAMIENTO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES O BIFAMILIARES	AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (ARD), Y DE LAS AGUAS RESIDUALES (ARD – ARnD) DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES, CON UNA CARGA MENOR O IGUAL A 625,00 kg/DÍA DBOS
Generales			
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	200,00	180,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂		90,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	100,00	90,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	5,00	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	20,00
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L		Análisis y Reporte
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo			
Ortofosfatos (P-PO ₄ -)	mg/L		Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L		Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno			
Nitratos (N-NO ₃ -)	mg/L		Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO ₂ -)	mg/L		Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L		Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L		Análisis y Reporte

Fuente: Resolución 631 de 2015

- Sentencia T-707-12: se indicó la estrecha relación que existe entre el derecho al agua y la adecuada prestación del servicio de alcantarillado. Esta sentencia sostuvo: “el agua constituye fuente de vida y la falta del servicio atenta directamente con el derecho fundamental a la vida de las personas. Así pues, el servicio público domiciliario de acueducto y alcantarillado en tanto que afecte la vida de las personas, la salubridad pública o la salud, es un derecho constitucional fundamental y como tal es objeto de protección a través de la acción de tutela”. (57)
- Resolución 0330 de 2017: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. La Resolución reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo. (58)
- Art 366 de la constitución política: El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable. (6)
- El Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales PMAR el cual es una herramienta de formulación política y priorización de

inversiones donde se encuentran articuladas diferentes estrategias como la estrategia institucional, financiera, de intervención y normativa; esta última formulada con el objetivo de proponer ajustar y articular los instrumentos normativos y regulatorios para el cumplimiento de las metas en saneamiento. (59)

4.5 Revisión de la literatura

El impacto de la población sobre los sistemas ecológicos del planeta se ha hecho más aparente en los últimos años, poniendo de manifiesto la estrecha relación existente entre los niveles de contaminación ambiental y la salud de la población. Las enfermedades infecciosas representan un gran riesgo y son la principal causa de muerte en niños y adultos jóvenes. Dentro de estas enfermedades los virus son los principales causantes de brotes relacionados con la contaminación del agua y los alimentos en los países más desarrollados, donde la mejora de los tratamientos de depuración de las aguas residuales ha ayudado en la reducción de la transmisión de la mayor parte de los patógenos bacterianos (60)

Desde una perspectiva ecológica es interesante sin embargo comentar que a la definición un poco antropocéntrica de los virus como microorganismos patógenos causantes de enfermedades hay que añadir una visión más biológica en la que los virus se considerarán como parte de la naturaleza y como miembros de los diferentes ecosistemas naturales. En el medio ambiente natural existen grandes cantidades de virus que forman parte de los diferentes ecosistemas y no representan peligro para el hombre, dado que los virus son elementos genéticos específicos del huésped y se multiplican infectando organismos vivos que constituyen los diferentes ecosistemas: bacterias, algas, protozoos, etcétera. En aguas naturales sin contaminación fecal se han detectado concentraciones de partículas víricas de 10^8 ml⁻¹ y parece indudable que los virus juegan un papel importante en el intercambio genético y en la regulación de las poblaciones a las que infectan. (61)

Las aguas residuales son la principal fuente de microorganismos patógenos que se transmiten a través del ambiente y que llegan a la población especialmente a través de la contaminación del agua usada para beber, agua utilizada en cultivos de vegetales o en cultivos de moluscos bivalvos, en la preparación de comida, para lavar, en el baño o en los diversos usos recreativos. (62)

El tratamiento actualmente aplicado a las aguas residuales procesadas por métodos biológicos y físico-químicos ha reducido significativamente la incidencia de enfermedades entre la población, especialmente las de etiología bacteriana, sin embargo, los protozoos y los virus son más resistentes que las bacterias a muchos de estos tratamientos. Concentraciones significativas de virus son detectadas en las aguas vertidas al ambiente y en los bio-sólidos generados en plantas de tratamiento de agua residual(63) y, a pesar de que se considera que hay una reducción importante de la concentración de virus, se ha estimado, a partir de los 100.000 enterovirus por litro frecuentemente detectados en el agua residual, que en una población de 300.000 habitantes pueden liberarse al medio ambiente cantidades de 109 partículas víricas en 24 horas en aguas residuales tratadas. (64)

En la tabla 1, encontramos un listado de investigaciones relacionadas con los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales las cuales aportan bases literarias y datos útiles para el desarrollo de esta investigación.

Tabla 1. Revisión de la literatura

Nombre del proyecto	Resumen
<p>REGULACIÓN FRENTE A TARIFAS POR ACTIVIDAD DEL SERVICIO DE TRATAMIENTO DE VERTIMIENTOS.</p> <p>“Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico”</p>	<p>El presente documento tiene como objetivo presentar el avance de las actividades de la primera fase de la metodología de Análisis de Impacto Normativo - AIN, correspondiente al proyecto regulatorio “Regulación frente a tarifas por actividad del servicio - tratamiento de vertimientos”, el cual incluye: i) diagnóstico de la prestación de la actividad de tratamiento y disposición final de aguas residuales; ii) identificación del problema central, sus causas y efectos; iii) definición del objetivo principal de la intervención regulatoria, junto con los medios para lograrlo y los fines que se esperan; y iv) identificación de alternativas regulatorias.</p>

<p>DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR) DE TUNJA - BOYACÁ</p>	<p>El principal objetivo de este proyecto fue presentar un diagnóstico de la PTAR para lo cual, inicialmente se recopiló la información necesaria para entender el modo de operación de la PTAR y las especificaciones de cada una de las estructuras; posterior a esto, se realizó la verificación de cumplimiento de los parámetros de diseño dados por diferentes autores para cada una de las estructuras de la PTAR y finalmente, se determinó la posibilidad de actualización de la planta física por medio de la implementación de una tecnología alternativa viable.</p>
<p>DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE MEJORA EN LOS COMPONENTES DE LA PLANTA DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE BUENAVISTA BOYACÁ</p>	<p>El presente trabajo de grado está enfocado en realizar un diagnóstico de la operación y plantear alternativas de mejora para el funcionamiento de la PTAR, en las cuales se tendrá en cuenta aspectos como el comportamiento hidráulico, calidad del agua y operación y mantenimiento.</p>
<p>DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y FUNCIONAL DEL ESTADO ACTUAL DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA MUNICIPAL DE TENJO - DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA</p>	<p>El objetivo de este proyecto es dar un diagnóstico técnico del estado actual de la PTAR del municipio de Tenjo, identificando los principales problemas de funcionamiento, y revisar si está cumpliendo con los parámetros mínimos de calidad dados en el Decreto 3930 de 2010, donde establece ampliamente lo referente a los vertimientos de agua residual, y finalmente analizar la información recolectada para tener criterio y dar algunas recomendaciones para ayudar al buen funcionamiento de PTAR.</p>
<p>PROPUESTA DE MEJORAMIENTO</p>	<p>El presente trabajo es realizado como</p>

DE LAS OPERACIONES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN EL MUNICIPIO DE LA CALERA (CUNDINAMARCA)	proyecto de investigación para proponer una intervención en los procesos de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio La Calera (Cundinamarca), de manera que se permita mitigar los efectos perjudiciales de los vertimientos de dicho municipio sobre las fuentes de agua que posteriormente alimentaran otros municipios
---	--

Fuente: Autor

5. Hipótesis

Con el crecimiento poblacional del municipio de Necoclí el saneamiento ambiental se ha convertido en una gran necesidad para ayudar a disminuir las enfermedades endémicas e infecciosas en los habitantes, principalmente las relacionadas con el manejo de las aguas residuales, puesto que estas causan un impacto negativo en el medio ambiente y en la salud del ser humano. Probablemente existen inadecuadas condiciones en la planta de tratamiento de aguas residuales, que son ellas las que están causando grandes afectaciones en la salud de las personas y en los ecosistemas; estas condiciones latentes se dan debido a la falta de inversión pública, la falta de conocimientos técnicos por parte del personal operativo, la falta de controles a través de tomas de muestras que evalúen las características del agua, la falta de capacidad de la planta, de estructura e ingeniería, también a que los procesos no se están llevando a cabo de manera efectiva y que no se están cumpliendo los estándares de operación de las plantas.

De acuerdo a la revisión bibliográfica y el panorama que tenemos de todos los problemas recurrentes en el municipio de Necoclí con respecto al área de saneamiento básico, es posible encontrar que se requieren cambios estructurales y de diseño, cambios y mejoras del personal, inversión oportuna en materia estructural, de operatividad y eficiencia, ya que hemos llegado a una situación crítica donde se están impactando de manera negativa los ríos, los suelos y posteriormente el mar; causando así un detrimento patrimonial en el cual se ve afectada toda la comunidad Necocliseña dado que están expuestos a entornos insalubres, antihigiénicos y desfavorables.

6. Metodología de la investigación

Se realizó la revisión de fuentes secundarias: Observación de campo, comparación con estándares, conversación con expertos técnicos e interesados, mediciones (físicoquímicos, flujo, cantidad de residuos que llegan, contaminantes). Se tuvo en cuenta la Dependencia Operadora del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales, Administración Municipal y la Corporación Autónoma Regional (CORPOURABÁ).

6.1 Enfoque Metodológico

El enfoque de esta investigación es cualitativo. De acuerdo con la observación que se ha realizado sobre las diferentes situaciones que se están presentando con la PTAR y las circunstancias que podrían estar generando esta problemática de antemano y previamente por los conocimientos ya adquiridos sobre la operación de una planta de tratamiento, se pretende desde lo que nos señala la legislación colombiana conocer si el funcionamiento de la planta va en concordancia con lo estipulado por la ley y si los actores interesados están en pleno conocimiento de la situación.

Esta metodología comienza examinando el componente social y en este proceso desarrolla una teoría coherente con los datos, de acuerdo con lo que se observa, analiza, comprueba y rescata; el enfoque se basa en métodos de recolección de datos no estandarizados ni completamente predeterminados. En este no se efectúa una medición numérica, en cambio define los datos cualitativos como descripciones detalladas de situaciones, eventos, personas, interacciones, conductas observadas y sus manifestaciones, procesos, experiencias, evaluando así el desarrollo natural de los sucesos. (65)

Además, también maneja la recolección y análisis de diversos datos, la revisión de fuentes secundarias, la observación de campo, comparación con estándares, conversación con expertos técnicos e interesados, mediciones: físicoquímicos, flujo, cantidad de residuos que llegan, contaminantes contenidos en estos, que pueden ser aplicados para resolver la pregunta planteada en la investigación donde el investigador interactúa con los interesados y busca respuestas que se basan en la experiencia técnica y social y por tal razón lograr explicar ¿En qué estado se encuentran los procesos de operación de la planta de tratamiento de

aguas residuales de la cabecera municipal de Necoclí y cuál es el nivel de conocimiento de los interesados al respecto?

