

**DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN
POBLACIÓN VULNERABLE EN LA VEREDA AGUA BLANCA DEL MUNICIPIO DE
GIRARDOT- CUNDINAMARCA**

**KAREN LORENA QUINTERO ROJAS
LINDA VANESSA MOTTA GARNICA**

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
GIRARDOT - CUNDINAMARCA
2024**

**DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN
POBLACIÓN VULNERABLE EN LA VEREDA AGUA BLANCA DEL MUNICIPIO DE
GIRARDOT- CUNDINAMARCA**

KAREN LORENA QUINTERO ROJAS
karen-lorena1@upc.edu.co
LINDA VANESSA MOTTA GARNICA
linda-motta@upc.edu.co

**Trabajo Presentado Como Requisito Para Optar Al Título Profesional De
Ingeniero Civil**

Tutor
Jesús Flaminio Ospitia Prada
Ingeniero civil
jesus-ospitia@unipiloto.edu.co

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
GIRARDOT-CUNDINAMARCA
2024**

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres por todo su apoyo y gracias a ellos hoy estoy aquí y gran parte del esfuerzo y sacrificio de esta meta es de ellos, en especial a mi madre que ha sido mi talón de Aquiles.

Karen L. Quintero R.

Dedico este proyecto a mis padres por ser ese apoyo constante en este proceso de formación, siendo ellos los principales promotores de esta meta a cumplir.

Linda V. Motta G.

AGRADECIMIENTOS

primeramente, queremos dar gracias a Dios por guiarnos y fortalecernos en cada paso de este camino, también agradecemos a cada una de las personas y docentes que contribuyeron a nuestros crecimiento académico y personal durante nuestra etapa universitaria, y en especial a nuestras familias, quienes han sido la mayor motivación para cumplir este gran sueño.

Asi mismo queremos agradecer a la gobernación de Cundinamarca por brindarnos la oportunidad de formar parte del Fondo de Educación Superior-Transformando Vidas y asi poder prepararnos como profesionales.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. JUSTIFICACIÓN	15
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
3. OBJETIVOS	17
3.1 OBJETIVO GENERAL	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4. MARCOS DE REFERENCIA	18
4.1 ANTECEDENTES.....	18
4.2 MARCO TEÓRICO	19
4.3 MARCO CONCEPTUAL	21
4.4 MARCO LEGAL	31
4.5 MARCO GEOGRÁFICO	32
4.6 MARCO DEMOGRÁFICO	37
5. DISEÑO METODOLÓGICO.....	40
5.1 TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	40
5.2 RECURSOS	42
6. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	43
6.1 PRIMERA FASE	43
6.1.1 Primera visita de campo en la zona de estudio.....	43
6.2 SEGUNDA FASE.....	44
6.2.1 Caracterización de la población.....	44
6.2.2 Caracterización Agua Residual.....	51
6.3 TERCERA FASE	54
6.3.1 Etapas para el sistema de tratamiento ARD.....	54
6.3.2 Proyección de población.....	54
6.3.3 Cálculo caudal de aguas residuales.....	56
6.3.4 Diseño del sistema de tratamiento.....	59
7. CONCLUSIONES.....	77
8. RECOMENDACIONES	78
9. REFERENCIAS.....	79
10. ANEXOS	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.Composición del ARD (Adaptado Metcalf y Eddy; 1998).....	20
Figura 2.Sistema Anaeróbico.....	26
Figura 3.Sistema Aeróbico.....	27
Figura 4.Sistema por Lagunas de oxidación o de estabilización.	28
Figura 5.Sistema por Humedal de subsuperficial horizontal.	29
Figura 6.Funcionamiento de la Trampa de grasas	30
Figura 7.Sistema por tanque séptico	30
Figura 8.Normativa vigente.....	31
Figura 9.Municipio de Girardot dentro del departamento de Cundinamarca.....	32
Figura 10.División municipio de Girardot	33
Figura 11.Zona de estudio Vereda agua Blanca.....	35
Figura 12. Cauce principal	36
Figura 13. Red de drenaje Quebrada agua blanca.....	37
Figura 14. Censo de Población y Vivienda 2018	38
Figura 15. Viviendas y Hogares del Municipio	38
Figura 16.Población de la vereda agua blanca CNPV 2005	39
Figura 17.Población de la vereda agua blanca CNPV 2018	39
Figura 18. Quebrada el encanto	43
Figura 19. Quebrada el encanto	44
Figura 20.Viviendas de la zona de estudio	45
Figura 21.Viviendas de la zona de estudio	46
Figura 22.Vivienda de la zona de estudio	46
Figura 23.Valores de Z (Nivel de confianza).....	47
Figura 24.Punto seleccionado para la toma de muestras	51
Figura 25. Toma de la muestra analizar	51
Figura 26. Muestra para su posterior análisis	52
Figura 27. Esquema Tren de Tratamiento	54
Figura 28. Diseño de la Trampa de Grasas	62
Figura 29. Diseño del Sedimentador Primario	64
Figura 30.Contribución de aguas residuales y lodos frescos.....	65

Figura 31. Diseño del Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente	69
Figura 32. Diseño del Humedal Sub-Superficial	74
Figura 33. Levantamiento Topográfico Vereda Agua Blanca.....	75
Figura 34. Ubicación asignada para la PTAR de la vereda Agua Blanca	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Caudal de las aguas residuales	19
Tabla 2. Principales enfermedades de origen hídrico	22
Tabla 3. Características de las aguas residuales domesticas	24
Tabla 4. Tipo de tratamiento de aguas residuales	25
Tabla 5. Rangos de eficiencia en los procesos de tratamiento	26
Tabla 6. División político administrativa del municipio	33
Tabla 7. Sectores de intereses paisajísticos.....	34
Tabla 8. Microcuencas Rurales Y urbanas del municipio de Girardot	35
Tabla 9. Técnicas adecuadas para la preservación de las muestras.	41
Tabla 10. Caracterización de los predios.....	45
Tabla 11. Caracterización de la población por grupo de edad	45
Tabla 12. Ubicación del punto de muestreo.....	51
Tabla 13. Técnicas de análisis de componentes	52
Tabla 14. Resultados de la Muestra	53
Tabla 15. Valores máximos permisibles en ARD	53
Tabla 16. Población actual de la zona estudio.....	55
Tabla 17. Resultados proyección población	56
Tabla 18. Memoria de cálculo: Trampa de Grasas	61
Tabla 19. Memoria de cálculo Sedimentación Primaria	63
Tabla 20. Ponderación de contribución de aguas residuales.....	65
Tabla 21. Memoria de cálculo Filtro FAFA.....	68
Tabla 22. Calidad del agua acorde a la concentración de DBO	71
Tabla 23. Concentración Influyente DBO	71
Tabla 24. Características típicas de los medios para humedales.	72
Tabla 25. Memoria de cálculo Humedal artificial Sub-superficial.....	73

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Laboratorio N°1 para la determinación del (DBO, DQO, SST)	86
Anexo 2.Resultados (Coliformes Termotolerantes y Coliformes Totales).....	87
Anexo 3.Laboratorio N°2 (DBO, DQO, Grasas y aceites).....	88
Anexo 4. Formato Encuesta	89
Anexo 5.Plano Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	90

GLOSARIO

AGUAS RESIDUALES: “son aquellas cuya calidad ha sido afectada negativamente por la actividad humana. Proceden de viviendas, poblaciones y áreas industriales y arrastran contaminantes y detritos”. (Velázquez & Robles, 2021, pág. 45).

AGUAS SERVIDAS: son residuos generados en hogares y establecimientos comerciales, que incluyen desechos fisiológicos y otros productos derivados de actividades humanas, y se deben desechar adecuadamente (OEFA, 2014).

AMBIENTE: Conjunto de factores físicos, químicos, biológicos y sociales que pueden influir directa o indirectamente en los seres vivos y en las actividades humanas tanto a corto como largo plazo (Damián, 2009).

CONCENTRACIÓN: cantidad de contaminantes que se encuentran presentes en el agua residual a tratar (CONAGUA, 2016).

CONTAMINACIÓN: “La incorporación a los cuerpos receptores, de sustancias sólidas, líquidas, gaseosas o mezcla de ellas, que alteren desfavorablemente, las condiciones naturales del mismo y/o que puedan afectar la sanidad, la higiene o el bienestar público”. (Pastorino, 2009, pág. 346).

CUERPO DE AGUA: “Sistema de origen natural o artificial localizado, sobre la superficie terrestre, conformado por elementos físicos-bióticos y masas o volúmenes de agua, contenidas o en movimiento” (Duarte & Galindo, 2018, pág. 96).

DBO: “Es la cantidad total de oxígeno consumida por los microorganismos durante los primeros cinco días de biodegradación” (Raffo & Ruiz, 2014, pág. 76).

DQO: “Mide la cantidad de materia orgánica del agua, mediante la determinación del oxígeno necesario para oxidarla, pero en este caso proporcionado por un oxidante químico como el permanganato potásico o el dicromato potásico” (Espigares & Pérez, pág. 13).

LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE: Es la cantidad máxima dentro de un recurso hídrico, establecida por un organismo de control, donde su exceso ocasiona daños en el medio ambiente y la salud (Buenaño, 2015, pág. 32).

OMS: “La Organización Mundial de la Salud es una autoridad especializada de las Naciones Unidas, fundada en 1948, a cargo de asuntos de sanidad internacional con el objetivo de mejorar la salud de las personas en todo el mundo” (Ameghino, Alto, Chinchay, & Fernández, 2021, pág. 17).

PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL-POT: “El POT contiene un conjunto de objetivos, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas que orientan el desarrollo físico del territorio y la utilización o usos del suelo”. (Secretaría Distrital de Planeación, s.f.)

RAS: “Reglamento de Aguas y saneamiento básico es una herramienta creada por el ministerio de vivienda en Colombia para mejorar la calidad de la prestación de servicios en agua potable y saneamiento básico”. (Planta de Agua SAS).

SANEAMIENTO BÁSICO: “es un conjunto de acciones que se pueden aplicar sobre el ambiente para reducir los riesgos sanitarios, prevenir la contaminación y, consecuentemente, lograr mejores niveles de salud”. (Organización Panamericana de la Salud, 2022).

TRATAMIENTO: “Es un proceso que limpia y permite su reincorporación a los mantos acuíferos o a los sistemas de agua potable”. (Reporte Indigo, 2020).

RESUMEN

Esta investigación plantea la implementación de un sistema para el tratamiento de aguas residuales domésticas en población vulnerable del municipio de Girardot Cundinamarca, caso de estudio vereda Agua Blanca, partiendo inicialmente con la primera fase de la investigación que consiste en la recopilación de información e identificación de las necesidades de la población en cuanto a condiciones sanitarias, obteniendo como resultado la ausencia de un sistema de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales domésticas, como segunda fase se procedió a realizar la caracterización de la población a partir de visitas a la zona de estudio y las bases de datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística “DANE”, los tipos de predios identificados se clasificaron de acuerdo al tipo de ocupantes permanentes o provisionales, así mismo se emplearon técnicas para la recolección de información como las observaciones de campo, reuniones con la población y la aplicación de encuestas, por medio de estas se pudo conocer las características socio económicas y las opiniones de la población en cuanto al tema de la investigación, Como tercera fase de la investigación se realizó la caracterización del agua residual para determinar en primera instancia los contaminantes que contiene el agua residual por medio de unas pruebas de laboratorio que permitieron identificar los parámetros contaminantes del agua como su demanda química de oxígeno (DQO), demanda Bioquímica de oxígeno (DBO), grasas y aceites, sólidos suspendidos totales (SST) y coliformes totales, para la toma de la muestra se tomaron en cuenta los lineamientos de la NTC-ISO 5667-3 (preservación y manejo de muestras) y la Resolución 631 de 2015 (valores máximos de contaminantes permisibles en aguas residuales domésticas, con la finalidad de remover los contaminantes se opta por diseñar un sistema de tratamiento de las ARD de tipo biológico, que consta de un tratamiento preliminar con trampa de grasas, tratamiento primario con sedimentación primaria, tratamiento secundario con filtro anaeróbico de flujo ascendente, como tratamiento terciario el humedal artificial de flujo horizontal y para complementar el sistema con desinfección por medio de cloración, obteniendo así una agua lista para ser desechada a las fuentes hídricas cercanas o ser reutilizadas para actividades de agrícolas como el riesgo de cultivos u otros.

Palabras Clave: Aguas residuales, contaminantes, diseño, tren de tratamiento, población vulnerable

ABSTRACT

This research proposes the implementation of a system for the treatment of domestic wastewater in the vulnerable population of the municipality of Girardot Cundinamarca, case study in the village of Agua Blanca, starting initially with the first phase of the research which consists of the collection of information and identification of the needs of the population in terms of sanitary conditions, obtaining as a result the absence of a sewage system and treatment of domestic wastewater, The second phase consisted of characterizing the population based on visits to the study area and the databases of the National Administrative Department of Statistics "DANE", the types of properties identified were classified according to the type of permanent or temporary occupants, also techniques were used to collect information such as field observations, meetings with the population and the application of surveys, through these it was possible to know the socioeconomic characteristics and the opinions of the population regarding the subject of the research, as a third phase of the research, the characterization of the wastewater was carried out to determine the pollutants contained in the wastewater by means of laboratory tests that allowed the identification of the pollutant parameters of the water such as its Biochemical Oxygen Demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), total suspended solids (TSS), fats and oils and total coliforms, for the sampling the guidelines of the NTC-ISO 5667-3 (preservation and handling of samples) and Resolution 631 of 2015 (maximum permissible values of contaminants in domestic wastewater) were taken into account, In order to remove contaminants, it was decided to design a biological treatment system for ARD, consisting of a preliminary treatment with a grease trap, a primary treatment with primary sedimentation, a secondary treatment with an upflow anaerobic filter, a tertiary treatment with a horizontal flow artificial wetland and to complement the system with disinfection by chlorination, thus obtaining a water ready to be disposed of to nearby water sources or to be reused for agricultural activities such as crop risk or others.

Key words: wastewater, pollutants, design, treatment plant, vulnerable population.

INTRODUCCIÓN

La falta de sistemas de tratamiento para las aguas residuales en las ciudades municipios y veredas ocasiona grandes desechos de aguas contaminadas que hacen mucho daño al medio ambiente. La mayoría de esas aguas es descargada en los ríos, lagos, mares, en los suelos a cielo abierto o en el subsuelo, a través de los llamados pozos sépticos y rellenos sanitarios. (Rodríguez, 2017), además las aguas residuales, han sido un problema que desde hace mucho tiempo se presenta en el ambiente de manera que estas aguas, son unas de los principales contaminantes de las fuentes hídricas, ya que en ellas se pueden encontrar condiciones físicas, microbiológicas y químicas altamente contaminantes para el ambiente.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO (2017) afirma que “Más del 80% del total de las aguas residuales se vierten sin tratar” (pág. 3). Siendo esto un gran desafío ya que contienen grandes contaminantes que perjudican la salud humana como la de cualquier ser vivo, por lo que deberían implementar sistemas de tratamiento para reducir el impacto negativo al ambiente y a los seres vivos.