6.2 Tipo de estudio

Este estudio de investigación es de tipo descriptivo-analítico y toma elementos de representación de los fenómenos y modificaciones que se presentan; porque se toman referencias en un territorio y sus condiciones específicas, se pretende llegar a conocer los factores internos y externos que influyen en la operación deficiente de la planta de tratamiento de agua que pueden afectar negativamente el sistema; además, los fenómenos desde la perspectiva de los actores sociales; se practica una parte experimental y observacional donde se analizan variables que influyen en el problema de investigación, se evaluaron resultados enmarcando los objetivos propuestas en ella. Este enfoque plantea que el investigador modifica lo que estudia y los sujetos de este le dan sentido. (66)

6.3 Universo

El estudio se centra en el área urbana de Necoclí, municipio perteneciente a la Región de Urabá del Departamento de Antioquia del país Colombiano.

6.4 Población de referencia

Para este caso serán las fases de la operación de la PTAR de la cabecera municipal Necoclí y, los interesados o afectados por la misma (17.568 habitantes del casco urbano del municipio de Necoclí).

7. Tipo De Muestreo

No probabilístico por conveniencia, lo cual pues da la posibilidad de la elección por parte de los investigadores de quiénes participaran. Se trabajará con la población urbana del municipio de Necoclí y para este caso se tiene en cuenta grupos focales e interesados, como lo son: La Administración Municipal, la Secretaria de Planeación, Servicios Públicos, Vivienda y Ordenamiento Territorial, jefe de operaciones, operadores actuales y antiguos de la planta, personas que viven en zonas aledañas a la planta de tratamiento, juntas de acción comunal, academia relacionada con el tema, la Corporación Autónoma Regional, Institución de Salud e Institución Educativa.

7.1 Muestra y muestreo

Se hace la toma de muestras de aguas residuales al momento en que la PTAR se encuentra en operación o funcionamiento diario, realizando la observación minuciosa de cada una de las unidades situadas dentro de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en un periodo del año de 2021

8. Técnicas E Instrumentos De Recolección De La Información

La recolección de la información se desarrolla a través de instrumentos, técnicas que son descritas a continuación.

Observación de campo: En este aspecto, las visitas de campo nacen de la necesidad de entender, conocer y palpar cómo se llevan los procesos que se ejecutan en la PTAR, posterior a esto, realizar tomas de muestras de agua en puntos específicos determinados, conocer antecedentes, visualizar el funcionamiento, como está construida, estar al tanto de lo que las personas piensan y perciben a cerca de la PTAR, los sucesos, dificultades, alteraciones como consecuencia de su operación, entre otros.

Entrevistas: que nos permitirán obtener información mediante la participación y conversación, ya sea con dos o más personas (operarias de la planta, funcionarios públicos, usuarios del servicio), pretendiendo de esta manera conocer técnicamente el funcionamiento de la planta, basados en cada una de las unidades por las que el agua residual es conducida con el fin de reducir su contaminación, también conocer qué insumos químicos, y en qué cantidades se aplican, horarios de operación, supervisión, mantenimiento, condiciones locales, percepción de los interesados; por otro lado inversiones, cumplimiento de la normatividad vigente, interés, entre otros.

Registros fotográficos: con el cual se apunta a captar procesos que se llevan a cabo, mostrar las situaciones, condiciones físicas, confirmar lo que se dice y describe.

Pruebas de laboratorio: se tomaron muestras de campo para realizar pruebas y análisis de laboratorio con el objetivo de conocer cuáles son los niveles de sustancias y contaminantes que contienen las aguas residuales después de pasar por la planta de tratamiento y cotejarlas con los rangos permitidos en la normatividad ambiental vigente.

Revisión de fuentes secundarias: Revisión de lo que se ha hecho en otras localidades de las situaciones relacionadas que han vivido con respecto a las plantas de tratamiento, si estas funcionan adecuadamente, cuáles han sido las soluciones, también los antecedentes del municipio que hayan quedado registrados, entre otros.

Comparación con estándares: Al tenerse los factores, entonces realizar comparaciones paralelas que me permitan conocer si se cumple o no con

los estándares propuestos en la normatividad existente tales como: Ley 09 de 1979, Ley 142 de 1994, Decreto 3930 de 2010, Resolución 1096 de 2000 y la Resolución 0631 de 2015 y todas las antes mencionadas y a su vez establecer cuánto es la diferencia que aleja la condición de dicho parámetro, si esto ocurre se analizaran las posibles causas de los incumplimientos.

Mediciones: Fisicoquímicos, cantidad de residuos que llegan, capacidades de almacenamiento, caudal de salida, entre otros.

8.1 Fuentes de información

Primaria: Secretaria de Planeación, Servicios Públicos, Vivienda y Ordenamiento Territorial, jefe de operaciones, operarios, habitantes del sector, historiadores del municipio, análisis de laboratorio.

Secundaria: profesores de la UDEA

Terciaria: literatura, registros.

9. Fases de la investigación

El proyecto de investigación es fundamentado en el aporte al campo de la salud, saneamiento, Ingeniería Sanitaria, Ingeniería Civil, Ingeniería Ambiental y demás, buscando fortalecer la operatividad de la PTAR, ya que actualmente los vertimientos de aguas residuales municipales a las principales fuentes hídricas sin el tratamiento respectivo puede conllevar a la destrucción total de la fauna y flora marina, debido a la presencia de sustancias químicas y de materia orgánica presentes en ellas, ocasionando daños irremediables tanto al ambiente como también a la calidad de vida de la población impactada directa e indirectamente.

Esta investigación se desarrolla en las etapas descritas a continuación:

- Estudio y recolección de datos antecedentes, estándares y contextuales para el diseño.
- Descripción de la operación.
- Verificación del estado y el funcionamiento de la operación de los procesos que se ejecutan en la PTAR según estándares normativos antes mencionados.
- Descripción de las características fisicoquímicas del agua residual antes y después de salir de la PTAR
- Análisis la relación entre el estado y funcionamiento de los procesos de la PTAR con los hallazgos fisicoquímicos y microbiológicos del agua que sale de ella para ser vertida.
- Descripción de la percepción o conocimiento de los interesados (la Administración Municipal, la Secretaria de Planeación, Servicios Públicos, Vivienda y Ordenamiento Territorial, jefe de operaciones, operadores actuales y antiguos de la planta, personas que viven en zonas aledañas a la planta de tratamiento, juntas de acción comunal, academia relacionada con el tema, la Corporación Autónoma Regional, Institución de Salud e Institución Educativa)
- Recomendaciones a los responsables de la operación y administración de la PTAR para desarrollar una estrategia de optimización, actualización y mejoras de la PTAR

- Socialización de hallazgos y propuesta con los grupos de interés.

10. Variables

Tabla 2. Variables

Variables		
Caudal de entrada al proceso de tratamiento	Dimensionamiento de los equipos	Condiciones fisicoquímicas y microbiológicas con las que sale el agua
Tiempo de funcionamiento de la PTAR	Componentes químicos	Capacidad de la planta
Precisiones de funcionamiento de los equipos	Dispositivos de control	Disposición de aguas residuales
Tratamiento de aguas residuales	Impactos ambientales, sociales y económicos	Percepción de los interesados, importancia de la PTAR, relevancia, que tanto la conocen
Análisis del agua residual entrante a la PTAR	Normatividad	Conocimientos técnicos del personal
Proyección poblacional	Condiciones de operatividad	Condiciones sanitarias

Fuente: Autor

11. Consideraciones Éticas

Dentro de los procesos realizados se tendrá en cuenta, en las consideraciones éticas, construir acuerdos con la comunidad, el personal de la PTAR y el resto de los interesados, lo cual es de suma importancia ya que ellos son la fuente de conocimientos, de experiencias, que nos permitirán llevar a cabo el desarrollo pertinente de este proyecto de investigación, es así que, con el debido respeto, beneficencia y justicia y, teniendo en cuenta los principios éticos y profesionales se realizará y se dará a conocer a los mismos un documento mediante el cual se aclararán algunos aspectos tales como:

El consentimiento informado, ya que se considera que los individuos deben ser notificados acerca de la investigación y dar su consentimiento de manera voluntaria antes de pasar a convertirse en participantes de dicha investigación.

El valor, donde se señala la investigación como factor que busca mejorar la salud de las personas, el conocimiento y además las condiciones de la planta de tratamiento.

La validez científica, dando a conocer que la investigación es estructurada y metodológicamente sensata, asegurando de esta manera que los participantes de esta investigación no pierden su tiempo con la colaboración de la misma.

La selección de los participantes es seleccionada de manera justa, equitativa, consciente, sin ningún interés particular o conveniencia personal.

La garantía de que los riesgos de los participantes de dicha investigación se procurarán mínimos y que por el contrario en la ejecución del proyecto los beneficios se verán reflejados en ellos.

Por otra parte, el respeto para los participantes, en esta parte se desplegará el compromiso por parte de las investigadoras de mantener protegida la privacidad de los participantes; algunos nombres serán cambiados por el principio de anonimato, no se altera la información recolectada, esta no tendrá fines lucrativos.

El estudio se hace prioritario para la comunidad con el fin de que ésta conozca de antemano la situación que se vive en su territorio, que es

susceptible de cambio gracias a los derechos constitucionales que los amparan por tratarse de condiciones de salud, ambientales y sanitarias a los que todo ser humano por ley tiene derecho.

Si no se lleva a cabo, la comunidad se perdería de conocer los riesgos que representa el estado y las condiciones de la planta, diagnosticar conlleva a intervenir y por ende mejorar condiciones.

12. Análisis

Dentro de esta investigación se realizaron varias lecturas en la revisión bibliográfica y se pudo determinar la importancia de que las aguas residuales sean tratadas de forma pertinente para evitar daños en salud humana, preservación de los afluentes, el suelo y en el caso puntual de Necoclí la biodiversidad marina.

El agua residual que entra en la planta de tratamiento del municipio pasa por una serie de procesos, dentro de las etapas se estima que el agua no está siendo debidamente tratada y se teme que las cargas de contaminantes pueden estar afectando algunos de los efluentes incluyendo el mar y por ende incurriendo en incumplimiento con lo pactado por la norma, esto lo podremos detectar cuando se realicen todas las pruebas fisicoquímicas a las cuales debemos someter el agua y de esta forma se arrojen los resultados que darían el veredicto final.