A lo largo de los años, tanto los gobiernos como la comunidad no han apreciado la importancia del manejo adecuado de las aguas residuales, como resultado, estas aguas son utilizadas mal, causando efectos negativos al ambiente y en la propia comunidad, una gran parte de las aguas residuales domesticas no reciben ningún tratamiento o pasan por un proceso insuficiente.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales en casi todos los países de América Latina generalmente no cumplen con lo requerido en materia ambiental, debido a la cantidad de agua contaminada y la poca inversión e infraestructura en las plantas de tratamiento. En Colombia en 989 localidades, en áreas con menos de 30.000 habitantes, el 78% no cuentan con tratamiento alguno. Hasta el año 2002 en Cundinamarca operaban: en Cundinamarca 38 PTARS, en Antioquia 26, Cesar 14, Valle del Cauca 14 y Tolima 13. (Lizarazo & Orjuela, 2013, pág. 17)

Según el Consejo Nacional de Política Económica y social CONPES (2002) de las 237 PTAR ubicadas en 235 municipios solo se trataba el 8% de los vertimientos de agua residual a los alcantarillados, esto debido a los problemas como poca capacidad o procesos incompletos.

El presente proyecto de investigación se elaboró con el objetivo de brindarle a la comunidad de la vereda Agua Blanca del municipio de Girardot; el diseño hidráulico de un sistema de tratamiento de agua residual domestica que dé cumplimiento a los parámetros establecidos en la Resolución 799 del 2021, la Resolución 0330 del 2017 entre otras, reduciendo así los impactos negativos que ocasiona el desecho inadecuado de las aguas residuales domésticas, la propuesta se encuentra estructurada en 3 Fases, mediante las cuales se realizó el desarrollo de la investigación, permitiendo realizar un estudio de la zona afectada y la obtención de datos indispensables para la investigación.

1. JUSTIFICACIÓN

Las aguas residuales, son un problema que desde hace mucho tiempo se presenta en el medio ambiente de manera que estas aguas, son unas de los principales contaminantes de las fuentes hídricas, ya que en ellas se pueden encontrar condiciones físicas, microbiológicas y químicas altamente contaminantes para el ambiente.

De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Girardot, la vereda Agua Blanca hace parte del corregimiento de San Lorenzo, el cual se encuentra situado en la parte media del alto magdalena en su margen derecha. La deficiencia de la gestión y planificación en los sistemas de saneamiento básico, ha ocasionado que en la vereda de estudio no exista la presencia de un sistema de alcantarillado, por ende, no existe un sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas (PTAR), actualmente la vereda cuenta con pozos sépticos comunitarios e individuales.

Con el desarrollo de este proyecto, se busca implementar el diseño hidráulico óptimo de un sistema de tratamiento de agua residuales domésticas, que permita disminuir la carga contaminante cumpliendo con lo establecido por la Resolución 699 de 2021 la cual menciona los parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas tratadas al suelo y la Resolución 799 de 2021 establece el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico.

La implementación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas beneficia tanto a las comunidades como al medio ambiente al abordar múltiples objetivos de desarrollo sostenible (ODS). Contribuyendo a los objetivos 6. (Agua limpia y saneamiento) al garantizar el saneamiento adecuado mejorando el bienestar de la comunidad, al objetivo 3. (salud y bienestar) al reducir la contaminación del agua y del aire, seguidamente el objetivo 12. (producción y consumo responsable) al fomentar prácticas sostenibles de gestión de residuos y, por último, al proteger los ecosistemas acuáticos y terrestres, se contribuiría al objetivo 15. (Vida de ecosistemas terrestres)

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La principal afectación para los residentes de la vereda agua blanca, en el municipio de Girardot, es la falta de un sistema de tratamiento para las aguas residuales domésticas, lo cual impacta en la salud de la población debido a la contaminación del medio ambiente y de las fuentes hídricas cercanas, además la deficiencia en la gestión y planificación de los sistemas de saneamiento básico ha provocado que no se haya implementado un sistema de alcantarillado, ni un sistema de tratamiento de las aguas residuales, actualmente la comunidad depende de pozos sépticos comunitarios e individuales construidos hace más de 10 años, los cuales muchos de esos pozos se encuentran en mal estado debido a la falta de mantenimiento, además se presentó un crecimiento demográfico en el sector, debido a esto algunos de los pozos no cuentan con la capacidad suficiente para la retención de las aguas residuales, lo que provoca la saturación, malos olores y el crecimiento de vectores como (zancudos, mosquitos, moscas y roedores) afectando la calidad de vida de los habitantes y turistas. Por otro lado, en algunos hogares de la vereda Agua Blanca, la ausencia de un sistema de pozo séptico conlleva a la descarga directa de aguas residuales en el suelo afectando las fuentes hídricas cercanas.

Una de las fuentes hídricas afectadas es la quebrada el encanto agua blanca y su red de drenaje “ubicada en la vereda agua blanca, la cual está localizada en la cordillera Alonso Vera perteneciente al municipio de Girardot”. (CAR), debido a que la mayoría de sus habitantes arrojan las aguas grises provenientes de (Lavamanos, duchas, Lavaderos) a sus cultivos o en cualquier sector del patio, y las aguas residuales vertidas directamente al suelo por ausencia de pozos sépticos ocasiona la contaminación del suelo afectando su calidad y fertilidad, debido a la presencia de contaminantes en las aguas residuales, pueden infiltrarse en el suelo, alcanzar las capas freáticas y contaminar las aguas subterráneas y fluir hacia las fuentes hídricas cercanas provocando su contaminación.

En base a la falta de un correcto tratamiento de las aguas residuales domésticas se formula la siguiente pregunta:

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la tecnología aplicable para el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales, caso de estudio vereda agua blanca del municipio Girardot Cundinamarca?

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño hidráulico del sistema de tratamiento de agua residuales domesticas; ubicada en la vereda Agua Blanca del municipio de Girardot Cundinamarca.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las condiciones sanitarias de la población de la vereda agua blanca (Girardot), a partir de la disposición de las aguas residuales.
- Caracterizar la población de la vereda agua blanca para definir los parámetros necesarios en el diseño del sistema de tratamiento de las aguas residuales.
- Definir el tren de tratamiento más adecuado para proyectar su diseño hidráulico.

4. MARCOS DE REFERENCIA

4.1 ANTECEDENTES

En el contexto social los habitantes de la vereda agua blanca han residido en la zona durante mucho tiempo, según información de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) los habitantes se han dedicado principalmente a la agricultura y a la explotación de especies pecuarias, sin embargo, en los últimos años, dejaron de cultivar productos como el algodón, el plátano, la yuca entre otros, debido a la falta de mercado para sus productos, esta disminución en la actividad agrícola ha llevado a un cambio en el uso de la tierra. Actualmente la zona se ha convertido en un lugar popular para la práctica de deportes, como el ciclo montañismo, las rutas utilizadas para esta actividad se realizaron sin ningún permiso por la zona de la quebrada y el bosque, lo que ocasiono la tala de una gran cantidad de especies arbóreas y su fauna, en términos ambientales, la vereda cuenta con sistema de acueducto, pero carece de un sistema de alcantarillado y por ende de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en la vereda se optó por sistemas individuales de saneamiento mediante pozos sépticos comunitarios, sin embargo, con el aumento de la población estos sistemas se han vuelto insuficientes para manejar las aguas residuales, algunos habitantes, al con contar con el conocimiento adecuado construyeron nuevos pozos sépticos sin tener en cuenta la normativa correspondiente, mientras que otros simplemente desechaban las aguas residuales en la parte trasera de sus casas, lo que provoca la infiltración de estas aguas en el suelo y su llegada a la microcuenca local.

El tratamiento de las aguas residuales es relativamente reciente, su inicio fue en 1800 y principios del actual siglo y coincide con la época de la higiene. Esto se desarrolló como efecto de la relación entre contaminación de los cursos, cuerpos de agua y las enfermedades de origen hídrico. (Rojas, 2002, pág. 3)

Al principio, el manejo de las aguas residuales consistía en verterlas sobre el suelo, pero pronto los terrenos disponibles no podían absorber el creciente volumen. En Inglaterra, tras la epidemia de cólera a mediados del siglo XIX, se impulsó la construcción de redes de alcantarillado, aunque el tratamiento de aguas residuales fue un tema poco abordado. Dado que los ríos eran cortos y de bajo caudal, la contaminación hídrica se convirtió rápidamente en un problema. Inicialmente, el enfoque del tratamiento estuvo más orientado a evitar conflictos con la industria y la agricultura que a resolver los problemas de salud (Rojas, 2002, pág. 3).

El verdadero desarrollo de las aguas residuales comenzó en 1912 con el descubrimiento de lodos activados, sin embargo, solo la década del 50 el proceso de los activados empezó a estudiarse científicamente. En 1962 se intentó establecer la teoría cinética para el tratamiento de los lodos activados y se establecieron los fundamentos de la microbiología sanitaria. En 1963 se estableció la proporcionalidad entre la energía liberada en el proceso de oxidación de la materia orgánica y su DQO (demanda química de oxígeno), ya en 1967 ya se establecieron métodos prácticos de diseño basados en las teorías existentes. Durante los últimos 20 años se han realizado grandes avances conociendo así los fenómenos bioquímicos y enzimáticos que ocurren durante el proceso de tratamiento biológico. (Uribe, 1996)

4.2 MARCO TEÓRICO

Los aportes de aguas residuales deben determinarse con base en información de consumos y/o mediciones recientes registrados en la localidad, y considerando las densidades previstas para el período de diseño con base en el Plan de Ordenamiento Territorial o Plan Básico de Ordenamiento Territorial o Esquema de Ordenamiento Territorial y Plan de Desarrollo del municipio a través de zonificación del uso de la tierra. Se justificarán los valores adoptados y deben ser aprobados por la persona prestadora del servicio. Se deben estimar los caudales para las condiciones iniciales y finales del período de diseño, en cada uno de los tramos de la red. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017, pág. 38)

Tabla 1. Caudal de las aguas residuales

ITEM	DESCRIPCION		FORMULA
Caudal de las aguas residuales domésticas	Cuando se cuente con proyección de demanda de agua potable, se debe calcular con la siguiente ecuación:	Donde (D_{NETAp}) es la demanda neta de agua potable por unidad de área tributaria (L/s.ha)	$QD = C_R \times D_{NETAp} \times A$
		Donde (A) es el área tributaria de drenaje (ha).	
	Cuando se cuente con proyección de demanda de agua potable por suscriptor, se debe calcular con la siguiente ecuación	Donde (P_S) es el número de suscriptores proyectados al periodo de diseño y (D_{NETAs}) es la demanda neta de agua potable proyectada por suscriptor (m3 /suscriptor-mes)	$QD = \frac{C_R \times P_S \times D_{NETAs}}{30}$
		Donde (D_{NETAs}) es la dotación neta de agua potable proyectada por habitante (L/hab.día)	
	Cuando se utilice proyección de población, se debe calcular con la siguiente ecuación:	y (P) es el número de habitantes proyectados al período de diseño. El coeficiente de retorno (C_R) debe estimarse a partir del análisis de información existente en la localidad y/o de mediciones de campo realizadas por la persona prestadora del servicio. De no contar con datos de campo, se debe tomar un valor de 0,85.	$QD = \frac{C_R \times P \times D_{NETA}}{86.400}$

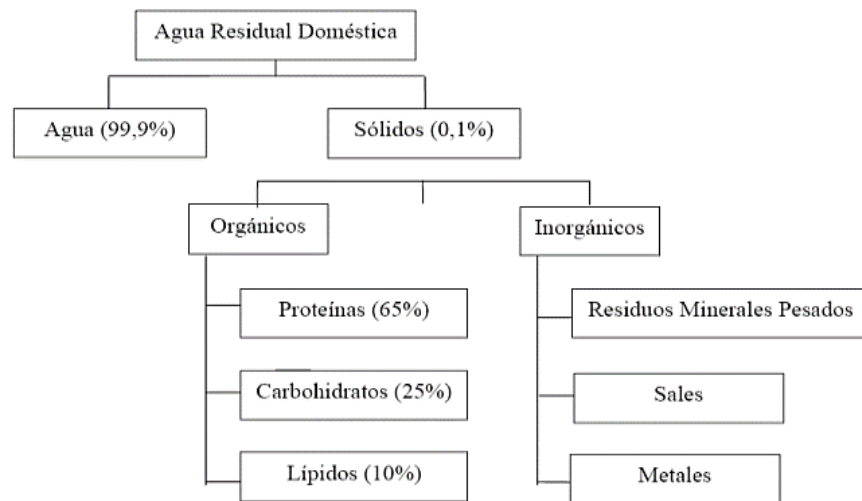
Fuente: (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

En la Tabla 1 se puede evidenciar los diferentes métodos para calcular el caudal en las aguas residuales domesticas teniendo en cuenta si se cuenta con la proyección de la demanda de agua potable, la demanda de agua potable por suscriptor o la proyección de la población. De acuerdo con los datos de proyección que se obtengan se aplica la fórmula que le corresponda, los datos de la demanda Neta y el coeficiente de retorno son necesarios en cualquiera de los 3 métodos.

Los sistemas de recolección, transporte y tratamiento de aguas residuales domésticas incluyen sistemas centralizados de alcantarillado público, que abarcan la recolección y descarga de las aguas residuales domésticas, su tratamiento y, finalmente, su disposición final (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2018).

4.2.1 Soluciones individuales de saneamiento

Figura 1.Composición del ARD (Adaptado Metcalf y Eddy; 1998)



Fuente: (Suarez, 2011)

Las aguas residuales domésticas consisten en un 99.9% de agua y un 0.1% de sólidos, de los cuales el 70% son materiales orgánicos y el 30% inorgánicos. Dentro de los sólidos orgánicos, alrededor del 65% corresponden a proteínas, el 25% a carbohidratos y el 10% a lípidos, mientras que los inorgánicos están formados por arena, sales y metales. (Herrea, Serrano, & Pabon, 2016)

En los sistemas de tratamiento descentralizados de aguas residuales, cuando se espera la presencia de grasas y aceites, es importante incluir dispositivos de remoción para proteger las etapas posteriores del tratamiento, como pozos sépticos, filtros anaeróbicos, campos de infiltración y humedales artificiales, el primer componente del proceso de tratamiento son las trampas de grasa, que deben ubicarse lo más cerca posible de la fuente de generación de aguas residuales, generalmente la cocina, y antes del tanque séptico o cualquier unidad que lo requiera, esto con el fin de ayuda a evitar obstrucciones, acumulaciones, adherencias en las unidades de tratamiento y la generación de malos olores (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Al diseñar una trampa de grasas, se deben tener en cuenta ciertos criterios, como el volumen, que se calcula con un tiempo de retención mínimo de 2.5 minutos, la relación entre el largo y el ancho del área superficial debe variar entre 1:1 y 3:1, dependiendo de su forma y la profundidad útil debe ajustarse al volumen estimado, asegurando una altura mínima de 0,35 metros, su limpieza debe realizarse cuando se alcance el 75% de la capacidad de retención de grasa (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017, pág. 46).

De acuerdo con el Artículo 173 de la resolución 0330 del 2017, las fosas sépticas empotradas se utilizan en zonas sin alcantarillado público, en edificaciones rurales distribuidas con contornos adecuados para el tanque y sus postratamientos, para almacenamiento de sólidos sedimentarios y cuando forma parte del sistema de alcantarillado, se deben considerar los siguientes parámetros al diseñarlo, el tiempo de retención hidráulica debe ser de 12-24 horas,

su largo a ancho entre tanque séptico es de mínimo 2:1 y como máximo 5:1, también debe costar. al menos dos cámaras, donde su volumen debe ser 2/3 del volumen total, la profundidad de trabajo debe estar entre los valores mínimo y máximo dados en la Tabla 1, su diseño debe facilitar su inspección y mantenimiento, y finalmente debe tener un dispositivo de eliminación de gases.

A la hora de diseñar humedales artificiales se tiene en cuenta su caudal, características de los afluentes, vegetación utilizada y su evaporación, su tiempo de retención hidráulica suele ser de unos 5 días, la relación largo-ancho es de 3:1 y 4:1, las profundidades de los sistemas de flujo superficial son de 0,30 a 0,60 metros y de 0,1 a 0,45 para los flujos submarinos, el suelo también debe ser impermeable. con una capa de arcilla o geomembranas (Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

4.3 MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se presentan los fundamentos esenciales para llevar a cabo el estudio, con el fin de clarificar los conceptos y términos utilizados. Estos fundamentos han sido extraídos de artículos científicos, libros, investigaciones, revistas y otras fuentes de datos.

Los desafíos ambientales que la sociedad enfrenta en la actualidad constituyen una amenaza real al nivel de calidad de vida de una parte de la población y a la posibilidad de mejoramiento de las condiciones básicas en la gran mayoría de las comunidades que aún no logran satisfacer sus necesidades mínimas de salud y bienestar. De manera particular el manejo de residuos humanos (heces y orina) se ha constituido en una problemática central, que conlleva serias implicaciones para la salud humana y para la conservación y disponibilidad de servicios de los recursos naturales, especialmente en las zonas rurales. (García, Vaca, & García, 2014, pág. 630)

4.3.1 Contaminación del agua

La contaminación del agua resulta de la descarga indiscriminada de desechos líquidos en los cursos de agua y puede ser grave o menor dependiendo de la abundancia, concentración, origen, caudal y contenido de oxígeno disuelto de la corriente que recibe el material residual.

La intensión fundamental de los primeros investigadores era recolectar las aguas residuales y transportarlas fuera de la ciudad para ser vertidas en algún cuerpo de agua generalmente un río o quebrada que se diluyeran y las llevaran lejos. Esta práctica hacia más estética y sana la ciudad; pero se vio claramente que se estaba ocasionando un deterioro en el cuerpo de agua que las recibía, volviéndolas desagradables y malolientes. Desde luego había un efecto directo sobre la salud de la población, al igual que los efectos económicos. (Uribe, 1996, pág. 3)

4.3.2 Aguas residuales

Se denomina aguas residuales a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial del agua. Se les llama también aguas servidas, aguas negras o aguas cloacales. Son residuales pues,

habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; son negras por el color que habitualmente tienen. Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales. (Torres & Briceño, 2016, pág. 13)

4.3.3 Aguas residuales de uso domestico

Las aguas residuales domésticas se refieren a aquellas que provienen de actividades higiénicas como cocinas, lavandería, baños entre otras. Estas aguas contienen principalmente residuos humanos que son transportados al sistema de alcantarillado a través de las redes hidráulicas de las edificaciones, establecimientos comerciales públicos etc.

El principal contaminador de las aguas residuales domésticas son las heces y la orina humana, seguido de los residuos orgánicos de la cocina. Estas aguas presentan un alto contenido de materia orgánica biodegradable y de microorganismos que por lo general son patógenos. (Chacon, Hurtado, Mendoza, & Villaquirán, 2015)

Tabla 2.Principales enfermedades de origen hídrico

ENFERMEDAD	ORGANISMO CAUSATIVO	FUENTE DEL ORGANISMO EN EL AGUA	SINTOMA
Gastroenteritis	Salmonella	Excrementos humanos o de animal	Diarrea aguda y vomito
Tifoidea	Salmonella typhosa	Excrementos humanos	Intestino inflamado, bazo agrandado, alta temperatura, mortal
Disentería	Shigella	Excrementos humanos	Diarrea
Cólera	Vibriocomma	Excrementos humanos	Vómito, diarrea severa
Hepatitis infecciosa	Virus	Excrementos humanos, mariscos	Piel amarilla, dolores
Amibiasis	Entamoebahystolitica	Excrementos humanos	Diarrea, disentería crónica
Giardiasis	Giardialamblia	Excrementos humanos y animales	Diarrea, retorcijones

Fuente: elaboración propia con base en (Uribe, 1996)

Las principales enfermedades causadas por los organismos que habitan en las fuentes hídricas son gastroenteritis, tifoidea, disentería, colera, hepatitis infecciosa, amibiasis y giardiasis siendo estas las más representativas y encontradas en los diferentes estudios relacionados con el tratamiento de las aguas

4.3.4 Características de las aguas residuales

- **Características físicas**

Temperatura

La temperatura al interior de los procesos de tratamiento de aguas residuales es un parámetro de vital importancia debido a que ésta puede modificar las características del agua, altera la vida acuática, modifica la concentración de saturación en oxígeno disuelto (OD) y la velocidad de las reacciones químicas y de la actividad bacteriana. Para actividades biológicas y desarrollo de la actividad bacteriana, la temperatura óptima oscila de 20°C a 35°C. (Ramírez, 2021, pág. 2)

Olor

“Los olores de las aguas residuales varían de olores a humedad a gases peligrosos debido a la descomposición biológica anaeróbica de los materiales orgánicos” (ECOLAB, s.f.).

Color

El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaeróbicas, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. (Gómez, 2011, pág. 5)

Turbiedad

La turbiedad, en general, se define como la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz se disperse y no se transmita a través de la suspensión. Las interacciones en las suspensiones naturales son complejas y el término “turbiedad” con frecuencia se utiliza en sentido cualitativo. (Deloya, 2006, pág. 1)

Densidad

La densidad de las aguas residuales se define como su masa por unidad de volumen, expresada en kg/m³. Es una propiedad física importante de las aguas residuales, porque depende de la formación de posibles corrientes de densidad en los lodos sedimentados y otras instalaciones de tratamiento. La gravedad específica del agua residual, obtenida como la relación entre la densidad del agua residual y la densidad del agua, a veces se utiliza como indicador de la densidad. Ambos parámetros, densidad y gravedad específica, dependen de la temperatura y varían con la concentración total de sólidos en las aguas residuales. (Gómez, 2011)

- **Características biológicas**

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia. La demanda de oxígeno de las aguas residuales es resultado de tres tipos de materiales: (1) materiales orgánicos carbonícos, utilizables como fuente de alimentación por organismos aeróbicos; (2) nitrógeno oxidable, derivado de la presencia de nitritos, amoníaco, y en general compuestos orgánicos nitrogenados

que sirven como alimentación para bacterias específicas (Nitrosaminas y Nitrobacter); y (3) compuestos químicos reductores (ion ferroso, sulfitos, sulfuros que se oxidan por oxígeno disuelto). (Ramalho, 1996, pág. 34)

Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) indica el contenido de materia orgánica del cuerpo de agua; se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable mediante un agente químico oxidante, generalmente el dicromato de potasio es el agente oxidante por su característica de oxidar casi todos los compuestos orgánicos (con excepción de los ácidos grasos de bajo peso molecular), en un medio ácido y a alta temperatura. Es muy usado para medir la materia orgánica en las aguas residuales urbanas e industriales. (Raffo & Ruiz, 2014, pág. 75)

Tabla 3. Características de las aguas residuales domesticas

CARACTERÍSTICAS	
FISICAS	Sólidos Totales
	Sólidos Totales en suspensión
	Temperatura
	Color
	Olor
QUÍMICOS	Hidratos de carbono
	Proteínas
	Lípidos Orgánicos
	Grasas, Aceites
	Alcalinidad
	Arena
	Metales pesados
	Nutrientes N, P
	Cloruros Inorgánicos
	Azufre
	Sulfuro de hidrogeno
	Gases
MICROBIOLÓGICO	Bacterias
	algas
	Protozoos
	Virus
	Coliformes

Fuente: (Mendoza, López, & Trauco, 2013)

4.3.5 Tratamiento de las aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales es una de las actividades del servicio público domiciliario de alcantarillado. Está definido como el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que tiene como fin separar o remover del vertimiento los constituyentes indeseables y modificar las propiedades fisicoquímicas o biológicas del residuo, con el fin de alcanzar niveles compatibles con los requerimientos de la descarga según la normatividad ambiental vigente. (Ascanio & Rodríguez, 2017, pág. 22)

4.3.6 Clasificación por el grado de tratamiento

Los procesos para controlar las aguas residuales pueden clasificarse en el tipo de tratamiento que se aplique, empleando la técnica más adecuada para el correcto tren de tratamiento. (véase la Tabla 4.)

Tabla 4. Tipo de tratamiento de aguas residuales

TIPO DE TRATAMIENTO	OBJETO	TÉCNICA
Preliminar	Eliminar material grueso Homogenizar caudal	Cribado Tamices estáticos Trituradores de canal Homogenización o tanques de igualación Desarenadores
Primarios	Eliminación de sólidos suspendidos Eliminación de grasas	Sedimentación Flotación Coagulación
Secundarios	Eliminar sólidos disueltos Eliminar DQO Y DBO	Sistema de biomasa en suspensión activados Sistema de biomasa adherida
Terciarios	Remoción nutrientes N y P Remoción y/o recuperación de metales o compuestos orgánicos Remoción de sales	Ósmosis Inversa Electrodialisis Destilación Adsorción Remoción por espuma
Remoción De Lodos	Remoción de humedad Eliminación DQO	

Fuente: (Manosalva, Ruiz, & Pérez, 2012)

- **Tratamiento primario**

El Tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El efluente del tratamiento primario usualmente contiene alto contenido de materia orgánica y una relativamente alta DBO. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021, pág. 80)

- **Tratamiento secundario**

El propósito de esta fase es remover los sólidos suspendidos presentes en el agua residual bajo la influencia de la gravedad; Esto se consigue ya sea de forma libre o con productos químicos que aglomeran las partículas (floculantes) para que se espesen y sedimenten más rápidamente. Los sólidos en suspensión eliminados son principalmente sustancias orgánicas, por lo que el contenido de DBO de las aguas residuales disminuye significativamente (Lozano, 2012).

“El fundamento del tratamiento secundario es la inclusión de procesos biológicos en los que predominan las reacciones bioquímicas, generadas por microorganismos que logran eficientes resultados en la remoción de entre el 50% y el 95% de la DBO” (Perdomo, 2014).

- **Tratamientos avanzados**

Consisten en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. Es un tipo de tratamiento más caro que los anteriores y se usa en casos más especiales: para purificar desechos de algunas industrias, especialmente en los países más desarrollados, o en las zonas con escasez de agua que necesitan purificarla para volverla a usar como potable, en las zonas declaradas sensibles (con peligro de eutrofización) en las que los vertidos deben ser bajos en nitrógeno y fósforo, etc. (Torres & Briceño, 2016, pág. 18).

Tabla 5. Rangos de eficiencia en los procesos de tratamiento

	Unidades de tratamiento	Eficiencia mínima de remoción de parámetros, porcentajes (%)						
		DBO5	DQO	SST	SSED	Grasas y aceites	Patógenos	Observaciones
Pre-tratamiento	Cribado o desbaste	0-15	0-10	10-50	0-6	0-40	N/A	Remociones con miltamices y microcribas
	Desarenadores	0-5	0-5	0-10	N/A	N/A	N/A	
	Trampa de grasas	0-5	0-3	10-15	N/A	85-95	N/A	
Tratamiento Primario	Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	75-85	60-70	30-50	
	Lagunas anaerobias	50-70	30-50	50-60	75-85	80-90	80-90	
	Tanque Imhoff	25-40	15-30	50-70	75-85	60-70	-30-50	
	Reactor UASB (RAFA)	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
Tratamiento Secundario	Lagunas facultativas	80-90	40-50	63-75	75-85	70-90	80-90	Sin contar con algas
	Lagunas aireadas	80-95	60-70	N/A	N/A	N/A	80-90	Con sedimentación secundaria
	Reactor anaerobio RAP	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
	Filtros anaerobios	65-80	60-80	60-70	N/A	N/A	20-40	
	Lodos activados (convencionales)	80-95	70-80	80-90	N/A	N/A	80-90	
	Filtros percoladores De alta tasa, roca	65-90	55-70	60-85	N/A	N/A	80-90	
	De alta tasa, plástico	75-95	60-80	65-85	N/A	N/A	80-90	
	Rayos UV	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	100	
Desinfección	Cloración	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	100	
	Laguna de maduración	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	99,99	

Fuente: (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

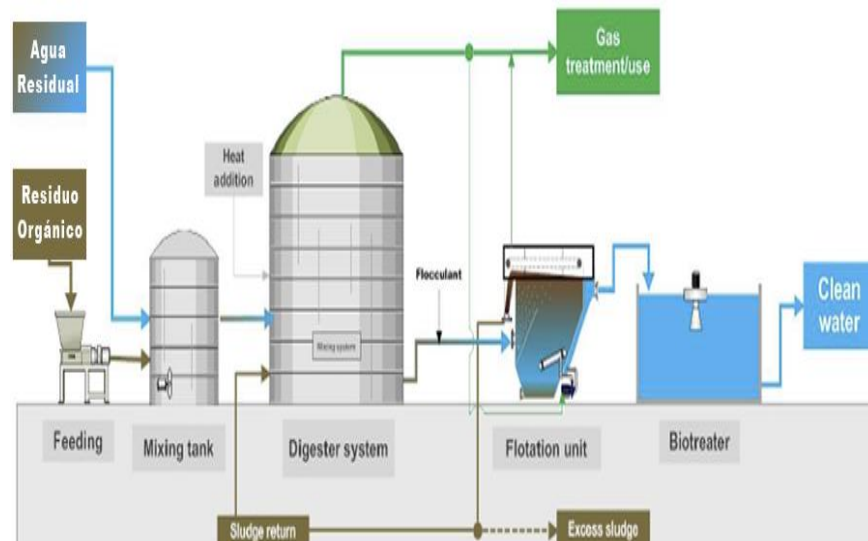
De acuerdo con el tipo de tratamiento de las aguas residuales y sus unidades como él (cribado, desarenadores, trampa de grasas, tanque imhof, filtros anaeróbicos entre otros) deben cumplir con un % de eficiencia mínimo de remoción, para cada uno de los indicadores de calidad del agua, como la DBO5, la DQO, los SST con el fin de verificar que la tecnología aplicada funciona de manera adecuada. (Véase la Tabla 5)

4.3.7 Sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia

- **Sistema anaeróbico**

Proceso simple y sencillo de operar, aplicable en pequeña, mediana y gran escala, para residuos industriales y domésticos. Presenta una baja producción de lodos (estabilizados), un bajo o nulo consumo de energía (eventualmente bombeo), son instalaciones compactas que demandan poco espacio. Constituyen una fuente de energía alternativa (CH₄) y permiten la aplicación de elevadas cargas orgánicas (superiores a 30 kg DQO/m³.d). El lodo anaerobio puede permanecer sin alimento mucho tiempo y el arranque de los reactores es rápido con una apropiada inoculación. (Lizarazo & Orjuela, 2013, pág. 46)

Figura 2. Sistema Anaeróbico

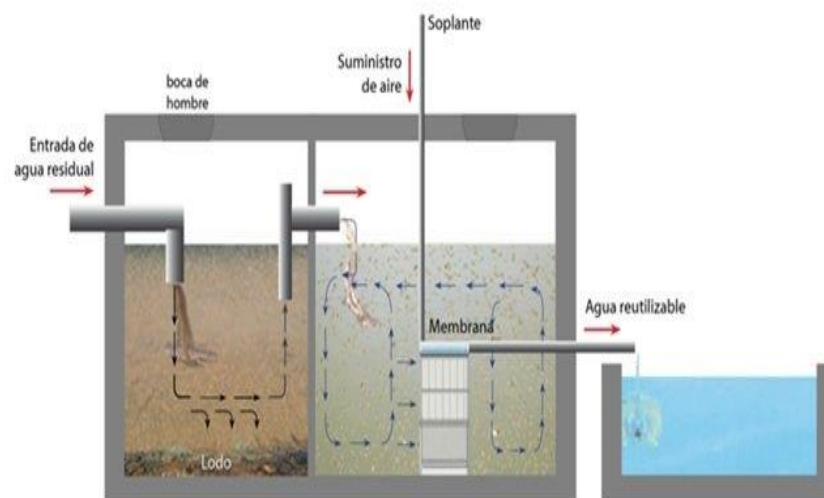


Fuente: (SPENA GROUP, 2016)

- **Sistema aeróbico**

El proceso básico de tratamiento es proporcionar un medio de alto contenido de oxígeno para que los organismos puedan degradar la porción orgánica del desecho a dióxido de carbono y agua en presencia de oxígeno. No ha sido posible en pequeña escala. Son similares a los sistemas sépticos o anaeróbico en cuanto a que los dos usan procesos naturales para el tratamiento del agua residual. Las unidades de tratamiento aeróbico usan un mecanismo de inyección y circulación de aire dentro del tanque de tratamiento. Los sistemas aeróbicos usan procesos de tasas más rápidas, lo cual permiten que loguen una mejor calidad del efluente. El efluente puede ser descargado en forma subsuperficial como en los campos de infiltración de los tanques sépticos, o algunas veces descargados directamente a la superficie. (United States Environmental Protection Agency, 2000)

Figura 3.Sistema Aeróbico.