13. Aspectos Administrativos

13.1. Gestión De Recursos

- Cronograma**

Figura 13. Cronograma

CRONOGRAMA DE INVESTIGACIÓN: DIAGNÓSTICO DE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE NECOCLÍ Y PROPUESTAS PARA SU MEJORAMIENTO. NECOCLI 2021.																
Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4			
	Semana				Semana				Semana				Semana			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Estudio y recolección de datos antecedentes, estándares y contextuales para el diseño.																
Descripción de la operación																
Verificación del estado y el funcionamiento de la operación de los procesos que se ejecutan en la PTAR según qué estándar o norma? 0631 de 2015																
Descripción de las Características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual después de salir de la PTAR																
Análisis la relación entre el estado y funcionamiento de los procesos de la PTAR con los hallazgos fisicoquímicos y microbiológicos del agua que sale de ella para ser vertida																
Descripción de la percepción o conocimiento de los interesados																
Propuesta de una estrategia de actualización y mejoras de la PTAR																
Socialización de hallazgos y propuesta con interesados																

Fuente: Autor

- **Presupuesto**

Figura 14. Presupuesto

PRESUPUESTO DE INVESTIGACIÓN: DIAGNÓSTICO DE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE NECOCLÍ Y PROPUESTAS PARA SU MEJORAMIENTO. NECOCLI 2021.					
Concepto	Cantidad	Unidad	Unidades totales	Valor unitario	Valor total
Recursos Humanos					
Investigadoras principales Estudiantes de pregrado del programa administración en salud con énfasis en gestión sanitaria y ambiental	3	120 días	360 días	\$ 32.680	\$ 11.764.800
Asesor - Docente facultad nacional de salud pública - Universidad de Antioquia	1	16 días	16	\$ 57.894	\$ 926.304
Total de recursos humanos				\$	12.691.104
Gastos generales					
Transporte a la planta y barrios	3	16 visitas	48	\$ 2.000	\$ 96.000
Alimentación de las investigadoras	3	16	48 almuerzos	\$ 10.000	\$ 480.000
Papelera e insumos	N/A	N/A	N/A	\$ 80.000	\$ 80.000
Recargas a telefonía móvil	N/A	N/A	N/A	\$ 10.000	\$ 40.000
Elementos de protección personal	3 Paquetes	3	N/A	\$ 80.000	\$ 240.000
Análisis de muestras de laboratorio	2	N/A	N/A	\$ 600.000	\$ 1.200.000
Transcripción de entrevistas	18	N/A	entrevistas	\$ 10.000	\$ 180.000
Total gastos generales				\$	2.316.000
TOTAL PROYECTO				\$	15.007.104

Fuentes de financiación								
Concepto	PROPIOS		UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA - MEDELLIN		MUNICIPIO DEL PROYECTO		CORPORACION AUTONOMA REGIONAL	
	Recurso fresco	Recurso en especie	Recurso fresco	Recurso en especie	Recurso fresco	Recurso en especie	Recurso fresco	Recurso en especie
Talento humano		11.764.800 (Estudiantes investigadoras)	926.304 (Asesora de investigacion)					
Gastos generales		180.000 (Transcripcion)			936.000 (Restante de los gastos generales)			1.200.000 (Análisis)
Porcentaje de participación	80%		6,10%		6,20%		8%	

Fuente: Autor

- **Viabilidad**

El análisis de viabilidad nos indica que es la base para la toma de decisiones en cuanto al mejoramiento de la planta de tratamiento del municipio de Necoclí Antioquia. Este proyecto de investigación pretende

realizar un diagnóstico de la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Necoclí y a su vez formular recomendaciones para su mejoramiento técnico e informativo y evitar así las afectaciones hacia la comunidad, para esto contamos con los permisos pertinentes para el ingreso a la PTAR y con voluntad del personal operativo para ofrecer sus conocimientos hacia nosotros; además se cuenta con el consentimiento verbal de algunos funcionarios de la Alcaldía Municipal los cuales están dispuestos a brindar la información necesaria para el fortalecimiento del proyecto.

- **Factibilidad**

Factibilidad técnica: El trabajo de grado que se realiza en este documento cuenta con las personas idóneas para llevarlo a cabo: tres tecnólogas en saneamiento ambiental estudiantes de último semestre de administración en salud con énfasis en gestión sanitaria y ambiental de la Universidad de Antioquia que poseen todas las capacidades y facultades requeridas para su desarrollo; asimismo cuentan con la orientación de docentes calificados en el tema.

Factibilidad financiera: el trabajo expuesto tendrá distintos puntos de apoyo financiero: principalmente los asesores académicos que tendremos serán costeados por la Universidad de Antioquia la cual cubrirá los gastos del tiempo que los docentes nos proporcionan, también contaremos con el apoyo de la Corporación Autónoma de Urabá (CORPOURABA), la cual se encargará de proveernos los medios para la realización de las pruebas fisicoquímicas que se le realizarán al agua y asimismo se tendrán recursos propios para las demás actividades que se requieran.

Factibilidad legal: este trabajo se sustenta en la legislación empezando por el Decreto 3930 de 2010: Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones; la Resolución 0631 de 2015: la cual establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realicen vertimientos puntuales a los cuerpos superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. Resolución 0330 de 2017: por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Ley 09 de 1979: por la cual se dictan medidas sanitarias donde nos menciona que

todos los residuos líquidos deberán someterse a los requisitos y condiciones que establezca el ministerio de salud. Seguido de la Ley 142 de 1994: por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y continuando con la Resolución 1096 de 2000 por el cual se adopta el reglamento técnico para el sector agua potable y saneamiento básico.

Factibilidad ambiental: el impacto ambiental que se estima con este trabajo de grado es de proporciones mínimas debido a la pandemia que se vive en el país y el resto del mundo, esta situación permite que se ahorren algunos medios de transporte que podrían verse involucrados en la contaminación ambiental. Desde nuestra perspectiva uno de los impactos significativos en los que estaríamos siendo partícipes sería en el uso de tecnologías de la información dado el estado confinamiento en que nos encontramos y también podríamos estar siendo una fuente de contaminación minoritaria con los envases que se usarán para la recolección de las muestras de agua y los vertimientos que se hagan en los laboratorios de análisis de las muestras derivados de la limpieza de equipos y utensilios.

14. Resultados, Análisis Y Comparaciones

14.1 Cumplimiento del Objetivo Numero 1: Verificación del Estado y del funcionamiento de los procesos que se ejecutan en la PTAR

Evidencias

Tanques de recepción PTAR



Fuente: Autor

Su funcionalidad se basa en recibir los vertimientos que entran a la planta. La dimensión del primer tanque es de 96m^3 , luego es filtrada por medio de una rejilla y pasa al segundo tanque el cual tiene una dimensión de 240m^3

Teniendo en cuenta las características físicas y funcionales de estas unidades podemos clasificarlas como ineficientes por su poca capacidad y por su antigüedad, y para el caso de las rejillas, estas se encuentran obsoletas permitiendo el paso de gran cantidad de residuos sólidos debido al distanciamiento entre cada barrote.

Motobombas



Fuente: Autor

Son las encargadas de impulsar el agua residual hasta la laguna de oxidación por medio del proceso de bombeo, en tiempos de invierno las maquinas trabajan 24 horas del día y en sequia pueden durar hasta 12 horas sin funcionamiento.

Estado: Obsoletas, cuando son puestas en marcha su funcionamiento no es continuo, ya que constantemente deben ser vigiladas porque se presentan obstrucciones, apagones o en general fallas técnicas.

Tubería de expulsión de aire



Fuente: Autor

Su función se basa en expulsar el aire que queda atrapado dentro de la tubería con el propósito de prevenir daños por sobrepresiones que generan el golpe de ariete.

Su dimensión es de 2", el material con el que está elaborado manguera inicialmente es de PVC y el resto es de polietileno corrugado.

Las mangueras tienen daños exteriores, se pueden observar fisuras en diferentes partes de ellas.

Mangueras de succión



Fuente: Autor

Estas mangueras son las encargadas de succionar los vertimientos que reposan en los tanques de almacenamiento para ser transportadas hasta la laguna de oxidación, tienen una longitud de 4m aproximadamente y un diámetro de 4".

El material con el que están elaboradas es de polietileno corrugado y su estado es regular.

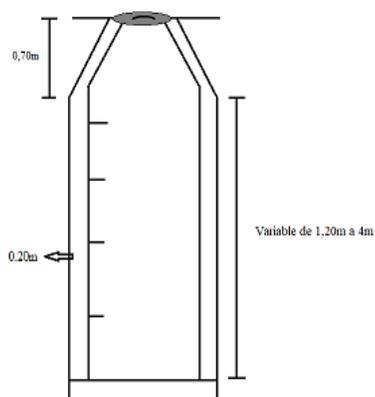
Inundaciones dentro del terreno de la PTAR



Fuente: Autor

Debido a la poca capacidad de los tanques de almacenamiento y a la deficiencia en el terreno de la planta, en temporada de lluvias suelen provocarse inundaciones dentro y en los alrededores de la misma; estas aguas se escurren con dirección al mar

Cámara de Inspección



Fuente: Autor

Estos los podemos encontrar en cada cambio de dirección horizontal o vertical de la red de alcantarillado, es decir en cada esquina de las calles; sus funciones principales permiten manejar las pendientes, conectar las tuberías de conducción y realizar limpiezas.

Su diámetro interno es de 1,20m y el externo 1,60m lo que quiere decir que tiene un espesor de muro de 0,20m. En el municipio se cuenta con 70 cámaras de inspección aproximadamente.

Rebose de alcantarillado con escurrimiento al mar



Fuente: Autor

Dentro del municipio, en varios puntos se pueden observar reboses en los manjoles o cámaras de inspección, esto se da por el taponamiento de las redes y el poco mantenimiento de las mismas, estos reboses también toman dirección al mar a través de los canales de esorrentía de agua lluvia.

Laguna de oxidación



Fuente: Autor

Está ubicada en el área urbana del Municipio de Necoclí, exactamente en el Barrio Simón Bolívar, a una distancia aproximadamente de 1,2 kilómetros de los tanques de llegada de las aguas residuales. Esta laguna hace la recepción de las aguas residuales de todos los barrios que son bombeadas desde estos tanques y las redes que la transportan están elaboradas en material de asbesto.

Descole del efluente de la laguna de oxidación



Fuente: Autor

Esto se da por gravedad hacia la fuente receptora, está totalmente colmatado de lodo impidiendo su visibilidad, solo se logra observar como el agua transita hacia este punto de la laguna.

Descole de la laguna de oxidación hacia la fuente receptora:



Fuente: Autor

Cuando el agua llega hasta este punto es conducida por un canal (quebrada) que se conecta con el mar. Se puede observar que, aunque el agua no contenga sólidos de mayor tamaño, sigue teniendo la misma apariencia en cuanto al color y las micropartículas dispersas en el agua.

Este canal permite que el agua fluya con mucha rapidez debido a su inclinación y, a que su tramo se compone de piedras rocosas.

Medidas de la laguna de oxidación



Fuente: Autor

Dimensiones

Ancho 66m

Largo 96m

Área:

6336 m²

Todo el terreno donde se encuentra ubicada la laguna está cubierto por suelos pantanosos, el lugar exacto excavado donde el agua está en reposo no fue modificado, no tiene vaciado de concreto como comúnmente otras lagunas de oxidación, que preparan el área donde es situada el agua residual de una manera que esta pueda generar fácil acceso para la remoción de lodos, mediciones y demás.