Fuente: (Aguilar, 2021)

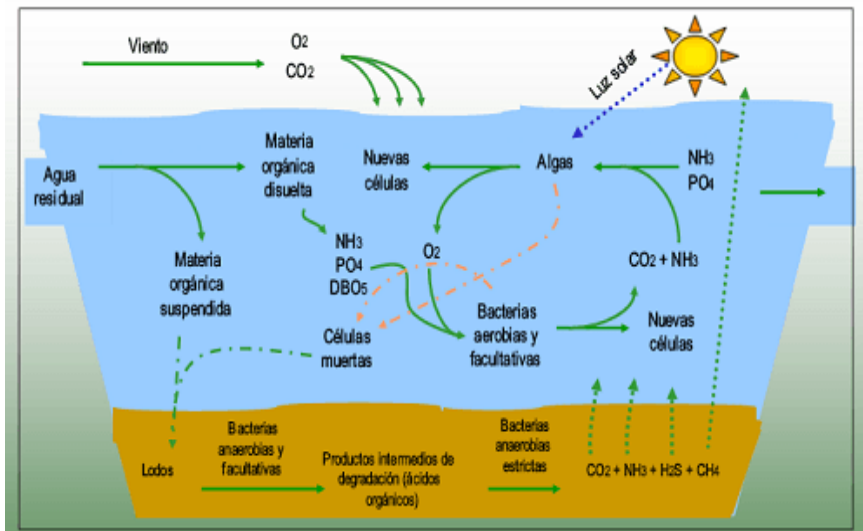
- **Floculación iónica**

No requiere ningún insumo químico ni orgánico. El tiempo de proceso de potabilización es muy rápido (4 horas). Trata de manera eficiente residuos orgánicos e inorgánicos. Trabaja a cualquier temperatura, grado de saturación, acidez o alcalinidad. Utiliza energía eléctrica de bajo voltaje (tipo casa habitación). Los costos de Instalación, operación y mantenimiento son muy bajos. Las plantas de tratamiento son modulares y pueden ser pequeñas y portátiles, o de las dimensiones que se requieran, ocupan menos del 50 % de la superficie de terreno que las plantas actuales. (Lizarazo & Orjuela, 2013, pág. 48)

- **Lagunas de oxidación o de estabilización**

El sistema está compuesto inicialmente por un grupo de trampas que atrapan y separan los elementos sólidos no inherentes al diseño del sistema, en etapas siguientes el agua y sus residuos pasan a un sistema de lagunas (una o más) donde permanecen en contacto con el entorno, principalmente el aire, experimentando un proceso de oxidación y sedimentación, transformándose así la materia orgánica en otros tipos de nutrientes que pasan a formar parte de una comunidad diversa de plantas y ecosistema bacteriano acuático. (Scribd, 2011, pág. 1)

Figura 4. Sistema por Lagunas de oxidación o de estabilización.



Fuente: (Fibras y Normas de Colombia S.A.S)

Se definen los aspectos esenciales del proceso de tratamiento del agua, el cual se realiza en las lagunas de oxidación:

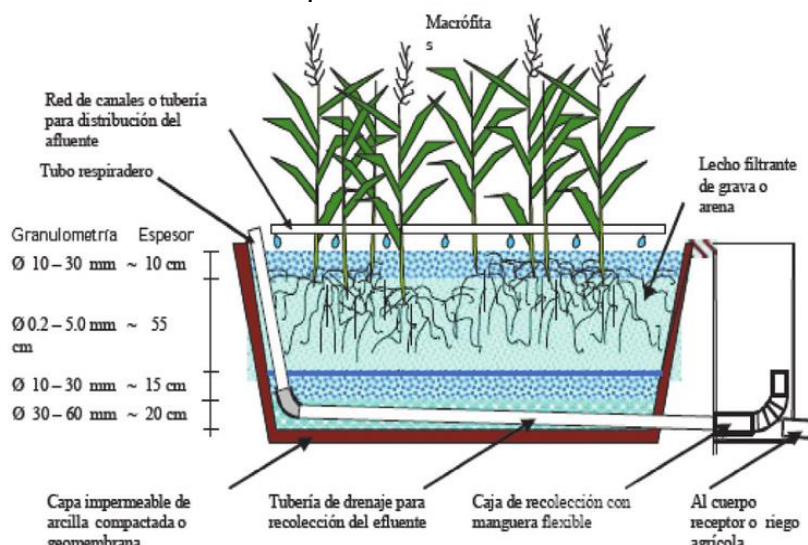
1. Es un proceso natural de autodepuración.
2. La estabilización de materia orgánica es efectuada mediante la acción simbiótica de bacterias, algas, y otros organismos que determinan la oxidación de la materia orgánica contenida en el agua residual.
3. Se presentan, procesos físicos de remoción y sedimentación de sólidos suspendidos en el recurso los cuales suelen representar una parte importante de la materia orgánica contenida en el agua residual, produciendo una eliminación del 75-80% de la Demanda Biológica de Oxígeno del efluente.
4. Se efectúan cambios químicos en la calidad del agua los cuales mantienen las condiciones para

que los organismos puedan realizar la estabilización, transformación, y remoción de contaminantes orgánicos biodegradables. 5. Se establecen cadenas tróficas y redes de competencia que permiten eliminar gran cantidad de microorganismos patógenos que se encuentran presentes en las aguas residuales. (Duran, 2020, pág. 56)

- **Humedales**

Los sistemas naturales de tratamiento (SN) están surgiendo como alternativas de bajo costo, fáciles de operar y eficientes en comparación con los sistemas de tratamiento convencional para una amplia gama de aguas residuales. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales basados en macrófitas acuáticas (plantas que crecen en suelos saturados de agua) tienen una función vital en relación con la depuración del agua residual. Los humedales están entre los ecosistemas más importantes de la tierra por sus condiciones hidrológicas, y porque constituyen un enlace entre sistemas terrestres y acuáticos. Un humedal artificial (Wetland) es un sistema complejo de medio saturado, diseñado y construido por el hombre, con vegetación sumergida y emergente y vida animal acuática que simula un humedal natural para el uso y beneficio humano. (Lizarazo & Orjuela, 2013)

Figura 5. Sistema por Humedal de subsuperficial horizontal.

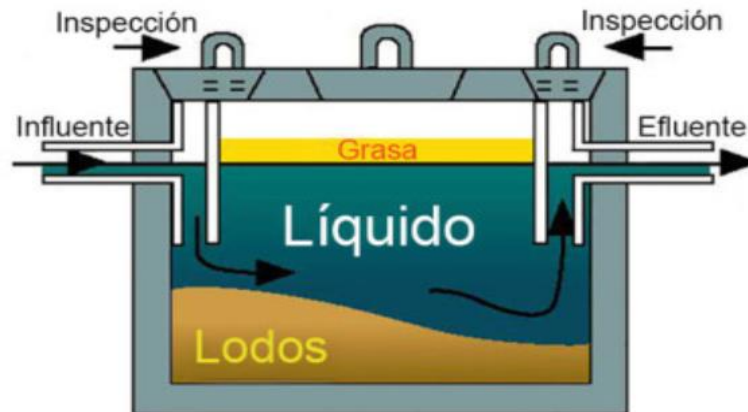


Fuente: (Borrero, Leonardo, & Vera, 2005)

- **Trampa de grasas**

Según el artículo 172 de la Resolución 799 de 2021, las trampas de grasa se ubican lo más cercano a la fuente de agua residual grasienta usualmente en la cocina, y antes de la fosa séptica o cualquier otro equipo que lo requiera esto ayuda a prevenir obstrucciones, acumulaciones y problemas de malos olores, los separadores de grasa deben usarse y limpiarse periódicamente para evitar que se escapen cantidades importantes de grasa y se generen malos olores, la limpieza siempre debe realizarse cuando se alcance el 75% de la capacidad de retención de grasa. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017, pág. 46)

Figura 6. Funcionamiento de la Trampa de grasas



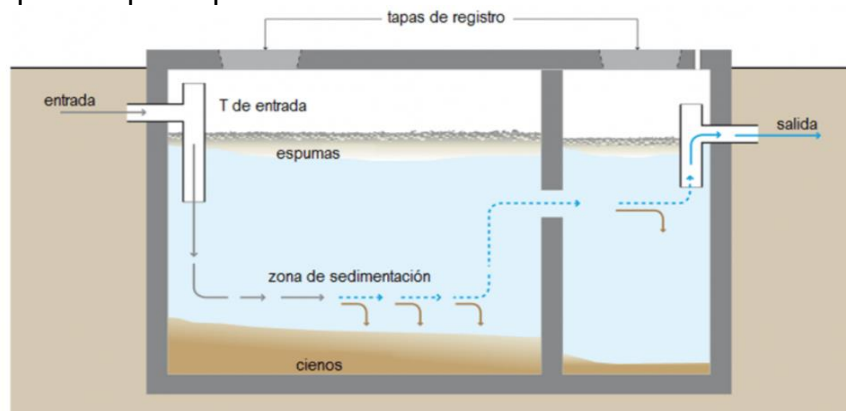
Fuente: (GSA Saneamiento Ambiental)

- **Tanques sépticos**

“Sistema individual de disposición de aguas residuales para una vivienda o conjunto de viviendas; combina la sedimentación y la digestión. Los sólidos sedimentados acumulados se remueven periódicamente y se descargan normalmente en una instalación de tratamiento”. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021, pág. 78).

Este sistema se basa en la capacidad de absorción del suelo, su eficiencia depende de la adecuada sedimentación de los sólidos más pesados y las grasas en los tanques de retención, así como de las características del terreno donde se instalan estos sistemas de tratamiento, que permiten la infiltración del agua, la implementación de este tipo de tratamiento se define mediante pruebas de penetración y evaluación de la capacidad de absorción del suelo. Además, si la comunidad o municipio vecino cuenta con procedimientos y sistemas para la retirada, recolección y tratamiento de los lodos generados. (Rosales, 2003, pág. 2)

Figura 7. Sistema por tanque séptico



Fuente: (Salas, 2020)

4.4 MARCO LEGAL

Para el desarrollo general del se elabora un normograma que compila la normativa vigente en Colombia relacionada con el tratamiento de aguas residuales, como se muestra en la Figura 8

Figura 8. Normativa vigente

NORMA	DESCRIPCIÓN	ARTICULO	DESCRIPCIÓN DEL ARTICULO
Constitución Política de Colombia de 1991	Constitución Política de Colombia de 1991	Artículo 79	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que pueden afectarlo. (Constitución Política, 1991)
		Artículo 80	El estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. A
		Artículo 366	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, educación, de saneamiento y de agua potable.
Ley 142 de 1944	Establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y	Artículo 2	Intervención del Estado en los servicios públicos. Atención prioritaria de las necesidades básicas insatisfechas en materia de agua potable y saneamiento básico
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.	Artículo 11	Se entiende por uso del agua para preservación de flora y fauna, su utilización en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos.
		Artículo 25	Disponer en cuerpos de aguas superficiales, subterráneas, marinas, y sistemas de alcantarillado, los sedimentos, lodos, y sustancias sólidas provenientes de sistemas de tratamiento de agua. Para su disposición deberá cumplirse con las normas legales en materia de residuos sólidos.
		Artículo 62	Mecanismo que promueve la reconversión tecnológica de los procesos productivos de los generadores de vertimientos que desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios, y que además de dar cumplimiento a la norma de vertimiento
Resolución 631 de 2015	La presente Resolución establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los	Artículo 6	Parámetros microbiológicos de análisis y reporte en los vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD y ARnD) a cuerpos de aguas superficiales
		Artículo 80	Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas - ARD de las actividades industriales, comerciales o de servicios; y de las aguas residuales (ARD y ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales.
Resolución 0330 de 2017	La presente resolución reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo.	Artículo 134	Los aportes de aguas residuales deben determinarse con base en información de consumos y/o mediciones recientes registrados en la localidad, y considerando las densidades previstas para el período de diseño con base en el POT, PBOT, EOT y el plan de desarrollo del municipio
		Artículo 168	Funcionamiento hidráulico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
		Artículo 172	Trampas de grasa.
		Artículo 173	Tanques séptico
		Artículo 175	Filtro anaeróbico de flujo ascendente.
		Artículo 177	Campos de infiltración
		Artículo 180	Humedales artificiales.
		Artículo 184	Eficiencias de los procesos de tratamiento
Resolución 0844 de 2018	Por la cual se establecen los requisitos técnicos para los proyectos de agua y saneamiento básico de zonas rurales. (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio)	Artículo 1	Establece los requisitos técnicos aplicables durante las etapas de perfil del proyecto destinada al suministro de agua potable y saneamiento básico en población asentada en zonas rurales.
		Artículo 4	Los proyectos de saneamiento básico en zonas rurales responderán a los siguientes principios, progresividad, soluciones tecnológicas apropiadas, sostenibilidad ambiental, sostenibilidad operativa, participación comunitaria, gestión social, gestión del riesgo.
		Artículo 5	Durante la fase de estudios y diseños deberá realizarse el censo de población y el catastro de viviendas, empleando una metodología adecuada a la escala del proyecto.
		Artículo 7	Requisitos generales para los proyectos en zonas rurales, los sistemas deberán ser planeados, diseñados y construidos conforme a los requisitos técnicos en la Resolución 330 de 2017
		Artículo 10	Para la formulación del perfil del proyecto podrán emplearse fuentes de información pública
		Artículo 17	Fase de estudios y diseños
		Artículo 37 y 38	Tipos de sistemas para la recolección, transporte y tratamiento de aguas residuales domésticas, y selección de sistemas centralizados y soluciones individuales.
		Artículo 44	Manejo de aguas residuales domésticas tratadas en zonas rurales
		Artículo 45	Disposición de aguas residuales domésticas tratadas en zonas rurales
Resolución 799 de 2021	Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS)	Artículo 134	Cuadral agua residual, los aportes de aguas residuales deben determinarse con base en información de consumos y/o mediciones recientes registrados en la localidad, y considerando las densidades previstas para el período de diseño con base en el POT, PBOT, EOT y el plan de desarrollo del municipio
		Artículo 42	Modifica el artículo 172 de 0330 de 2017. Trampa de grasas: cuando se prevean aportes de grasas y aceites, debe considerarse el empleo de sistemas de remoción de los mismos.
		Artículo 50	Modifica el artículo 173 de 0330 de 2017. Tanque séptico: parámetros de diseño
		Artículo 53	Modifica el artículo 184 de 0330 de 2017. Eficiencias de los procesos de tratamiento
		Artículo 19	Plan Estructural del Territorio
Acuerdo 024 del 2011	Plan de Ordenamiento Territorial "POT" del municipio de Girardot	Artículo 23 y 28	Clasificación del suelo
		Artículo 24	Clasificación y definición de usos del suelo de acuerdo a la actividad a desarrollar
		Artículo 68	Suelos de protección
		Artículo 71	Áreas de Bosque Protector
			Esta norma suministra directrices generales sobre las precauciones que se deben tomar para preservar y transportar muestras de agua, con excepción de las muestras microbiológicas. Estas directrices son adecuadas, en particular cuando una muestra (puntual o compuesta) no se puede analizar en el sitio y tiene que ser transportada para analizarla en el laboratorio
NTC-ISO 5667-3	Calidad del Agua muestreo Parte 3: Directrices para la preservación y manejo de las muestras		Presenta una guía para el muestreo de lodos de instalaciones de tratamiento de aguas residuales, de tratamiento de aguas y procesos industriales. se brinda orientación sobre el diseño de programas de muestreo y técnicas para la recolección de muestras
NTC 5667-13	Calidad de agua. Muestreo Parte 13: Guía para el muestreo de lodos de aguas residuales y plantas de tratamiento de aguas.		

Fuente: elaboración propia

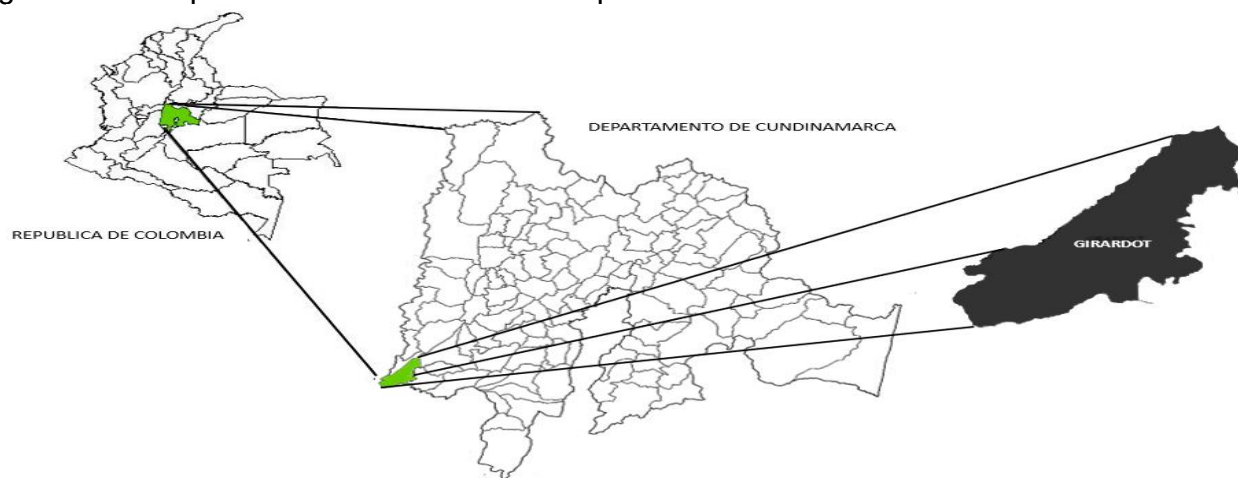
4.5 MARCO GEOGRÁFICO

Según información suministrada por él (Intituto Geográfico Agustín Codazzi, s.f.):

El departamento de Cundinamarca se encuentra situado en el centro del país, entre los 03°44'04" y 05°50'14" de latitud norte y los 73°03'16" y 74°53'39" de longitud oeste. Cuenta con un área de 24.210 kilómetros cuadrados, limita al norte con el departamento de Boyacá; al este con los departamentos de Boyacá y Meta; al sur con los departamentos del Meta y Huila y al oeste con el río Magdalena, que lo separa de los departamentos del Tolima y Caldas.

El departamento de Cundinamarca, según su división administrativa, está compuesto por 116 municipios y posee un sistema hidrográfico que incluye dos grandes cuencas: al oeste, la cuenca del río Magdalena, y al este, la cuenca del río Meta. Además, cuenta con 11 subregiones que se suman a estas cuencas. El río Magdalena es alimentado por los ríos Bogotá, Negro, Sumapaz, Minero y Ubaté. El departamento también está atravesado por una red vial principal de alcance nacional, facilitando la comunicación con la mayoría de las ciudades del país, complementada por numerosas vías secundarias que conectan las capitales municipales con la capital departamental.

Figura 9. Municipio de Girardot dentro del departamento de Cundinamarca



Fuente: elaboración propia con base a información tomada de (Galería de Mapas Alcaldía Municipal de Girardot, Cundinamarca)

4.5.1 Municipio de Girardot

La cabecera municipal de Girardot está localizada a los 04°18'00" de latitud norte y 74°47'51" de longitud oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 289 m. Dista de Bogotá, D.C. la capital departamental y de la República, 120 km por vía terrestre. El área municipal es de 130,253 km² y limita al norte con Nariño y Tocaima (Cundinamarca), al este con Tocaima y Ricaurte (Cundinamarca), al sur con Flandes (Tolima) y al oeste con Nariño (Cundinamarca) y Coello (Tolima). Cuenta con los corregimientos de BarzaLosa y San Lorenzo, además de 3 caseríos y

4 centros poblados. Para el primero de enero de 2022 registra 45.969 predios urbanos y 4.896 rurales. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi)

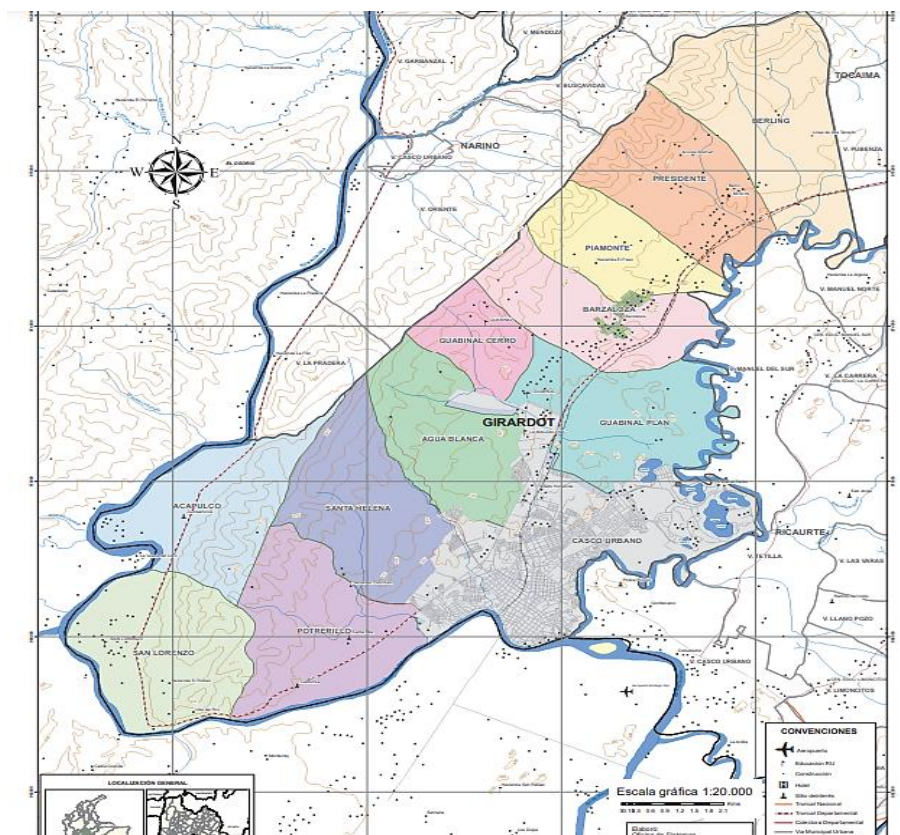
El municipio de Girardot se encuentra dividida en cinco comunas y 2 corregimientos conformados de la siguiente manera. (Véase la Tabla 6)

Tabla 6.Division político administrativa del municipio

Comuna N°1	Centro compuesta por 15 Barrios
Comuna N°2	Sur compuesto por 16 Barrios
Comuna N°3	Occidente compuesto por 36 Barrios
Comuna N°4	Norte compuesta por 42 Barrios
Comuna N°5	Oriente compuesto por 24 Barrios
Corregimiento 1	Corresponde a la zona rural de Barzalosa, conformada por la vereda Berlín, Guabinal cerro, presidente, Guabinal plan, Piamonte y Barzaolsa
Corregimiento 2	Corresponde a la zona rural de San Lorenzo, conformada por la vereda Agua blanca, San lorenzo, Potrerillo, Acapulco, Santa Helena

Fuente: (POT, 2011)

Figura 10.División municipio de Girardot



Fuente: (POT, 2011)

- Área de reserva ecoturística

A continuación, se muestran las zonas que se establecen como zonas de reserva ecoturística para el municipio de Girardot.

Tabla 7. Sectores de intereses paisajísticos.

MUNICIPIO	ORDEN NUMÉRICO	SITIOS DE INTERÉS PAISAJÍSTICO
Girardot	1	Cerro la Figueroa. Vereda Santa Helena
	2	Cerro Loma Peñoza. Vereda Agua Blanca
	3	Cordillera Alonso Vera. Finca Alto de la Virgen Mirador
	4	El Mirador del Alto De Las Rosas
	5	Mirador de Puerto Cabrera
	6	Mirador de Puerto Montero
	7	La Ribera del Magdalena
	8	Cerro El Talismán
	9	Las Cavernas. Ubicadas en la Cordillera Alonso Vera en la Vereda Potrerillos
	10	Quebrada la Yegüera
	11	Humedal de Pozo Azul Vereda Agua Blanca
	12	El Arbolito Inmediaciones de la Vereda Agua Blanca, por la Antigua Vía a Nariño
	13	Vereda Barzalosa
	14	Cerro de Guabinal (Mirador). Vereda Guabinal Cerro

Fuente: (Perez, Pava, & Garcia, 2020)

Según la revisión de documentos oficiales se delimitaron los siguientes sitios de interés paisajísticos en el municipio de Girardot, donde se pudo observar que la vereda agua blanca cuenta como un sector de gran interés tanto paisajístico como ecoturístico, debido a que pertenece a la cordillera alonso vera. Esta vereda también es conocida como el arbolito por sus esplendidos paisajes y su gran ruta que permite la realización de diferentes actividades deportivas como el ciclismo, caminatas, ciclo montañismo entre otros, además cuenta con un mirador al final de la ruta donde se puede observar variedad de paisajes, por lo que esta vereda se encuentra registrada como una reserva de protección en los diferentes documentos ambientales.

• Red Hidrográfica del municipio de Girardot

De acuerdo con el Sistema de Gestión Ambiental Municipal la red hidrográfica del municipio de Girardot está formada por los ríos Bogotá y Magdalena, las corrientes de agua que lo cruzan son aportantes a la subcuenca baja del río Bogotá y al río magdalena, la captación para el acueducto del municipio se ubica en el río magdalena. El municipio cuenta con una extensión significativa de humedales, abarcando 388 hectáreas, los humedales en la región suelen ser denominados ríos, quebradas, caños, lagunas y esteros, entre otros nombres, también se incluyen aquellos que están cubiertos o no por vegetación boscosa, los que se inundan estacionalmente, así como los que presentan vegetación y suelos húmedos. (Alcaldía de Girardot, s.f.)

Tabla 8. Microcuencas Rurales Y urbanas del municipio de Girardot

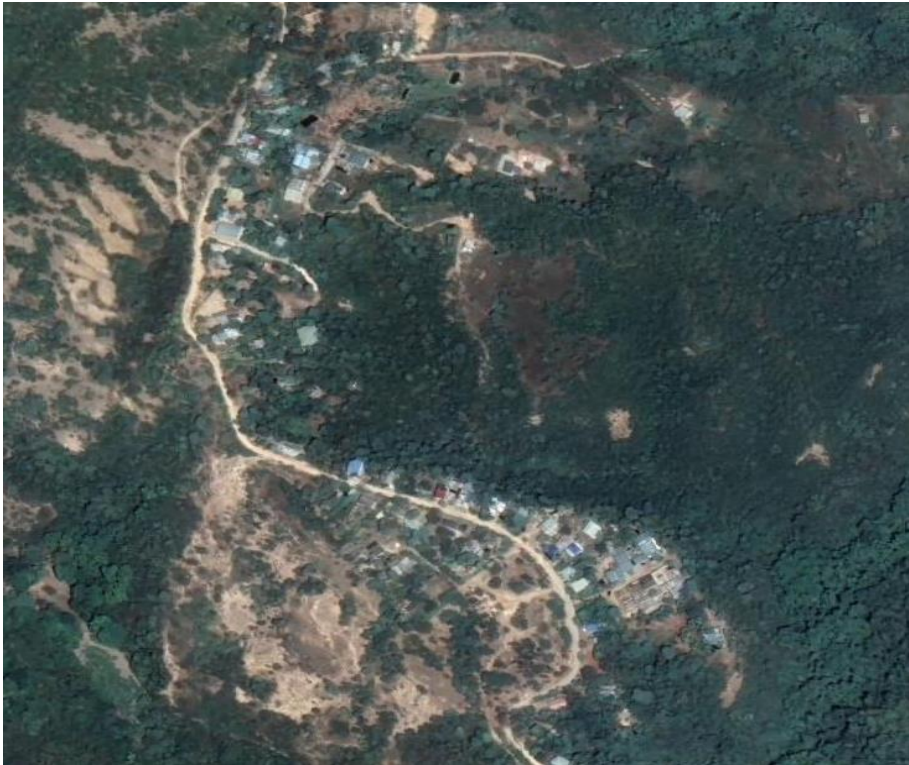
Microcuencas Rurales	Localización	Extensión (Has)	Perímetro (Km)	Longitud De La Cuenca Principal (Km)	Longitud De Todos Sus Cauces (Km)
Los Mojones	Corregimiento San Lorenzo (sector sur occidental del municipio)	879	14.4	4.3	16.18
La Yegüera	Vereda Potrerillo, acapulco y corregimiento San Lorenzo (Sector Sur Occidental)	1285.8	16.79	3.6	35.3
Agua Blanca	Casco Urbano (sector central)	9596.4	39.42	5.5	57.87
Cumulas	Vereda Guabinal cerro (sector central)	2390.3	25.58	3.67	34.66
Quebrada Seca	Vereda presidente, Berlin (sector norte)	6627	42.72	13.84	138

(Alcaldía de Girardot, s.f.)