Tubería de impulsión:



Fuente: Autor

La tubería de expulsión que conduce el agua desde el centro de acopio hasta la laguna de oxidación está elaborada en hierro fundido con un diámetro de 12" y su estado es irregular.

Desbordamiento de la laguna



Fuente: Autor

Debido a la antigüedad de la tubería usada para el transporte de estas aguas residuales desde el punto de bombeo hasta la laguna, se evidencian colapsos en ciertos tramos de ella, siendo mayores en los terrenos donde se encuentra la laguna, provocando fugas y desbordamientos, zanjas y huecos profundos donde se estanca el agua justo antes de ser vertida a la laguna.

Fugas de la tubería de impulsión



Fuente: Autor

Estas fugas se presentan debido a la obsolescencia de las tuberías, estas se encuentran dentro del área del terreno donde está ubicada la laguna de oxidación.

Fugas en la red de alcantarillado urbano



Fuente: Autor



Fuente: Autor

Estos reboses se presentan en la mayoría de las tuberías debido a que no se le realiza un buen mantenimiento y como no se tiene establecido un sistema de recolección de aguas lluvias, todas estas corren por los mismos canales colapsándolas e impidiendo la libre circulación

Vertimiento de aguas residuales al mar (Casco urbano)



Fuente: Autor

En este punto se puede observar el caño que transporta aguas residuales (cuando estas rebosan en el centro de acopio en tiempos lluviosos) hasta el mar.

Vertimiento de aguas residuales al mar (Casco urbano)



Fuente: Autor

Después de realizar el reconocimiento e inspeccionar los componentes de la PTAR se procede a realizar la evaluación de las estructuras y los procesos, para verificar el cumplimiento con la resolución 631 de 2015 en cuanto a los vertimientos y la reglamentación RAS 2017 en cuanto al comportamiento hidráulico de las estructuras.

14.2 Cumplimiento del objetivo número 2: descripción de las características fisicoquímicas y microbiológicas del Agua Residual al ingreso y salida de la planta de tratamiento

14.2.1 Caracterización de vertimiento

En la **tabla 4** se muestran los valores límites máximos permisibles en los vertimientos de aguas residuales domésticas establecidos por la resolución 631 de 2015, para los parámetros que se van a evaluar.

Tabla 3. Valores límites máximos permisibles en los vertimientos de aguas residuales domésticas establecidos por la resolución 631 de 2015

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR LÍMITE
pH	Unidades de PH	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	180,00
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	90,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	90,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	20,00

Fuente: Resolución 631 de 2015

En la **tabla 5** se presenta el análisis de resultados en el afluente y efluente de la PTAR de Necoclí Antioquia, realizada por **laboratorio QC**

Tabla 4. Análisis de laboratorio del afluente y efluente de la PTAR

PARÁMETROS	UNIDADES	LÍMITE MAXIMO	AFLUENTE (Resultado)	EFLUENTE (Resultado)	PORCENTAJES DE REMOCION
Demanda Química de Oxígeno	Mg O ₂ /L	180,00	1124	379	66,2%

pH	Unid pH/°C	6,00 a 9,00	8,01	7,73	96,5%
Solidos Suspendidos Totales	mg SST/L	90,00	886	49,0	5,5%
Solidos Sedimentables	mL/L	5,00	14,0	4,5	32,1%
Demanda Bioquímica de Oxigeno	mg O ₂ /L	90,00	135,1	84,7	62,6%
Grasas y Aceites	mg/L	20,00	114	25,9	22,7%

Fuente: Laboratorio QC

Fotografía: Tomas de muestras de entrada y salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Necoclí



Fuente: Autor

En la **tabla 6** se realiza la comparación y verificación del cumplimiento de algunos parámetros con el límite exigido por la resolución 631 de 2015.

Tabla 5. Comparación y verificación del cumplimiento de parámetros exigido por la resolución 631 de 2015

PARÁMETRO	LÍMITE MAXIMO ESTABLECIDO POR RES. 631 DE 2015	UNIDADES	MUESTRAS					
			AFLUENTE	CUMPLE		EFLUENTE	CUMPLE	
				SI	NO		SI	NO
Aceites y grasas	20,00	Mg/L	114		X	25,9		X
DBO	90,00	Mg O ₂ /L	135,1		X	84,7	X	
DQO	180,00	Mg O ₂ /L	1124		X	379		X
pH en campo	6,00 a 9,00	Unid pH/°C	8,01	X		7,73	X	
Sólidos Sedimentables	5,00	mL/L	14,0		X	4,5	X	
Sólidos Suspendidos	90,00	mg SST/L	886		X	49,0	X	

Fuente: Autor

En el laboratorio QC se realizó el análisis de algunos parámetros los cuales fueron útiles para caracterizar parámetros como DBO, DQO, pH, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables y grasas y aceites.

14.3 Cumplimiento del objetivo número 3: análisis de los resultados de los parámetros fisicoquímicos en términos de remoción de cargas contaminantes.

14.3.1 Caudal

Caudal de entrada a la planta

El agua residual llega al punto de bombeo a través de un tubo de concreto que tiene un diámetro entre 10" y 12" el cual se encuentra totalmente sumergido en el tanque de recepción, debido a esto, no es posible hacer

tomas para saber con exactitud el caudal de entrada a la planta, sin embargo, hay quienes confirman (Jefe de operaciones) una estimación de que este valor se encuentra entre 25 y 30l/s.

Caudal de salida de la planta

En la toma de muestras de agua residual se pudo obtener como resultado un caudal de salida de la laguna de oxidación de 1,9l/s; para esto se realizó un aforo volumétrico donde se tomaron 5 mediciones en diferentes tiempos arrojando los siguientes datos:

Tabla 6. Medición de caudal de salida de la PTAR

MEDIDA	VOLUMEN (L)	TIEMPO (S)
1	20	10,87
2	20	10,72
3	20	9,80
4	20	10,29
5	20	10,55
	PROMEDIO:	10,44

Fuente: autor

Medición: aforo volumétrico

Promedio: $\sum t / \text{frecuencia de medición}$

Promedio: $52,23_s / 5 = 10,44_s$

Para saber cuántos litros llenó el tanque en un segundo empleamos la regla de tres:

Q: $20_L / 10,44_s$

$10,44_s \longrightarrow 20_L$

$1_s \longrightarrow X$

$X = 20_L \times 1_s / 10,44_s = 1,9_l/s$

14.3.2 Estación De Bombeo De Aguas Residuales

En este punto se observa que, al llegar las aguas residuales, los sólidos quedan atrapados en las motobombas e impiden la circulación del agua.

14.3.3 Medidor de flujo

Con la información recolectada, se debe afirmar que el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Necoclí no cuenta con la fase de medición de flujo.

14.3.4 Desarenador

Con la información recolectada, se debe afirmar que el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Necoclí no cuenta con la fase de des-arenación.

14.3.5 Sedimentador primario

Con la información recolectada, se debe afirmar que el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Necoclí no cuenta con la fase de sedimentación.

14.3.6 Reactor biológico

Con la información recolectada, se debe afirmar que el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Necoclí no cuenta con la fase de biotransformación.

14.3.7 Sedimentador secundario

Con la información recolectada, se debe afirmar que el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Necoclí no cuenta con la fase de sedimentación secundaria.

14.3.8 Desinfección

Con la información recolectada, se debe afirmar que el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Necoclí no cuenta con la fase de desinfección.

Es evidente que al momento de ser diseñados y construido el sistema no se tomaron en cuenta las directrices estipuladas, incumpliendo con la normatividad existente. Concluyéndose de esta manera que los aspectos negativos en los resultados de los parámetros evaluados están

directamente relacionados con las condiciones de las unidades con las que cuenta la PTAR para la remoción de cargas contaminantes o en su efecto no inexistencia de ellas.

15. Análisis de resultados

Es importante también analizar que Necoclí hizo un retroceso en la parte administrativa por manejar actualmente el servicio de acueducto y alcantarillado de forma directa. Anteriormente, se contaba con la operación, administración y mantenimiento de estos servicios por un operador privado encargado de la prestación y luego Necoclí como municipio tomó la administración de este, la Ley 142 de 94 nos indica que la prestación directa de servicios por parte del municipio solo se puede dar cuando no hay concurrencia de oferentes, cuando no hay concurrencia de otros municipios, de otros departamentos o de la nación y por optimización de costos por operación directa, esto de acuerdo con el artículo 6° de dicha ley.

El numeral 6.1 del artículo 6 de la Ley 142 de 1994, hace énfasis en que la prestación directa por el municipio es posible cuando habiendo hecho los municipios invitación pública a las empresas de servicios públicos, no haya habido empresa alguna que se ofreciera a prestarlo; de esta manera se pasa a la posibilidad del numeral 6.2, el cual señala que, no habiendo tales empresas, entonces se haya hecho la invitación a otros municipios, departamentos y nación; el numeral 6.3 que es el que determina que, haciendo la invitación pública a empresas, a municipios, departamentos o nación hay oferente, el municipio puede prestarlo solo si hay estudios y aprobados por el superintendente, donde demuestre que los costos de prestación directa por el municipio serían inferiores a los de las empresas interesadas y que además la calidad y la atención para el usuario serían por lo menos iguales a las que tales empresas podrían ofrecer, entonces aquí las comisiones de regulación establecerían las metodologías que permitan hacer comparables diferentes costos de prestación de servicios.

Hoy en día no hay evidencias que garanticen el cumplimiento de esta ley, no hay evidencias de publicación a la invitación de oferentes y sin embargo es el municipio quien hace la prestación directa del servicio de acueducto y alcantarillado, ya teniendo esta prestación no se garantizan tampoco que los costos de operación sean inferiores y mucho menos la calidad de estos servicios.

El municipio está expuesto a sanciones por parte de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios - SSPD por incumplimiento en la normatividad vigente en lo que tiene que ver con haber agotado el debido

proceso para la prestación directa de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo. Una posible sanción podrá ser la descertificación por parte de la SSPD en la prestación de los servicios.

Además, las organizaciones que prestan los servicios públicos domiciliarios de agua potable, concentran sus esfuerzos de planificación en el aspecto físico de los sistemas, no tienen claro que el producto que venden a sus clientes es ante todo la prestación de un servicio, no la simple conexión a un sistema de acueducto o alcantarillado, más que prestar un servicio de agua potable, es asumir la responsabilidad de la disposición final de esa agua que nos suministran.

Por otro lado, no se están llevando a cabo los ajustes, actualizaciones, ni reformas del plan de saneamiento y manejo de vertimientos en el municipio por parte de la entidad correspondiente Corpouraba, ellos manifiestan no tener vigente dicho plan desde el año 2010.

El artículo 230 del RAS 2017 indica que en el caso de que se consideren algunas unidades, como tanques o estructuras de ingeniería ambiental, se deberán cumplir con las directrices dadas en el Título C, capítulo 23 (Concreto estructural de Tanques y estructuras de ingeniería ambiental), del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, el cual indica que las estructuras de concreto de ingeniería ambiental están definidas como estructuras de almacenamiento, flujo, y tratamiento de líquidos y otros materiales afines tales como residuos sólidos o líquidos. Además, aplica la denominación a estructuras secundarias para evitar la dispersión de materiales peligrosos, y a estructuras auxiliares, siempre y cuando estas requieran impermeabilidad ante líquidos y gases, o propiedades especiales de durabilidad.