4.5.2 Zona de estudio

La zona de estudio del proyecto corresponde a la vereda Agua Blanca, situada en el corregimiento 2 del municipio de Girardot. Esta vereda cubre una extensión de 13,000 hectáreas, gran parte de las cuales está designada como zona de protección forestal debido a la presencia de remanentes del bosque seco tropical, en las inmediaciones de la sierra de Alfonso Vera, que sufre una degradación por la ampliación del casco urbano, que provoca la penetración forestal. La demanda de agua producida por estas construcciones agotó sus reservas de agua subterránea, provocando la desertificación del suelo. (Laguna & Reinales, 2018)

Figura 11.Zona de estudio Vereda agua Blanca



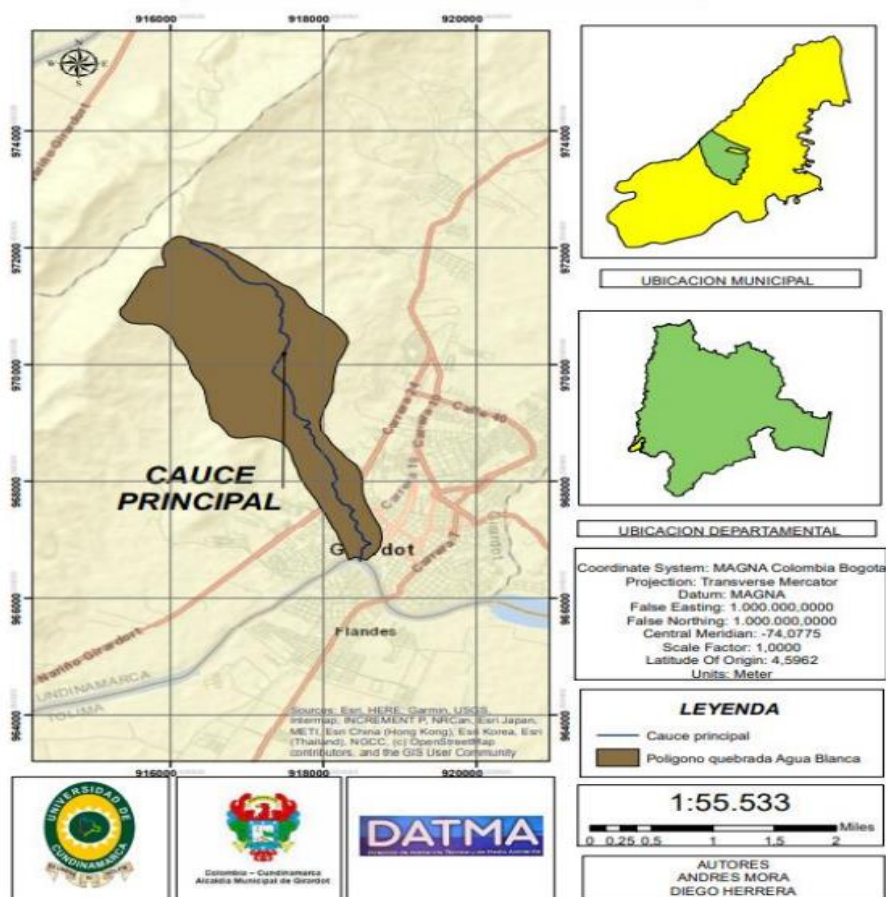
Fuente: (Google Earth, 2024)

- **Hidrografía de la vereda Agua Blanca**

En la hidrografía de la vereda Agua Blanca se ubican diferentes quebradas tales como la quebrada Casas viejas, quebrada caño del ojo, quebrada mano grande y quebrada michu. Así mismo las quebradas poseen un cauce principal el cual atraviesa la vereda agua blanca hasta una parte del casco urbano, donde la vereda se le conoce como quebrada el encanto y en la parte de casco urbano se le llama zanja el Coyal. como se muestra en la Figura 16.

La quebrada agua blanca nace en la parte alta de la serranía Alonso Vera en el sitio el Encanto dentro de la hacienda San Rafael. Quebrada catalogada dentro del orden uno su cuenca está muy erosionada en la parte baja, en la parte alta posee buena cobertura vegetal, la longitud del cauce hasta la desembocadura es de 3 km. (Alcaldía de Girardot, s.f.)

Figura 12. Cauce principal

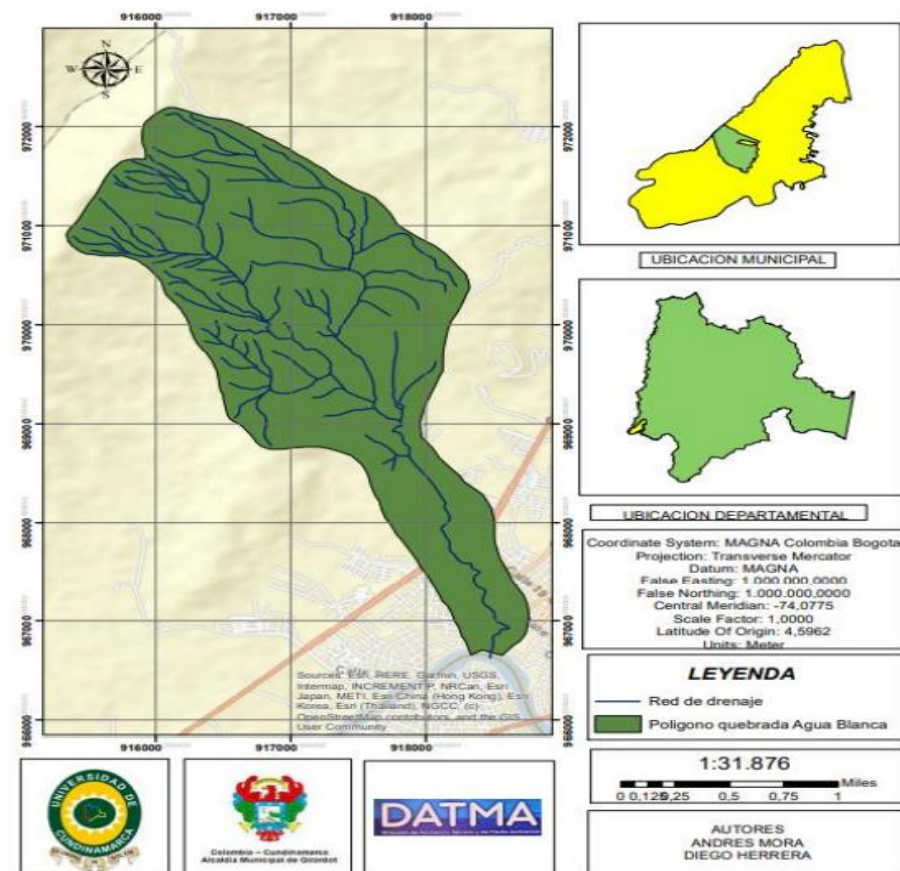


Fuente: (Herrera & Mora, 2020)

La quebrada agua blanca “El encanto” cuenta con un área total de 7.3 km² aproximadamente con un perímetro de 14.6 km, donde la red de drenaje de la quebrada es de tipo dendrítica y tiene una longitud total de la red de 40,31 km teniendo en cuenta todas las corrientes ubicadas dentro de las vertientes del cauce principal. Como se muestra en las figuras 12.

“El drenaje dendrítico está formado por el flujo principal, cuyos principales y afluentes se conectan libremente en todas direcciones. (Kencho, 2008)

Figura 13. Red de drenaje Quebrada agua blanca



Fuente: (Herrera & Mora, 2020)

La quebrada Agua Blanca es categorizada como intermitente debido a que solo se evidencia caudal en esta para épocas de invierno. Para épocas de verano su caudal es 0 debido a que los habitantes de la zona en la cual es su yacimiento realizaron un pozo para capturar su caudal y darle uso para las actividades pecuarias(ganadería) además de esto se está realizando una deforestación en la zona volviendo más complicado que la quebrada recupere su caudal. En cercanías de la ronda hídrica de la quebrada agua blanca se evidencia la tala indiscriminada y por tanto el deterioro de cobertura vegetal del bosque seco tropical, el cual es el ecosistema por el que atraviesa la quebrada. (Herrera & Mora, 2020, pág. 30)

4.6 MARCO DEMOGRÁFICO

De acuerdo con el censo de población y vivienda realizado en el año 2018, la cabecera municipal cuenta con total 88.074 habitantes, en centros poblados y rural disperso con 4.829 habitantes, para un total de 92.903 habitantes donde 47.888 son mujeres y 45.015 son hombres. (DANE, 2018)

Figura 14. Censo de Población y Vivienda 2018

Departamento Municipio		Nombre 25 - Cundinamarca 25307 - Girardot							
Entidad territorial	Total personas censadas		Total personas censadas en hogares particulares		Total personas censadas en lugares especiales de alojamiento (LEA)				
	CNPV 2018	CG 2005	CNPV 2018	CG 2005	CNPV 2018	CG 2005			
Colombia	44.164.417	41.468.384	43.835.324	41.174.853	329.093	293.531			
Cundinamarca	2.792.877	2.228.682	2.768.797	2.200.790	24.080	27.892			
Girardot	92.903	95.496	91.545	94.252	1.358	1.244			

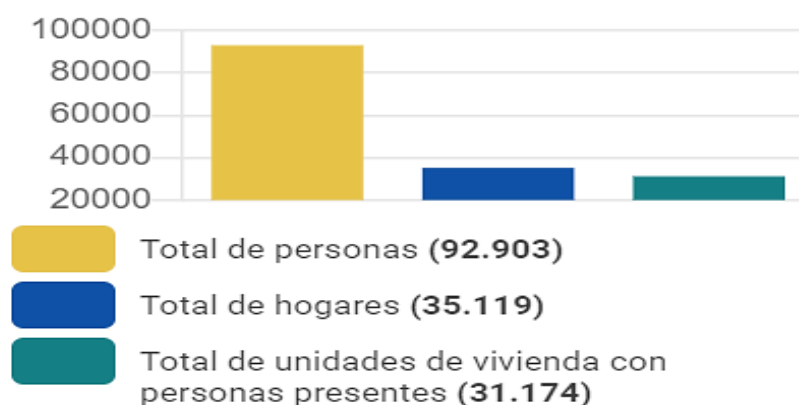
Entidad territorial	Total hogares particulares		Total viviendas ocupadas con personas presentes		Total lugares especiales de alojamiento (LEA)		Personas por hogar (promedio)	
	CNPV 2018	CG 2005	CNPV 2018	CG 2005	CNPV 2018	CG 2005	CNPV 2018	CG 2005
Colombia	14.243.223	10.570.899	13.480.729	9.742.928	9.606	7.075	3,1	3,9
Cundinamarca	945.586	601.884	899.740	539.306	801	615	2,9	3,7
Girardot	35.119	25.982	31.174	23.884	29	20	2,6	3,6

Entidad territorial	Clase Geográfica	Total personas censadas		Total personas censadas en hogares particulares		Total hogares particulares		Personas por hogar (promedio)	
		CNPV 2018	CG 2005	CNPV 2018	CG 2005	CNPV 2018	CG 2005	CNPV 2018	CG 2005
Colombia	Cabecera	33.905.550	31.510.379	33.905.550	31.282.705	11.128.226	8.210.346	3,0	3,8
	Centro poblado y Rural disperso	9.929.774	9.958.005	9.929.774	9.892.148	3.114.997	2.360.553	3,2	4,2
Cundinamarca	Cabecera	2.042.247	1.442.011	2.031.953	1.429.864	686.604	389.164	3,0	3,7
	Centro poblado y Rural disperso	750.630	786.671	736.844	770.926	258.982	212.720	2,8	3,6
Girardot	Cabecera	88.074	92.119	86.717	90.929	33.130	25.106	2,6	3,6
	Centro poblado y Rural disperso	4.829	3.377	4.828	3.323	1.989	876	2,4	3,8

Fuente: (DAN182)

De acuerdo con el censo de población y vivienda realizado en el municipio de Girardot en 2018, se registraron 35.119 hogares y un total de 31.174 unidades de vivienda habitadas, como se muestra en la Figura 14. Además, se determinó la distribución porcentual del uso de vivienda en el municipio con un 77,8% destinado a uso residencial, a uso no residencial con 20,5% y el mixto con 1.7%.

Figura 15. Viviendas y Hogares del Municipio



Fuente: (GEOPORTAL DANE)

Para estimar el crecimiento de la población en la vereda Agua Blanca, es necesario revisar los datos de los últimos dos censos realizados en el municipio de Girardot. Por el cual se consultaron las bases de datos del DANE correspondientes a los censos nacionales de

población y vivienda del año 2005 y 2018 y a través del análisis con el Geovisor de Análisis Geoespacial se obtuvo la información siguiente.

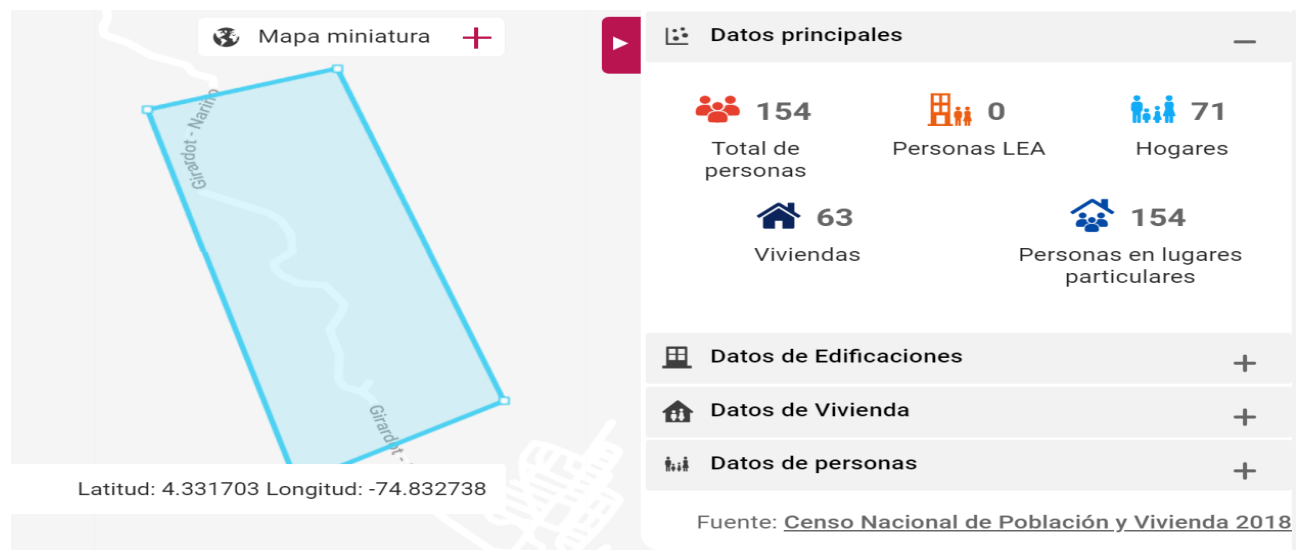
Figura 16.Población de la vereda agua blanca CNPV 2005



Fuente: (Geoportal del DANE, 2005)

En el 2005 la vereda tenía una población de 82 personas, de las cuales el 51.22% eran hombres y el 48.78% mujeres, con un total de viviendas de 27 de estratos I. Como se muestra en la Figura 16.

Figura 17.Población de la vereda agua blanca CNPV 2018



Fuente: (Geoportal del DANE, 2018)

En el 2018 la vereda contaba con una población de 153 personas de los cuales el 49,35% eran hombres y el 50,65% mujeres, con un total de viviendas de 63 de estratos 1 y 2 Como se muestra en la Figura 17.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

El presente trabajo de investigación adopta una metodología con enfoque mixto, un método exploratorio y descriptivo, ya que permite indagar acerca de la problemática que presenta la Vereda agua Blanca y recopilar la información necesaria para detallar la necesidad de la población derivada de la falta de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas. “Los diseños mixtos logran obtener una mayor variedad de perspectivas del problema: frecuencia, amplitud y magnitud (cuantitativa), así como profundidad y complejidad (cualitativa); generalización (cuantitativa) y comprensión (cualitativa)” (Hernández, Fernández, & Batistas, 2010, pág. 550). El enfoque mixto combina la recolección de datos cualitativos, obtenidos a través de técnicas como observaciones de campo e interacciones con los habitantes, con datos cuantitativos, recolectados mediante análisis muestras de agua recogidas en el área del proyecto. En su fase exploratoria, el proyecto aborda aspectos clave para encontrar soluciones a la problemática, posteriormente en su fase descriptiva se documentaron aspectos importantes para el desarrollo de la investigación y el impacto del tratamiento propuesto, con el objetivo de lograr una comprensión más completa del problema y desarrollar la soluciones efectivas y sostenibles.