El propósito de estos requisitos es poder establecer los métodos de diseño y construcción que permitan cumplir con los objetivos de seguridad estructural y además permitan que el concreto producido para estructuras ambientales cuente con un diseño tal que controle el agrietamiento y la fisuración para impedir el flujo de líquidos entre el interior del tanque y su exterior, que sea lo suficientemente denso e impermeable para impedir la contaminación de los líquidos contenidos o que estos contaminen, que provea la máxima resistencia a los elementos químicos contenidos en el líquido, y que tenga superficies poco rugosas que minimicen la resistencia al flujo y permitan cumplir los objetivos de sanidad.

Por otro lado, apunta que se requiere una especial atención en la evaluación de la protección necesaria para las unidades que sean objeto

de presencia de sustancias químicas. Es evidente afirmar que, la PTAR Necoclí cuenta con tanques de recepción en concreto, que al momento de ser diseñados no se tomaron en cuenta las directrices estipuladas en este artículo, incumpliendo así con una de las normas existentes y que indica que este requisito es aplicable en este tipo de construcciones.

Las redes de alcantarillado de una población en casos de lluvias evitan la inundación de locales, viviendas, fábricas, entre otros; además, desde el punto de vista sanitario, son las encargadas de hacer desaparecer las aguas residuales, es decir, los desechos originados por la actividad de la población del lugar, además de la lluvia. En la composición de estas aguas se encuentran sólidos orgánicos disueltos y suspendidos que se pueden descomponer, según como aumente la población que habita en un espacio, también aumentan los desechos que son necesarios evacuar, por esta razón, las redes de saneamiento deben estar bien diseñadas y resulta fundamental su correcto mantenimiento. La serie de conductos y tuberías subterráneas que componen los sistemas de alcantarillado se encargan de recolectar las aguas de desecho y transportarlas de forma segura y rápida a un lugar donde no afecte a la salubridad de su población; actualmente el alcantarillado del municipio de Necoclí tiene condiciones desfavorables muy grandes, podemos evidenciar como el agua residual fluye por las calles expuestas al aire libre, se presentan taponamientos, se evidencian que por el desgaste de la tubería se abren en diferentes partes de una misma calle, se crean zanjas en las vías de tránsito trayendo consigo la proliferación de roedores.

El municipio no cuenta con un sistema de alcantarillado de aguas lluvias y se presenta el fenómeno de que muchos usuarios conectan estas aguas al sistema de aguas residuales, lo que hace que en época de invierno se aumenten los malos olores con el consiguiente derrame de aguas residuales en las calles. Lo poco que se tiene en cuanto a este sistema son algunos tramos de cunetas en concreto ubicadas a lo largo de las dos calles principales, habitualmente, estas aguas son conducidas hacia la PTAR.

Las aguas residuales provenientes de la actividad humana e industrial, pueden producir enfermedades infecciosas y afectar a la salud y el medio ambiente, por esta razón deben ser tratadas antes de descargarlas en ríos, lagos, mares, entre otros.

Necoclí es un municipio que actualmente está al nivel del mar o incluso por debajo, evidenciándose esto al final del día cuando el mar entra a las

pequeñas quebradas del municipio y en las mañanas baja nuevamente; debemos tener en cuenta que el alcantarillado es un sistema que funciona por gravedad y al momento de pensar en la tubería, es importante tener presente la capacidad de arrastre y la pendiente, por esto se entiende que aunque en muchas ocasiones se ha pensado en un diámetro mayor para tener mejor flujo del líquido, este al final puede convertirse en un inconveniente en el sistema, dado que, al tener mayor diámetro y poca capacidad de arrastre lo que puede suceder es que al interior de las tuberías el agua puede sedimentarse y provocar obstrucciones.

Como lo mencionaba anteriormente la resolución 0631 de 2015 nos indica los parámetros y valores límites máximos permisibles para los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales, en esta podemos notar que la PTAR incumple el artículo 8 de la resolución ya que tiene algunos parámetros analizados por laboratorio, que no cumplen con los límites permisibles y aun así son vertidos al mar.

En cuanto a los porcentajes de remoción del sistema de tratamiento de aguas residuales, se puede comprobar que: la Demanda Química de Oxígeno en comparación con las características de entrada, es removida en un 66,2%, el PH es removido en un 96,5%, los Sólidos Suspendidos Totales un 5,5%, los sólidos sedimentables 32,1%, la Demanda Bioquímica de Oxígeno un 62,6% y las grasas y aceites son removidos en un 22,7%; con las condiciones del agua que sale se puede afirmar que los valores se encuentran dentro del rango permisible, exceptuando la DQO y Grasas y Aceites; específicamente podemos llegar a concluir lo siguiente:

Gran remoción de sólidos del agua:

Esta remoción de sólidos se da debido a que el agua que entra a la laguna de oxidación pasa prolongados tiempos en reposo en ella y al aire libre, permitiendo así que las partículas de mayor tamaño se sedimenten en lo profundo de la laguna y que además también precipiten las de menor tamaño, permitiendo que los desechos sólidos se clarifiquen en comparación a su estado inicial.

Grasas

Los análisis de laboratorio permitieron comprender que en todo el tratamiento se escapa una buena concentración de grasas, tenemos claro con esto, que este parámetro está siendo totalmente excluido del tratamiento, no se está cumpliendo con el artículo 185 del RAS 2017. Es

importante tener presente en el análisis que, Necoclí es un municipio turístico, que gran parte de la población de él se dedica a labores que disponen la atención a los visitantes atraídos por el extenso mar caribe, entre estas labores encontramos la hotelería y la gastronomía, llevando así a una gran cantidad de restaurantes en muchos de los sitios claves del municipio, debido a esto, podemos encontrar en los resultados, que hay un gran porcentaje de grasas en las aguas residuales y que incluso no están siendo removidas y se están vertiendo de tal manera en la fuente final. Gran parte de estas grasas se acumulan en las tuberías y en la superficie de la columna de agua ya que estas tienen tendencia a flotar, debido a que su densidad es inferior a la del agua, impidiendo el libre paso del oxígeno hacia el agua y la salida del CO₂ del agua hacia la atmósfera; en casos extremos pueden llegar a producir la acidificación del agua junto con bajos niveles del oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar. Una de sus principales características, es que las grasas son el componente de las aguas residuales que tiene una mayor tendencia a oxidarse.

En el municipio existe una cantidad determinada de vertederos de aguas residuales con altos niveles de grasas y aceites, dentro de ellos podemos resaltar que la plaza de mercado ocupa el primer puesto en las descargas, la mayor parte de sus actividades de comerciales involucran el desecho de aguas usadas, dentro de ellas están las mesas de carnicerías, pesqueras, legumbres, restaurantes y hoteles, en estos se pueden relacionar actividades como:

- Drenaje de la sangre de las reses que son dispuestas para las ventas
- Desagües de estiércol extraídos de animales muertos de consumo humano
- Desagüe de los restos de subproductos y su tratamiento.
- Desagüe de residuos domésticos.
- Desagüe de las aguas frías o calientes, y de las zonas de venta, aparcamiento y servicios.

Para esto recomendamos que, en cada uno de los puntos gastronómicos y todo tipo de negocios relacionados con los vertimientos de aguas residuales, puedan implementar trampas de grasas antes de disponer las aguas en el sistema de alcantarillado, tomándolo como una

responsabilidad propia por el tipo de actividad que se ejerce y cumpliendo así con el artículo 172 del RAS 2017.

DQO:

Como lo sabemos, la DQO es la necesidad de oxígeno para reducir la materia orgánica presente en el agua, es un problema de gran importancia que exige una solución inminente debido a que claramente afecta a los recursos naturales de esta. Cada vez es más usual que en las aguas residuales sean domesticas o industriales encontremos altas cargas contaminantes, esta contaminación se da por la acumulación de restos de alimentos, animales en descomposición, materia fecal, entre otros; elementos que están quizá por nuestra falta de compromiso, y que agrupados en común forman lo que se llama la DQO refractaria (totalidad de toda la carga orgánica), Por eso es necesario controlar estrictamente este parámetro.

Por otro lado, es importante resaltar que la laguna de oxidación actualmente se tiene calificada como un foco de contaminación, el descuido y el abandono han llevado a convertir ese terreno en una selva intransitable en tiempos de lluvia, en un refugio de animales salvajes y ganado, en un botadero de residuos y animales muertos, incluso al interior de ella encontramos babillas, caimanes y otros animales; aunque la laguna geométricamente está bien estructurada, según el artículo 183 del RAS 2017 hay graves problemas en cuanto a la tubería que trasporta el caudal debido a la obsolescencia del material con que están construidos los conductos y que causan derramamiento de estas, también que su ubicación geográfica es inadecuada debido a que se encuentra en un centro poblado, no hay un cierre el cual impida el paso a curiosos por lo cual también representa un gran riesgo a la comunidad.

Así mismo, no se da cumplimiento al artículo 218 debido a que no posee un plan de mantenimiento periódico que permita el buen funcionamiento de la laguna, no se tiene un control de lodos y tampoco del crecimiento de vegetación a las orillas de la misma, constantemente se presentan derramamiento de lodos por la anticuada tubería con la que se cuenta y por la falta de atención oportuna para evitar obstrucciones y desbordamiento.

En conclusión, se puede observar que la columna de agua o laguna de oxidación permite que se realice un proceso natural de autodepuración, efectuándose así cambios en la calidad del agua que entre otros aspectos,

mantienen las condiciones adecuadas para que los organismos puedan realizar la estabilización, transformación, y remoción de contaminantes orgánicos biodegradables y, en algunos casos, nutrientes; a su vez puede presentarse un proceso aeróbico en el cual se eliminan algunos de los contaminantes orgánicos por su transformación en biomasa bacteriana con la ayuda del oxígeno. Es evidente resaltar que, aunque algunos procesos cumplen con los límites permisibles, aun se deben optimizar los procesos en la PTAR, puesto que al realizar la comparación entre las dos muestras y luego los resultados de las condiciones con las que sale el agua de la planta podemos concluir que aun requieren de procesos más puntuales para poder ser vertidos en la fuente receptora, es decir, los vertimientos realizados por la PTAR no cumplen con las normas de calidad del agua contenidas en la resolución 631 de 2015.