5.1 TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para la recopilación de información se utilizaron técnicas aplicadas en la metodología mixta, inicialmente se recolectaron datos mediante la observación, posteriormente se emplearon encuestas y diálogos con la comunidad para mayor profundidad de la problemática.

- **Observaciones de campo**

Para obtener información adicional sobre la zona de estudio, se llevaron a cabo visitas de campo con el propósito de evaluar la situación actual de la vereda Agua Blanca en relación con el problema del vertimiento inadecuado de aguas residuales domésticas, debido a la falta de un sistema de tratamiento para estas aguas.

La observación es la forma más sistematizada y lógica para el registro visual y verificable de lo que se pretende conocer; es decir, es captar de la manera más objetiva posible, lo que ocurre en el mundo real, ya sea para describirlo, analizarlo o explicarlo desde una perspectiva científica. (La Corporación Universitaria Adventista, 2023, pág. 146)

- **Encuestas**

Es una metodología que utiliza una serie de procedimientos de investigación estandarizados para recopilar y examinar datos de una muestra de casos que representa a una población o conjunto más amplio (Casas, Repullo, & Donado, 2003, pág. 1). Otra técnica empleada para la recolección de información en el desarrollo del trabajo fue la encuesta, que permite obtener y analizar datos de manera rápida y eficiente, por lo cual se encuestó a la población de la vereda Agua Blanca con el objetivo de identificar las características socio económicas y las necesidades de la comunidad. Con la finalidad de elaborar un diseño del sistema de

tratamiento eficiente. Los resultados de las encuestas proporcionaron datos sobre el número de habitantes, viviendas, el uso de los predios y que sistemas de saneamiento básico posee la vereda entre otras.

- **Pruebas de laboratorio**

A través de pruebas de laboratorio se pueden estimar los valores de los parámetros de contaminación del agua residual, utilizando diversos métodos y técnicas físicos, químicos y microbiológicos, los cuales son ejecutados por personal especializado, además la recolección de muestras se realiza siguiendo las directrices establecidas en la norma NTC-ISO 5667-3, que regula la preservación y manejo de muestras y la Resolución 631 de 2015 que define los límites máximos de contaminantes permitidos en aguas residuales domésticas.

Al tomar muestras, es esencial considerar lo establecido en el numeral 3.2.3 (llenado del recipiente) de la NTC-ISO 5667-3 que indica que las muestras que requieran la determinación de parámetros fisicoquímicos deben llenarse por completo y cerrarse herméticamente para evitar la presencia de aire sobre la muestra, esto disminuye la interacción con la fase gaseosa y reduce la agitación durante el transporte. Además, los recipientes que contengan las muestras deben estar etiquetados de forma clara, precisa y duradera. Al realizar el muestreo, es importante registrar diversos detalles que facilitarán una interpretación adecuada de los datos, como la fecha y hora de recolección, así como el nombre de la persona que lleva a cabo el muestreo, entre otros (INCONTEC, 2004).

Tabla 9. Técnicas adecuadas para la preservación de las muestras de análisis fisicoquímico y químico.

Parámetro por estudiar	Tipo de recipiente	Volumen típico (ml) y técnica de llenado	Técnica de preservación	Tiempo máximo de preservación recomendado antes del análisis y después de preservación	Comentarios
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	P o V	1000 llenar completamente el recipiente para extraer el aire	Enfriar entre 1°C y 5°C	24 h	Mantener la muestra en la oscuridad
	P	1000	Congelar a 20°C	1 Mes	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	P o V	100	Acidificar a PH entre 1 y 2 con H2SO4	1 Mes	6 Meses
	P	100	Congelar a 20°C	1 Mes	6 Meses

Fuente: (INCONTEC, 2004)

5.2 RECURSOS

Los recursos aplicados para la ejecución de la investigación denominada “Tratamiento de aguas residuales domesticas en población vulnerable en la vereda Aguablanca “el arbolito” del municipio de Girardot- Cundinamarca- Colombia” son los siguientes

5.1.1 Recursos humanos

Los recursos humanos implementados a lo largo de la ejecución de la investigación se encuentran:

Estudiante de Ingeniería Civil Karen Lorena Quintero Rojas

Estudiante de Ingeniería Civil Linda Vanessa Motta Garnica

Ingeniero Oscar Efrén por su apoyo inicial en la elaboración de la investigación.

Ingeniero Jesús Flaminio Ospitia Prada por la revisión de la presente investigación y sus observaciones para un mejor desarrollo del trabajo.

5.1.2 Recursos tecnológicos

Los Recursos tecnológicos aplicados para la ejecución de la investigación son:

- Computador Lenovo DESKTOP-KURUOG1 con procesador AMD Ryzen 7 3700U with Radeon Vega Mobile Gfx 2.30 GHz Y 8,00 GB de RAM
- AutoCAD 2023 (Licencia de software estudiantil)
- Material y elementos de papelería

6. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

6.1 PRIMERA FASE

Como fase inicial, se llevó a cabo la recolección de información y la identificación de las necesidades de la comunidad de la vereda Agua Blanca, se empleó una primera visita de campo, para dialogar con la población acerca de la necesidad que presenta la vereda por la ausencia del sistema de alcantarillado y del tratamiento de las aguas residuales domésticas.

6.1.1 Primera visita de campo en la zona de estudio

El primer paso realizado fue una visita de campo con el propósito de identificar las necesidades de la población en cuanto a las condiciones sanitarias, para ello se asistió a una reunión con la presidenta de la junta de la vereda Agua Blanca, en la que también participaron estudiantes de la universidad Piloto de Colombia de Seccional del Alto Magdalena, funcionarios de la corporación Autónoma Regional (CAR) y algunos residentes.

Se pudo identificar que la vereda Agua Blanca no disponen de un sistema de alcantarillado, ni un sistema para el tratamiento de aguas residuales domésticas, por el cual una parte de las aguas residuales son desechadas en pozos sépticos individuales y comunitarios construidos hace años, así mismo debido al aumento de la población en la vereda los pozos sépticos no tienen la capacidad suficiente para la retención de las aguas ocasionando que se saturen y se desborden provocando malos olores y el crecimiento de zancudos, moscas, mosquitos entre otros. Además, las aguas grises provenientes del Lavamanos, ducha, lavaplatos y lavadero son arrojadas a los jardines o al suelo ocasionando que estas lleguen a las quebradas existentes en la vereda agravando la problemática de saneamiento básico

Figura 18. Quebrada el encanto



Fuente: (Gutiérrez, 2019)

Figura 19. Quebrada el encanto



Fuente: (Herrera & Mora, 2020)

Por otro lado, algunas viviendas no disponen de pozo sépticos, lo que hace que las aguas residuales se descarguen directamente en el suelo, causando daños ambientales, y afectando la flora y fauna de la zona a raíz de la contaminación del suelo.

Algunos de los pozos sépticos a falta de mantenimiento ocasionan malos olores en el sector, por la acumulación de lodos y grasas hasta el punto del desbordamiento de estas aguas, debido a que el servicio encargado del mantenimiento asiste a la vereda cuando es necesario, pero no realiza el servicio a todos los pozos sépticos.

Así mismo la proliferación de mosquitos vectores de enfermedades en áreas con pozos sépticos desbordados aumenta el riesgo de transmisión de enfermedades como el dengue, el Sika entre otras.

6.2 SEGUNDA FASE

En esta fase se procedió a recolectar información sobre los datos de población de la vereda Agua Blanca, teniendo en cuenta las visitas de campo como las bases de datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística “DANE”, además se realizó el muestreo y caracterización para identificar inicialmente los contaminantes presentes en el agua residual y su posible afectación al medio ambiente, para así mismo proponer el tratamiento adecuado para la remoción de ciertos contaminantes.

6.2.1 Caracterización de la población

Durante la visita se pudo identificar los tipos de predios que compone la vereda Agua Blanca y clasificarlos de acuerdo con el tipo de ocupantes permanentes o provisionales, de igual forma

se realizaron unas encuestas que nos permiten recolectar información importante para la investigación.

Tabla 10. Caracterización de los predios

PREDIO	DENOMINACIÓN	CANTIDAD DE PREDIOS
Vivienda Residenciales	Viviendas Construidas	70
Permanentes	Posibles Viviendas Futuras	7
Alojamiento Provisional	Fincas	2
Ocupantes Temporales	Bar	2

Fuente: elaboración propia

Se ha identificado que la vereda Agua Blanca está conformada por 2 viviendas clase media, 68 viviendas clase baja, así como también 2 fincas, cada una con capacidad máxima de 15 personas y 2 Bares. Además, se ha determinado la cantidad de residentes en la vereda mediante el registro de población por la Presidenta del a junta.

Tabla 11. Caracterización de la población por grupo de edad

GRUPO DE EDAD	CANTIDAD
Niños (0 - 12 Años)	45
Jóvenes y Adultos (13 - 59 Años)	200
Adultos Mayores (60 Años o Mas)	35

Fuente: elaboración propia

A continuación, se pueden observar algunas de las viviendas residenciales de uso permanente ubicadas en la vereda Agua Blanca:

Figura 20. Viviendas de la zona de estudio



Fuente: elaboración propia

Figura 21. Viviendas de la zona de estudio



Fuente: elaboración propia

Figura 22. Vivienda de la zona de estudio



Fuente: elaboración propia

Antes de recolectar información para la caracterización de la población, se hizo necesario determinar el tamaño mínimo de la muestra utilizando la calculadora online (qualtrics XM, s.f.) siguiendo el procedimiento a continuación:

$$n: \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * P * q}$$

n: Tamaño de muestra

N: Tamaño de la población o universo

Z: Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza

e: Error de estimación máximo aceptado

p: probabilidad de que ocurra el evento estudiado

q: (1-p) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

El tamaño de la muestra se considera aplicando el procedimiento descrito anteriormente, teniendo en cuenta que el valor para N corresponde a las viviendas de tipo permanente, y la puntuación Z se según el nivel de confianza, como se detalla a continuación.

Figura 23. Valores de Z (Nivel de confianza)

- + 90 % – Puntuación Z = 1,645
- + 95 % – Puntuación Z = 1,96
- + 99 % – Puntuación Z = 2,576

Fuente: (qualtrics XM, s.f.)

Nivel de confianza: 90%

Puntuación Z: 1.645

Tamaño de la población: 61

Margen de error: 10%

Tamaño inicial de la muestra: 33

Dando como resultado que el tamaño mínimo de muestras deben ser 33 encuestas aplicadas en la vereda Agua Blanca. A continuación, se presentan los resultados de las encuestas realizadas.

Grafica 1. Diagrama pregunta 1



Fuente: elaboración propia

La grafica presenta la distribución del tamaño de los hogares en la vereda Agua Blanca, donde los resultados indican que el 17% de los hogares están compuestos por 3 personas o menos, mientras que el 13% entre 4 a 6 personas y solo el 3% cuenta con 9 personas o menos por hogar, lo cual refleja una tendencia de hogares más pequeños.

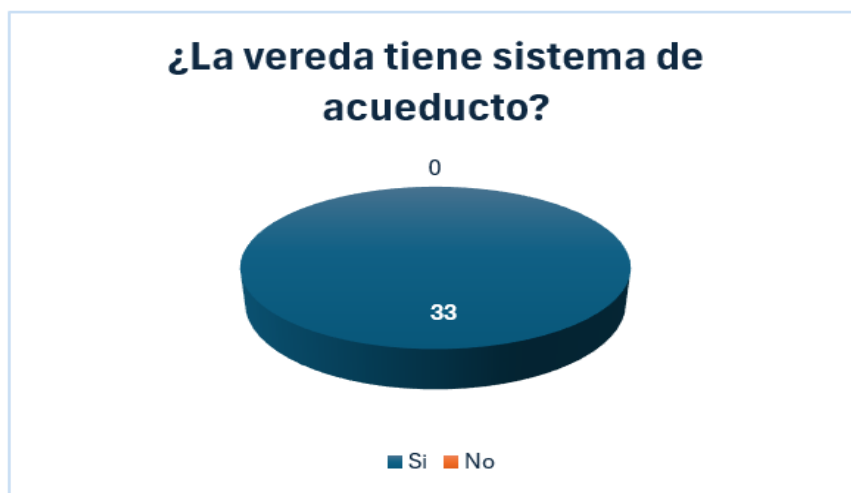
Grafica 2. Diagrama pregunta 2



Fuente: elaboración propia

La grafica presenta la distribución del uso de los predios de los habitantes de la vereda, se observan cuatro categorías como uso residencial, uso hotelero, establecimiento comercial u otros, se destaca que la gran mayoría de los predios están destinados a uso residencial representando un 30%, lo que indica que son predios destinados a viviendas, por otro lado, el 3% indica el uso de establecimientos comerciales como tiendas o Bares.

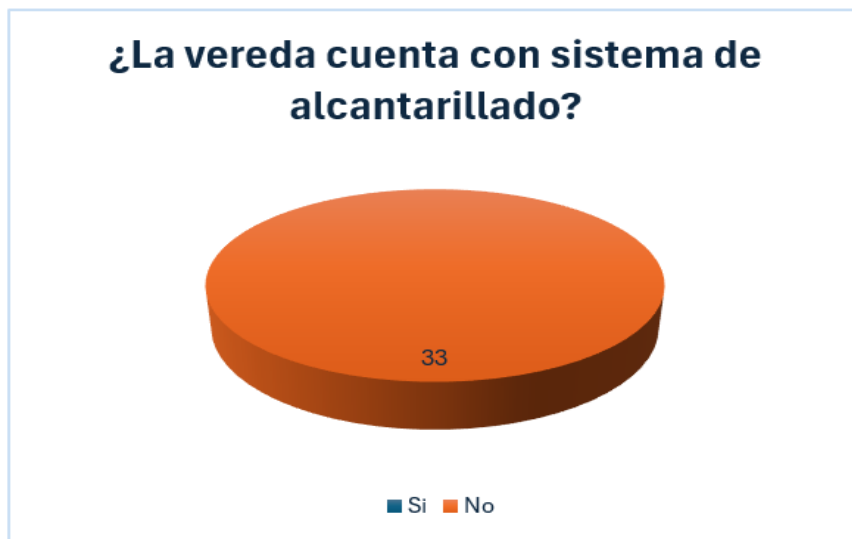
Grafica 3. Diagrama pregunta 3



Fuente: elaboración propia

La grafica demuestra que la totalidad de los encuestados afirman que la vereda Agua Blanca cuenta con un sistema de acueducto, el cual está operando de manera eficiente.

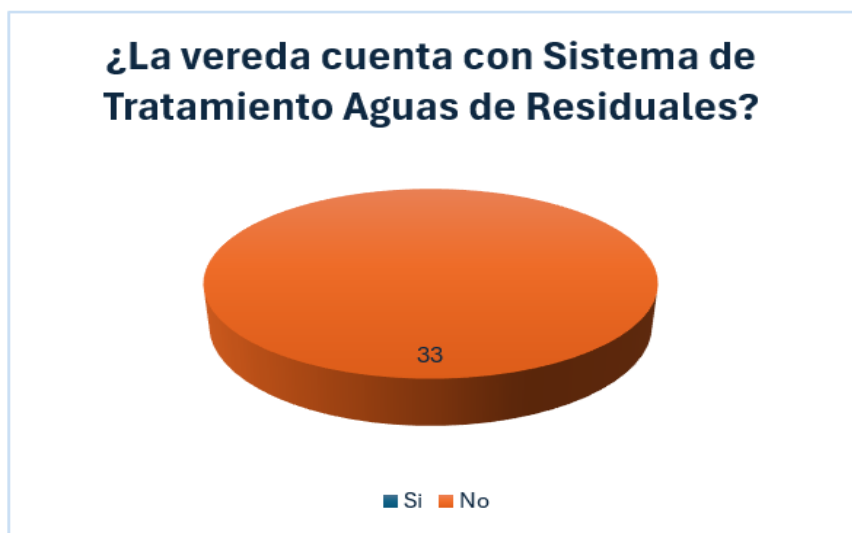
Grafica 4.Diagrama pregunta 4



Fuente: elaboración propia

Según los resultados de la gráfica anterior, se observa que el 33% de los encuestados indicaron que la vereda no cuenta con un sistema de alcantarillado provocando la descarga inadecuada de las aguas residuales domésticas.