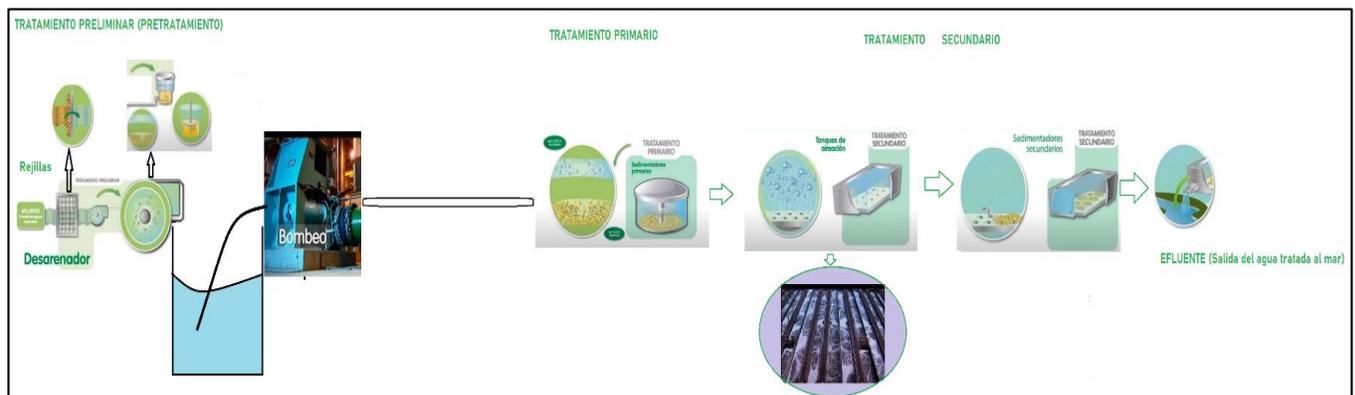
Además, después de evaluar las unidades del sistema de lodos activados y verificar su cumplimiento con la reglamentación RAS 2017, se concluye que ninguna estructura cumple con los parámetros establecidos.

16. Cumplimiento del objetivo número 4: propuesta de un diseño, estrategia de actualización o mejoras del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Se propone que, al llevar a cabo un nuevo sistema, se tenga en cuenta aspectos descritos a continuación:

16.1 Diseño

Figura 15. Esquema Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (Recomendado)



Fuente: Autor

Se considera el diseño de una planta de tratamiento convencional por las ventajas que esta ofrece; se recomienda hacerlo bajo dos líneas de tratamiento, una líquida y una sólida. La líquida que consista en someter el agua residual a un conjunto de procesos físico-químicos y micro-biológicos con el fin de eliminar elementos, sustancias y contaminantes inmersos en el agua y la sólida que es conocida como el proceso de lodos, en la cual se tratarían los lodos resultantes del tratamiento de aguas residuales para convertirlos en bio-sólidos. Contando a su vez con un sistema de control de olores.

- La fase líquida debe constar de las siguientes etapas:

1ª Tratamiento preliminar, la cual consiste en el ingreso del agua a la planta, donde se retiran residuos sólidos de gran tamaño como trapos, plásticos, ramas y demás. Esto a través de unas rejillas mecánicas, las cuales serían la primera estructura que abarcan las aguas residuales al

momento de llegar a la planta; luego ser conducida al desarenador para que la arena presente en el agua sea retirada e impedir que sean desgastados los equipos, para este caso se puede utilizar el tipo de desarenador Mortensen, en este, el agua entra tangencialmente y se genera un movimiento de remolino y así la arena se concentra en el fondo y luego se bombea a un contenedor para ser llevado a un relleno sanitario.

2ª Etapa del tratamiento primario, el cual lleva el agua a un tanque donde los sólidos medianos, grasas, aceites y espumas flotan en la superficie y los sólidos de mayor peso se sedimentan formando lodos. Luego esta agua es conducida hacia los tanques de aireación, hasta aquí puede alcanzar hasta 60% de sólidos suspendidos y 35% de la demanda bioquímica de oxígeno.

3ª Tratamiento secundario o lodos activados, este consiste en un proceso biológico en el que la materia orgánica presente en el agua residual y que no se sedimenta en el tratamiento primario, es utilizada por microorganismos que necesitan oxígeno y para esto se cuenta con unos tanques de aireación o reactores biológicos, cuando el agua residual entra a estos tanques hace contacto con los microorganismos que consumen y transforman la materia orgánica en agua, Dióxido de carbono, energía y más microorganismos; este oxígeno que necesitan los microorganismos se suministran en forma de aire que se toma de la atmósfera y se lleva hasta el fondo de los tanques a través de equipos como sopladores, el aire se libera a través de difusores que producen burbujas.

El agua al salir del tanque de aireación sale con una gran cantidad de lodo que debe ser retirado antes de verterla al mar de Necoclí y para esto es necesario unos tanques de sedimentación final con forma rectangular, un equipo de barre-lodos, concentra los lodos en una pequeña tolva, el cual luego es retirado por medio de motobombas.

El agua residual que sale de los tanques de sedimentación final va al mar, cumpliendo así con los parámetros establecidos por la legislación colombiana. Cuando se llega a la fase de vertimiento es importante tener en cuenta el emisario submarino, que es un sistema aliado que permite disponer las aguas residuales luego de pasar por una planta de tratamiento, este dispositivo ya se implementó en la ciudad de Cartagena y tiene una longitud de más de 4km, lo cual le permitió a la ciudad volver a tener bahías y playas limpias para conservar el turismo de la zona. La salinidad, la temperatura, la radiación ultravioleta y las corrientes marinas, son las encargadas del proceso químico, físico y biológico de las

aguas para reducir la carga orgánica y bacteriana, es decir, son el desinfectante de las aguas servidas.

Con este sistema se puede disminuir y evitar en gran medida la contaminación de los cuerpos de agua del municipio de Necoclí, esta tecnología es la que se utiliza en la mayoría de ciudades costeras del mundo.

Con la eliminación de estas descargas se disminuirían además el riesgo en la salud pública de los habitantes del municipio y sus visitantes, se garantizarían la calidad sanitaria de las playas de Necoclí para que propios y turistas las disfruten. (67)

- Ya en la fase de lodos se tratarían los sólidos resultantes del tratamiento de las aguas residuales para convertirlos en bio-sólidos y consta de lo siguiente:

La mayor parte de lodo que se retira del fondo de los sedimentadores secundarios está representada por agua que se debe retirar para así garantizar la eficiencia del proceso; para esto sería necesario las centrifugas que evitan que estos lodos estén expuestos a la atmosfera y de esta manera no se producirán olores desagradables en la instalación.

Se propone que mientras la administración municipal hace estudios para la consideración de un nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales, se puedan hacer ajustes para mejorar las condiciones que hay actualmente.

Hacer ajustes en el primer tanque de recepción, de manera que pueda estar recubierto de un material lavable que no se desprenda fácilmente con la humedad; anexarle barras a la rejilla que es utilizada para retener los sólidos de mayor tamaño antes de pasar al segundo tanque, teniendo presente el mantenimiento periódico de este, de forma que se puedan retirar constantemente y así no generar ningún desbordamiento.

Al pasar el agua al segundo tanque de mayor capacidad, hacer un control para que el agua pueda tener un tiempo en reposo, permitiendo que las partículas sólidas de menor tamaño puedan sedimentarse y no provoque obstrucciones en las motobombas que llevan el agua hasta la laguna de oxidación, en cuento a ellas, se recomienda cambiar dos de las tres que tienen para esta función y hacer mantenimiento a la tercera, ya que

definitivamente son muchas las fallas que tienen estas, hasta el punto de no usarlas por su inoperatividad.

En cuanto a la tubería que transporta el agua desde este punto de bombeo, se recomienda identificar todos los escapes y partes desgastadas que tiene en todo el trayecto y considerar ir haciendo cambios de esta de manera priorizada.

En los terrenos de la laguna de oxidación, declararlo como zona de riesgo, evitando el paso de la población general al interior de ella, mantener la zona podada y retirar constantemente el material sedimentado.

17. Conclusiones

Los beneficios que aportan las plantas de tratamiento de aguas residuales, (PTAR) en la mejora del medio ambiente son muy importantes y significativas, siempre y cuando estas se ajusten a las normas que rigen todos los procesos; es decir, el simple hecho de existir no es garantía del cumplimiento para el fin, para las que fueron creadas. Si bien, son múltiples los beneficios que prestan a nivel local y regional las PTAR, su simple existencia no siempre garantiza el adecuado manejo de las aguas residuales tanto por la infraestructura como en el tratamiento químico a los que se someten, como es el caso de la PTAR del municipio de Necoclí, la cual, no responde a los índices de calidad, produciendo en la descarga del agua residual contaminación en el efluente final.

El municipio de Necoclí construyó en 1980 un sistema de tratamiento para sus aguas residuales domésticas, este sistema de tratamiento es una laguna de oxidación facultativa. Las cabeceras municipales disponen de los sistemas de acueducto y alcantarillado con unos cubrimientos parciales; la confiabilidad y calidad del suministro del agua presenta un balance de muy bajas condiciones. El desordenado crecimiento de los asentamientos urbanos y suburbanos hace difícil la adecuada provisión de demanda y difícil la tarea de ampliar el servicio, como también la adecuada disposición final de los desechos líquidos y sólidos, los cuales tienen como receptor final los ríos, caños, quebradas y el mar. La presencia de estos, en los distintos cuerpos de aguas y en organismos acuáticos, es una de las más graves causales del deterioro ambiental en toda la zona norte. En la zona rural no se dispone de fuentes superficiales para el abastecimiento de acueducto, se han planteado para la zona varios esquemas de aprovechamiento, destacándose las diversas alternativas de embalses (represas de aguas lluvias) tendientes a suplir demandas domésticas, en algunos casos de riego y para animales como bebederos. (68)

La planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Necoclí se encuentra en una etapa de estancamiento, ya que su funcionalidad como lo hemos dicho anteriormente es paupérrima por lo que requiere cambios importantes en todo el componente estructural y de diseño.

No se evidencia la evacuación de los lodos del sistema que se concentran en la parte inferior de los tanques de almacenamiento, además de que ya no tienen la capacidad suficiente para el depósito de las aguas residuales, pues esta fue elaborada hace muchos años atrás para la población con la

que se contaba y debido al crecimiento de esta, se ocasiona desbordamiento. No se llevan a cabo procesos que permitan la efectividad de los mantenimientos que se deben desarrollar en la PTAR.

La maquinaria se encuentra obsoleta, la capacidad de trabajo no da abasto con el caudal de las aguas residuales que actualmente llegan a ellas, no se hace mantenimiento de estas.

En términos generales el alcantarillado y el sistema de tratamiento y disposición final de los vertimientos líquidos son depositados en la laguna de oxidación, la cual presenta deficiencias técnicas y de operación y no cuenta con el diseño y ubicación adecuados, por lo cual genera olores contaminantes para el entorno. Dicha laguna está ubicada en la zona de expansión urbana, situación que impide el crecimiento urbanístico del Municipio; además su efluente cae directamente al mar sin ningún control, lo que la convierte en un fuerte factor contaminante del medio ambiente y la biodiversidad marina.

En efecto, se han pensado alternativas que aportarían una solución a esta problemática y sabemos que la mejora debe ser magna como el problema en sí, las propuestas se encaminan primeramente en ampliar la cobertura del servicio debido a que solo se tratan menos del 5% de las aguas residuales municipales.

El diagnóstico realizado a la PTAR del municipio de Necoclí Antioquia, permitió determinar que esta no cumple con los parámetros establecidos para realizar vertimientos en la fuente receptora, por este motivo se realizó el rediseño para lograr el cumplimiento de la reglamentación vigente, ya que se pueden resaltar las carencias y los errores técnicos en la construcción y el diseño.

Luego de llevar a cabo el diagnóstico, se puede atribuir que la baja eficiencia en la remoción de materia contaminante se presenta por obsolescencia, fallas en equipos, bajos tiempos de aireación, poco mantenimiento a las estructuras y bajo conocimiento del operador frente al manejo óptimo de una PTAR.

Un nuevo sistema planteado ofrece una remoción más óptima, lo cual nos garantiza el cumplimiento de los parámetros de calidad del agua establecidos en la resolución 0631 de 2017, el cual apunta a garantizar la calidad de la prestación de los servicios, lograr la atención prioritaria de las necesidades básicas insatisfechas en materia de agua potable y

saneamiento básico, la ampliación de cobertura, la seguridad, funcionamiento adecuado, calidad, eficiencia y sostenibilidad de la infraestructura requerida para la prestación del servicio; además, responde a las actividades preliminares mencionadas en el artículo 8, el cual indica lo que se deben realizar para posteriormente emprender el proyecto de alcantarillado las cuales son, el diagnóstico que se realizó sobre las condiciones físicas, económicas y sociales sobre el municipio; también se expuso la población afectada, teniendo en cuenta la población local y los visitantes que indirectamente se ven afectados por la problemática, además se dieron a conocer datos específicos y relevantes como las condiciones sociales y culturales añadiendo así el crecimiento poblacional esperado y las actividades económicas predominantes; adicionalmente se obtuvo un apoyo para construir este trabajo en las herramientas de planeación requeridas y por supuesto se recolectó mucha información que soporta cada planteamiento como lo eran registros de caudales, de operación, mantenimiento igualmente la realización de inspecciones entre otros.

Es importante declarar que si no se toman las medidas necesarias para llevar a cabo esta intervención que necesita la planta de tratamiento de aguas residuales; en el 2041 e incluso antes nos encontraríamos con una población donde su mayor fuente de empleo se habría agotado ya que el municipio de Necoclí es un lugar turístico por sus atractivas playas y su clima cálido, esto se vería gravemente afectado dado a que todas las descargas de las aguas residuales son vertidas al mar el cual es el mayor atractivo del municipio.

Esta problemática también afectaría en gran manera a los pescadores ya que al contaminarse el agua se ve afectada la vida de las especies marinas y por consiguiente los pescadores que subsisten gracias a esta actividad.

Sabemos que año a año las poblaciones van aumentando y las necesidades de agua potable y saneamiento básico con ellas. Entre más población exista más desechos líquidos generados por las actividades de la vida cotidiana van a surgir, por lo cual es pertinente actuar de manera oportuna.

18. Recomendaciones

Se propone un nuevo Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales que pueda aprovechar la ubicación y la configuración que tiene el sistema actual; que el municipio pueda gestionar recursos a nivel departamental y nacional, es decir cofinanciar la obra, con la posibilidad de hacerlo por fases, teniendo listo el diseño de todo lo nuevo que se va hacer y con un esquema de intervenciones, se construya de una vez las unidades definitivas del sistema.

Recomendamos dentro de las posibilidades de proyectos macros para el municipio (plan maestro de acueducto) incluir el sistema de tratamiento de aguas residuales como una solución integral a la garantía que nos ofrece el Estado Colombiano a través de la Constitución Política en su artículo 366, ya que los habitantes del municipio de Necocli no gozan de una prestación eficiente que responda a sus necesidades básicas.

Realizar estudios y la consultoría por parte de agentes externos donde se dé el aporte del concepto sobre la geografía, la estructura de los suelos, capacidad de tratamiento y demás características ambientales y sanitarias, a la vez la realización de diagnóstico donde se analicen elementos como: los balances de masa, la generación de indicadores e identificación y valoración de las zonas de mayor impacto en la calidad del AR. Teniendo en cuenta las condiciones geográficas, poblacional futura a 25 años, condiciones y características del agua residual a tratar, para adecuadas fases y disposición final de estas, al ser zonas costeras, tal como nos lo indica la normatividad vigente colombiana.

16.1 Población en proyección – Metodo Geometrico (69)

$$P_f = P_a (1 + r)^{\Delta t}$$

Pf: Población futura

Pa: Población actual

r: Rata de crecimiento

$$P_1 = 54.799 \longrightarrow t_1 = 2010$$

$$P_2 = 65.663 \longrightarrow t_2 = 2017$$

$$P_3 = 70.824 \rightarrow t_3 = 2020$$

$$\frac{\Delta t \sqrt{Pf}}{Pa} = 1 + r$$

$$\frac{\Delta t \sqrt{Pf}}{Pa} - 1 = r$$

$$\frac{10\sqrt{70.824}}{54.799} - 1 = r$$

$$r = 2.59\% (0.0259)$$

$$Pf = 70.824 \times (1 + r)^{20}$$

$$Pf = 70.824 \times (1 + 0.0259)^{20}$$

$$Pf = 118.108 \text{ hab aprox.}$$

- También determinar la posibilidad de crear un alcantarillado separado que transporte a las aguas lluvias directamente al mar y las aguas domesticas podrían ir a la PTAR, de este modo se disminuiría el caudal de llegada a la planta en tiempos de invierno, y se evitaría el desbordamiento del alcantarillado que posteriormente es el que causa grandes inundaciones en el municipio por el colapso del sistema en las tuberías.
- Se recomienda actualizar el plan de saneamiento y manejo de vertimientos.
- Además, en cuanto a la operación y mantenimiento deficiente de los sistemas, la mayoría de los operarios no cuentan con capacitación para realizar estas labores, no cuentan con elementos de protección personal ni apoyo por parte de los administrativos. Se recomienda realizar capacitaciones al personal que permita conocer el proceso realizado en cada una de las estructuras y el adecuado mantenimiento que se le debe hacer.

- Que los procesos biológicos de la planta sean controlados mediante análisis de laboratorios, dentro de los cuales se sugiere las mediciones mensuales en los reactores, dando prioridad a medir la DBO, la DQO, el pH, la concentración de grasas y los sólidos suspendidos totales. Sin embargo, periódicamente se deberán revisar valores como los caudales, los coliformes fecales y termo-tolerantes, el color y el oxígeno disuelto.
- Realizar aforos periódicamente sobre las zonas comerciales e institucionales para conocer los aportes que cada entidad tiene sobre el sistema.
- Se recomienda tomar muestras al entrar y salir el agua del sistema para establecer la concentración físico-química, calculando los parámetros cada 30 días.

17. Bibliografía:

1. Jeffrey Utz. Ecofiltro. ¿Qué porcentaje del cuerpo es agua? [Internet] México: Arturo Zavaleta; 2018. [Consultado 2020 Nov 24] Disponible en: <https://ecofiltro.mx/blogs/news/sabes-cuanta-agua-tiene-tu-cuerpo>
2. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of the America [Internet] Princeton, Nueva Jersey; Pablo G. Debenedetti [Consultado 2020 Nov 24] Disponible en: <https://www.pnas.org/content/114/51/13327>
3. Víctor E. Ortiz García. Historia del acueducto y el alcantarillado en Medellín [video]. Medellín: Cooperativa de Profesores Cooprudea 2020.
4. Ríos-Tobón S, Agudelo-Cadavid RM, Gutiérrez-Builes LA. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Rev Fac Nac Salud Pública. 2017; 35(2):236-47.
5. Castañeda J. Iagua. ¿Qué significa que el saneamiento es un derecho?. [Internet] España: Iagua; 2018. [Consultado 2020 Nov 28] Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/jorge-castaneda-pastor/que-significa-que-saneamiento-es-derecho-definicion-y-categorias>
6. Constitución Política de Colombia. Del régimen económico y de hacienda pública [Internet]. [Consultado 2020 Dic 17] Disponible en: <http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/cpcapitulo5spublicos.pdf>
7. Naciones Unidas. Objetivos de Desarrollo Sostenible [Internet]. [Consultado 2020 Dic 17] Disponible en: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/6_Spanish_Why_it_Matters.pdf
8. Organización Panamericana de la Salud. Agua y Saneamiento [Internet]. [Consultado 2020 Dic 17] Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/agua-saneamiento>
9. Organización Mundial de la Salud. Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud. [Internet]. [Consultado 2020 Dic 17] Disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/facts2004/es/
10. Organización Mundial de la Salud. OMS | Saneamiento y aguas residuales. WHO [Internet]. 2017 Feb [consultado 2020 Nov 14];

Disponible en:
http://www.who.int/water_sanitation_health/sanitation-waste/es/

11. Silva J, Torres P, Madera C. Vista de Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión [Internet]. 2018 [Consultado 2020 Nov 15]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/13521/14204>
12. Parra R rojas. Colombia y su riqueza hídrica. Portafolio [Internet]. 2017 [cited 2020 Nov 17]; Available from: <https://www.portafolio.co/opinion/ricardo-rojas-parra/colombia-y-su-riqueza-hidrica-512481>
13. Alvarado, C. Corrupción en Colombia, ¿Qué papel está jugando la interventoría?. [Internet]. 2016. [citado: 2021, enero] Disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/15228>
14. Sarralde M. Recursos para el agua, boletín de corruptos en Colombia, según la Contraloría. EL TIEMPO [Internet]. 2018 [cited 2020 Nov 17]; Available from: <https://www.eltiempo.com/justicia/investigacion/recursos-para-el-agua-botin-de-corruptos-en-colombia-segun-la-contraloria-246180>
15. Ministerio de vivienda. Plan nacional de manejo de aguas residuales municipales [Internet]. [Consultado 2020 dic 02]. Disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5df92650162a3.pdf>
16. Colombia. Secretaria del Senado. Ley 142 de 1994 por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Diario oficial, 41.433 (Jul.11 1994).
17. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Plan de manejo de aguas residuales municipales en colombia [Internet]. [Consultado 2020 dic 02] Disponible en: http://www.enr.colostate.edu/~neilq/ce_old/projects/Colombia/Colombia/cd1_files/spanish/43%20plan%20nacional%20aguas%20residuales.doc
18. DANE. Proyecciones municipales, edad, sexo.[Internet]. 2008 [cited 2020 Nov 17]; Available from: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobl_a06_20/MProyeccionesMunicipalesedadsexo.pdf
19. Molina F, Mejía R. Presente y futuro del tratamiento de aguas residuales municipales en el departamento de Antioquia: una mirada inicial. Ingeniería y Sociedad [Internet]. 2012 Dec 12 [cited 2020

- Nov 25];34-8. Available from: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingeso/article/view/13985>
20. DANE. Proyección Municipios 2005-2020.[Internet]. 2005 [cited 2021 Abr 21]; Available from: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobl_a06_20/ProyeccionMunicipios2005_2020.xls
21. Departamento Administrativo de Planeación. [Internet] [Consultado 2020 Dic 12] Disponible en: <http://www.antioquiadatos.gov.co/index.php/13-10-3-cobertura-de-alcantarillado-en-los-municipios-de-antioquia-ano-2016>
22. Agua, D. Importancia de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en México [Internet]. [Consultado 2020 Nov 25] Disponible en: <https://www.domosagua.com/recursos/plantas-de-tratamiento-de-agua#6>
23. Agua, D. Operación de plantas de tratamiento de agua [Internet]. [Consultado 2020 Nov 25]. Domosagua.com. Disponible en: <https://www.domosagua.com/recursos/plantas-de-tratamiento-de-agua#6>
24. Agua, D. 2020. Construcción de planta de tratamiento de agua. [Internet] [Consultado 2020 Nov 25]. Domosagua.com. Disponible en: <https://www.domosagua.com/recursos/plantas-de-tratamiento-de-agua#6>
25. Espinoza Paz R. Planta de tratamiento de aguas residuales en San Juan de Miraflores [Internet]. Universidad de Piura. San Juan de Miraflores: Universidad de Piura; 2010 Oct [Consultado 2020 Nov 15]. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1478>
26. Alcaldía de Necoclí. Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019 "Por un buen Gobierno" [Internet]. [Consultado 2020 Nov 15]. Disponible en: <https://perfildealcaldes.socya.org.co/wp-content/uploads/2016/09/Plan-de-Desarrollo-Municipio-de-Necocl%C3%AD.pdf>
27. Entrevista con Henry Hernández Bravo, Concejal, Necoclí, 03 de Abril de 2021.
28. Alcaldía de Necoclí [Internet] Necoclí: 2006 [Consultado 2021 Abr 20]. Disponible en: <https://necocli-antioquia.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Pasado,-Presente-y-Futuro.aspx>

29. Betancur S. ¿Qué es alcantarillado combinado? [Internet]. [Consultado 2021 Abr 22]. Disponible en: <https://prezi.com/xzvksd0ehyj7/que-es-alcantarillado-combinado/>
30. Fibras y Normas de Colombia S.A.S - Fibras y Normas de Colombia S.A.S. LAGUNAS DE OXIDACIÓN DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS [Internet]. Bucaramanga: FYD Colombia; 2015 [Consultado 2021 Abr 22]. Disponible en: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/definicion-y-caracteristicas-de-las-lagunas-de-oxidacion/>
31. Rodríguez Miranda JP, García-Ubaque CA, García-Ubaque JC. Enfermedades transmitidas por el agua y saneamiento básico en Colombia. Rev Salud Pública [Internet]. 2016 [Consultado 2020 Nov 17];18(5):738–45. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15446/rsap.v18n5.54869>
32. OMS | El abastecimiento de agua, el saneamiento y el desarrollo de la higiene [Internet]. [cited 2020 Nov 17]. Available from: https://www.who.int/water_sanitation_health/higiene/es/
33. Dr LEE Jong-wook, Director General OMS. Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud. [online] [Consultado 2020 Nov 187] Disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/
34. Meoño FL, Taranco CG, Olivares YM. Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. Saber y Hacer [Internet]. 2016 Oct 27 [cited 2020 Nov 14];2(2):8–25. Available from: <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/1>
35. Consejo Consultivo del Agua AC. Diagnósticos del agua: Situación y contexto de la problemática del agua en México [Internet]. 2018 [cited 2020 Nov 14]. Available from: <http://www.aguas.org.mx/sitio/index.php/panorama-del-agua/diagnosticos-del-agua>
36. Acuatecnica.¿Cuántas plantas de tratamiento de agua residuales hay en Colombia? [Internet][Consultado 2021 Ene 27]. Disponible en: <https://acuatecnica.com/cuantas-plantas-tratamiento-aguas-residuales-colombia/>
37. Venegas A. Solamente 48,2% de los municipios cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales. La República. 2018; sec infraestructura.[Internet]. [Consultado 2021 Ene 17] Disponible en: <https://www.larepublica.co/infraestructura/solamente-482-de-los->

[municipios-cuentan-con-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-2611155](#)

38. Fibras y normas de Colombia S.A.S. Procesos de aguas residuales, PTAR, Definición, Tipos, Etapas del proceso, Conclusiones. [Internet] [Consultado 2020 Nov 23] Disponible en: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/procesos-de-aguas-residuales-ptar-definicion-tipos-etapas-del-proceso-conclusiones/>
39. Muñoz Cruz A. caracterización y tratamiento de aguas residuales.[Monografía para optar obtener el título de ingeniero industrial]. Estado de Hidalgo: Universidad autónoma del estado de Hidalgo; 2008.
40. Características de las aguas residuales.[Internet]. [Consultado 2020 dic 26] Disponible en: <https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>
41. Toscano J. Diseño de lagunas de oxidación para tratamiento de aguas residuales generadas en el campamento el coca de la empresa Triboilgas [Internet] Quito: Universidad Central del Ecuador; 2014 [Consultado 2021 abr 22] Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2257/1/T-UCE-0012-295.pdf>
42. Orozco A. Bioingeniería de aguas residuales, teoría y diseño. 2 ed. Bogotá: Acodal; 2014
43. Raffo lecca, Eduardo, Ruiz Lizama, Edgar, Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. Datos industriales [Internet].2014; 17 (1): 71-80. [Consultado 2021 abr 22] Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
44. Acuatecnica. Como es el tratamiento de aguas residuales domésticas. [Internet]. [Consultado 2020 Dic 26] Disponible en: <https://acuatecnica.com/tratamiento-aguas-residuales-domesticas-2/#:~:text=Las%20aguas%20residuales%20dom%C3%A9sticas%20son,un%20proceso%20para%20su%20eliminaci%C3%B3n.>
45. Recytrans. Aguas industriales. [Internet]. [Consultado 2020 Dic 26] Disponible en: <https://www.recytrans.com/blog/aguas-industriales/>
46. Minambiente. Minambiente presenta nueva norma de Vertimientos que permitirá mejorar la calidad del agua del país [Internet].[Consultado 2020 dic 26]. Disponible en:

<https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/1700-minambiente-presenta-nueva-norma-de-vertimientos-que-permitira-mejorar-la-calidad-agua-del-pais>

47. Iagua. ¿Qué es la contaminación del agua? [Internet]. [Consultado 2020 dic 26]. Disponible en: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-contaminacion-agua>
48. Organización mundial de la salud. Saneamiento [Internet]. [Consultado 2020 dic 26]. Disponible en: <https://www.who.int/topics/sanitation/es/>
49. Aguas de Cartagena. Guía del usuario [Internet]. [Consultado 2020 dic 26]. Disponible en: <https://www.acuacar.com/Oficina-virtual/Informaci%C3%B3n-general/guiadelusuario/ArticleID/47/%C2%BFEn-qu%C3%A9-consiste-el-servicio-de-alcantarillado#/List>
50. Normas y lineamientos técnicos para las instalaciones de agua potable, agua tratada, alcantarillado sanitario y pluvial de fraccionamientos y condominios de las zonas urbanas de Estado de Querétaro [Internet]. [Consultado 2021 May 29]. Disponible en: https://www.ceaqueretaro.gob.mx/wp-content/uploads/2016/08/2_43_1481382027_agua.pdf
51. Mercado A. Lagunas de Estabilización [Internet]. [Consultado 2021 Abr 25]. Disponible en: https://aquaknow.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/3.lagunas_de_estabilizacion_0.pdf
52. Colombia. Congreso de Colombia. Ley 09 de 1979 por la cual se dictan medidas sanitarias. Diario oficial, 35308 (jul 16 1979)
53. Colombia. Congreso de Colombia. ley 142 de 1994 por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Diario oficial, 41.433 (jul 11 1994)
54. Colombia. Ministerio de desarrollo económico. Resolución 1096 de 2000 Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. El ministerio; 2000
55. Colombia. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. decreto 3930 de 2010 Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III-Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos liquidas y se dictan otras disposiciones. El ministerio; 2010

56. Colombia. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Resolución 0631 de 2015 por el cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. El ministerio; 2015.
57. Corte Constitucional de Colombia. Sentencia T-707-12[Internet]. [Consultado 2020 Dic 26]. Disponible en: <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2012/T-707-12.htm#:~:text=Esta%20sentencia%20sostuvo%3A%20%E2%80%9C%5Be,la%20vida%20de%20las%20personas.&text=En%20este%20sentido%2C%20debe%20concluirse,otro%20para%20su%20plena%20realizaci%C3%B3n.>
58. Colombia. Ministerio de vivienda, ciudad y desarrollo. Resolución 0330 de 2017 Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009. Bogotá: El Ministerio; 2017.
59. Camacho A. Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales [Internet]. [Consultado 2020 Dic 26]. Disponible en: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5df92650162a3.pdf>
60. World Health Organization. Report on Infectious Diseases. Geneva: WHO; [Internet]. [cited 2020 Dic 25] Disponible en: <https://www.scielosp.org/article/bwho/2000.v78n11/1358-1367/en/>
61. Craun GF. Causas de brotes transmitidos por el agua en los Estados Unidos. Water Sci Technol. 1991; 24:17-20.
62. Pina S, Creus A, González N, Girones R, Felip M y Sommaruga R. Abundance, morphology and distribution of planktonic virus-like particles in two high-mountain lakes. J Plankton Res. 1998; 20:2413-21.
63. Cliver DO. Importancia del agua y el medio ambiente en la transmisión de enfermedades virales. En: Melnick JL, editor. Monographs in Virology, 15. Nueva York; 1984. p. 30-42.
64. Hurst CJ. Descripción general de la microbiología del agua en relación con la salud pública. En: Hurst CJ, Knudsen GR, McInerney MJ, Stetzenbach LD y Walter MV, editores. Manual of Environmental Microbiology. Washington DC: ASM Press; 2018. p. 133-5.

65. Schwartzbrod L, Lucena L y Finance C. Estudio cuantitativo de contaminación viral en afluente y efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales. J Fr Hydrol 2015; 10:7-20.
66. Hernández R, Fernández C, Baptista M. Metodología de la Investigación. En: The McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A. México D.F 2010.
67. Gómez E. Emisario submarino: ¡por fin!. El Universal. 2013 mar 20; Sec Cartagena. Disponible en: <https://www.eluniversal.com.co/cartagena/emisario-submarino-por-fin-112989-DYEU199785>
68. COORPOURABA. Sistemas públicos S.A. E.S.P.
69. Galeano L, Rojas V. Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua residual por zanjón de oxidación para el casco urbano del municipio de Velez - Santander. [Ingeniero civil] Santander: Universidad Católica de Colombia. Facultad de ingeniería;2021.