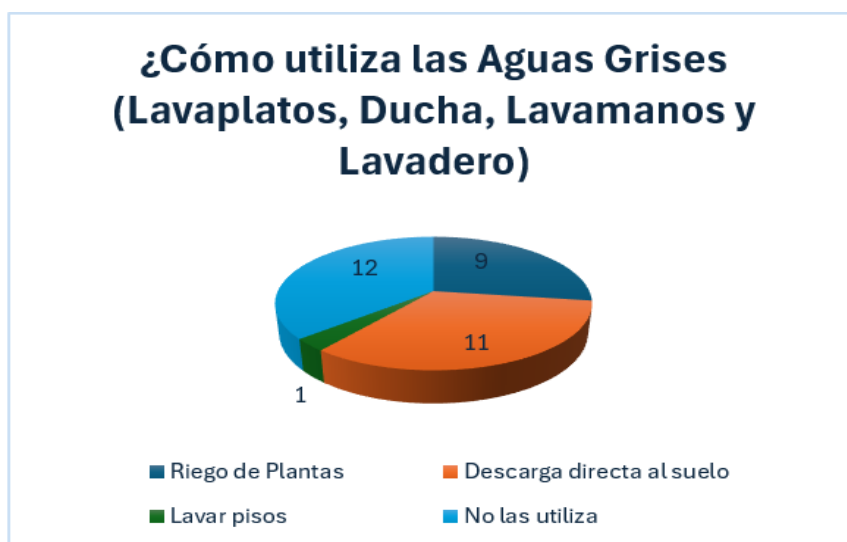
Grafica 5.Diagrama pregunta 5



Fuente: elaboración propia

La gráfica revela la falta de un sistema para el tratamiento de aguas residuales en la vereda Agua Blanca.

Gráfica 6. Diagrama pregunta 6



Fuente: elaboración propia

La gráfica muestra el uso de las aguas grises provenientes del lavaplatos, ducha, lavamanos y lavadero, según los resultados el 12% de los encuestados no utilizan las aguas grises, mientras que el 9% las emplean para el riego de plantas, solo el 1% las utiliza para lavar los pisos y finalmente el 11% las descargan directamente al suelo.

Gráfica 7. Diagrama pregunta 7



Fuente: elaboración propia

La grafica representa la frecuencia con la que se realiza el mantenimiento a los pozos sépticos en la vereda Agua Blanca, donde el 16% de la muestra encuestada no les realizan mantenimiento, mientras que un 2% llevan a cabo el mantenimiento únicamente cuando estos se llenan, un 1% lo llevan a cabo cada mes, solo un 7% lo hace cada 2 a 6 meses, y otro 7% lo realiza entre 1 a 5 años.

6.2.2 Caracterización Agua Residual

Se llevaron a cabo pruebas de laboratorio que nos permite identificar los parámetros de contaminación del agua tales como la demanda química de oxígeno (DQO), solidos suspendidos totales (SST), la demanda Bioquímica de oxígeno (DBO), coliformes totales y grasas y aceites, estas pruebas fueron realizadas por personal calificado, siguiendo los lineamientos de la norma NTC-ISO 5667-3 para la preservación y manejo de muestras y de acuerdo al Resolución 631 de 2015 que establece valores máximos de contaminantes permisibles en aguas residuales domésticas, las muestras fueron llevadas al Laboratorio Corcuencas ubicado en la ciudad de Ibagué. El punto seleccionado para el muestreo fue un pozo séptico comunitario de la vereda agua blanca, donde se le depositan las aguas residuales domesticas de 3 viviendas.

Tabla 12.Ubicación del punto de muestreo

Sitio De Muestreo	Ubicación	
Vereda Agua Blanca	Longitud oeste 74°49'25,0"	Longitud Norte 04°19'31,1"

Fuente: elaboración propia

Figura 24.Punto seleccionado para la toma de muestras



Fuente: elaboración propia

Figura 25. Toma de la muestra analizar



Fuente: elaboración propia

Figura 26. Muestra para su posterior análisis



Fuente: elaboración propia

Una vez obtenida la cantidad necesaria de muestra para su posterior análisis, estas fueron enviadas al laboratorio, asegurando que se tomaran las medidas adecuadas para preservar la muestra y evitar que los resultados se vean afectados. A continuación, se encuentran los componentes analizados en la muestra de agua residual proveniente del pozo séptico comunitario junto, con la técnica de medición empleada por el laboratorio Corcuencas.

Tabla 13. Tecnicas de análisis de componentes

COMPONENTE	MÉTODO	TÉCNICA ANALÍTICA
Demanda Química de Oxígeno (mg O ₂ /L)	SM 5220 C	Volumetría
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg O ₂ /L)	SM 5210 B ASTM D888 C	Incubación 5 días – Técnica de Fotometría
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	SM 2540 D	Gravimétrico
Grasas y Aceites (mg/L)	NTC 3362 Método C	Infrarrojo de Partición
Coliformes Totales (NMP/100 MI)	SM 9223 B	Sustrato enzimático

Fuente: elaboración propia con base en laboratorio

- **Resultados de la toma de muestra**

La muestra de agua residual proveniente del pozo séptico comunitario produjo los siguientes resultados teniendo en cuenta las técnicas aplicadas por el laboratorio para su correspondiente análisis.

Tabla 14.Resultados de la Muestra

Parámetro	Unidad	Resultado
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	416
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O ₂ /L	144
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	16.1
Grasas y Aceites	mg/L	41.08
Coliformes Totales	NMP/100 ml	141360

Fuente: elaboración propia con base en laboratorio Corcuencas

Posteriormente, se compararon los resultados presentados en la Tabla 14 con los límites máximos permisibles para aguas residuales establecidos en el Capítulo V de la Resolución 631 de 2015, estos resultados indican una contaminación significativa del agua, lo que hace necesario mitigar los impactos ambientales causados.

Tabla 15.Valores máximos permisibles en ARD

Parámetro	Unidades	Valor Límite Máximo
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	180
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O ₂ /L	90
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	90
Grasas y Aceites	mg/L	20

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)

6.3 TERCERA FASE

Con el objetivo de remover los contaminantes de las aguas residuales generadas en la vereda Agua Blanca, municipio de Girardot Cundinamarca y cumplir con los valores máximos permisibles establecidos por la Resolución 631 del 2015, se opta por diseñar un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales domésticas, este sistema considera las etapas para eliminar los contaminantes y mejorar la calidad del agua antes de su descarga y reutilización.

6.3.1 Etapas para el sistema de tratamiento ARD

El sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas para la vereda Agua Blanca, inicia con un tratamiento preliminar que incluye una trampa de grasas, diseñada para eliminar aceites y materiales flotantes que se encuentren en el agua, posteriormente, pasa por una sedimentación primaria donde se separan los sólidos pesados, en el tratamiento secundario se utiliza un filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA) para descomponer la materia orgánica con la ayuda de bacterias anaeróbicas, finalmente, el agua atraviesa un humedal artificial de flujo ascendente donde las plantas acuáticas y microorganismos eliminan los contaminantes adicionales. Este sistema permite mejorar la calidad del agua cumpliendo con los valores máximos permisibles para su descarga y reutilización.

Figura 27. Esquema Tren de Tratamiento



Fuente: elaboración propia

6.3.2 Proyección de población

Teniendo en cuenta los procesos del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas a implementar, se procede a calcular la proyección de la población permanente para los próximos 25 años, esta proyección es esencial para diseñar un sistema de tratamiento que pueda satisfacer de manera eficiente y sostenible las necesidades de saneamiento de la

población a lo largo del tiempo, para los alojamientos provisionales, no se considera esta proyección, sino que se establece un índice de ocupación de 15 personas por unidad.

La aplicación de las encuestas en la vereda Agua Blanca permitió obtener información necesaria para la investigación y para el diseño del sistema de tratamiento, donde se encuestaron 33 viviendas lo que represento una población de 123 personas, dando como resultado un índice ocupacional de 4 personas por vivienda.

Tabla 16. Población actual de la zona estudio

Tipo de predio	POBLACIÓN		
	Cantidad	Ocupación Promedio	Población
Residencial Permanente	77	4	308
Alojamiento Provisional	2	15	30
Bar	2	20	40

Fuente: elaboración propia

Se realiza la proyección de la población para los próximos 25 años en el futuro hasta el año 2049, aplicando los métodos de proyección mostrados a continuación y tomando como base los datos de población de la vereda Agua Blanca obtenidos de la base de datos DANE, donde para el 2005 la comunidad contaba con 82 habitantes, cifra que para el 2018 había aumentado a 154 habitantes.

- **Métodos de proyección de población**

Método aritmético

$$pf = puc + \left(\frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci} \right) * (Tf - Tuc)$$

Donde:

Pf: población para el año proyectado

Puc: población en el último censo

Pci: población del censo inicial

Tuc: año del último censo

Tci: año del censo inicial

Tf: año proyectado para el calculo

Para el cálculo de la proyección se tienen en cuenta los datos de los censo del 2005 y 2018

$$Pf = 154 + \left(\frac{154 - 82}{2018 - 2005} \right) * (2049 - 2018)$$

$$Pf = 326 \text{ Habitantes}$$

Método aritmético

$$Pf = Puc * (1 + r)^{Tf - Tuc}$$

$$r = \left(\frac{Puc}{Pci} \right)^{\frac{1}{Tuc - Tci}} - 1$$

Donde:

Pf: Población para el año proyectado

Puc: Población en el último censo

Pci: población del censo inicial

Tuc: Año del último censo

Tci: Año del censo inicial

Tf: Año proyectado para el calculo

R: Tasa de crecimiento

Aplicando el método de proyección y considerando los dos censos realizados, se obtiene una estimacion de 633 habitantes para el año 2049

$$r = \left(\frac{154}{82} \right)^{\frac{1}{2018 - 2005}} - 1$$

$$r = 0,050$$

$$Pf = 154 * (1 + 0,050)^{2049 - 2018}$$

$$Pf = 692 \text{ Habitantes}$$

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las proyecciones de población, utilizando tanto el método aritmético como el método geométrico.

Tabla 17. Resultados proyección población

Año Proyectado	Método de Proyección	Cantidad de Habitantes
2049	Método Aritmético	326
	Método Geométrico	692
	Promedio	509

Fuente: elaboración propia

6.3.3 Cálculo caudal de aguas residuales

- **Caudal de aguas residuales domésticas (QD)**

El caudal domestico se calcula de acuerdo con la proyección de la población, la dotación neta de agua potable proyectada por habitante y el coeficiente de retorno.

$$QD = \frac{CR \times P \times D_{Neta}}{86400}$$

Donde:

(D_{Neta}): dotación neta de agua potable proyectada por habitante (L/hab.día)

(P): número de habitantes proyectados al período de diseño.

(CR): El coeficiente de retorno (CR) debe estimarse a partir del análisis de información existente en la localidad y/o de mediciones de campo realizadas por la persona prestadora del servicio. De no contar con datos de campo, se debe tomar un valor de 0,85 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

A continuación, se presentan los datos necesarios para el cálculo correspondiente:

- Dotación Neta: 140 L/hab.dia de acuerdo con la altura promedio sobre el nivel del mar de la zona de estudio (Artículo 43 de la Resolución 0330 de 2017)
- Población: 539 Habitantes
- Coeficiente de retorno: 0.85

$$QD = \frac{0.85 \times 539 \text{ Habitantes} \times 140 \text{ L/hab. dia}}{86400}$$

$$QD = 0.74 \text{ L/s}$$

- **Caudal de infiltración (Q_{INF})**

El caudal de infiltración debe estimarse a partir de aforos en el sistema y de consideraciones sobre la naturaleza y permeabilidad del suelo, la topografía de la zona y su drenaje, la cantidad y distribución temporal de la precipitación, la variación del nivel freático con respecto a las cotas clave de las tuberías, las dimensiones, estado y tipo de tuberías, los tipos, número y calidad constructiva de uniones y juntas, el número de estructuras de conexión y demás estructuras, y su calidad constructiva. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021)

Ante la ausencia de información se acepta que la infiltración se calcule con base en un factor de 0,1 L/s ha, aplicado al área de aferencia de infiltración del alcantarillado, entendida esta como el área de las calles del sector beneficiado con el sistema (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

$$Q_{INF} = F_{INF} * A$$

$$Q_{INF} = 0,1 \text{ L/s. ha} * 15.37 \text{ ha}$$

$$Q_{INF} = 1.54 \text{ L/s}$$

- **Caudal de conexiones erradas (Q_{CE})**

“Los aportes por conexiones erradas deben estimarse a partir de la información existente en la localidad. En ausencia de esta información deberá utilizar un valor máximo de 0,2 L/s.ha” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

$$Q_{CE} = F_{ce} * A$$

Donde:

A: área de estudio (Ha)

Fce: Factor de conexiones erradas

Se calcula que el área de estudio abarca un área de 15.37 hectáreas.

$$Q_{CE} = 0,2 \text{ L/s.ha} * 15.37 \text{ Ha}$$

$$Q_{CE} = 3.07 \text{ L/s}$$

- **Caudal medio diario (Q_{MD})**

“Se debe calcular el caudal medio diario de aguas residuales como la suma de los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Dado que la vereda Agua Blanca no presenta aporte de aguas residuales industriales, comerciales e institucionales; por lo tanto, se supone que el caudal medio diario (Q_{MD}) es igual al valor del caudal de aguas residuales domesticas (Q_D). (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021)

$$Q_{MD} = 0.74 \text{ L/s}$$

- **Caudal máximo horario (Q_{MH})**

Se determina utilizando los valores obtenidos de Q_{MD} y aplicando la ecuación.

$$Q_{MH} = F * Q_{MD}$$

Donde:

F: factor de mayoración se obtiene utilizando la ecuación de Flores, donde P representa la población.

$$F = \frac{3.5}{P^{0.1}}$$

$$F = \frac{3.5}{539^{0.1}} = 1.9$$

El valor de F está cumpliendo ya que se encuentra entre los rangos 1.4 menor o igual a 3.8, obteniendo un caudal máximo horario de

$$Q_{MH} = 1,9 * 0.74 \text{ L/s}$$

$$Q_{MH} = 1.39 \text{ L/s}$$

- **Caudal de diseño (Q_{DT})**

$$Q_{DT} = Q_{MH} + Q_{INF} + Q_{CE}$$

$$Q_{DT} = 1.39 \text{ L/s} + 1.54 \text{ L/s} + 3.07 \text{ L/s}$$

$$Q_{DT} = 6 \text{ L/s}$$

6.3.4 Diseño del sistema de tratamiento

- **Tratamiento Preliminar (Trampa De Grasas)**

Para el diseño de la trampa de grasas se tuvo en cuenta la población residencial permanente y la población flotante, dando como resultado 539 habitantes que se conectarán al sistema de tratamiento. Con una dotación neta de 140 L/hab.dia, se calculará el caudal de diseño m^3/h para el sistema preliminar a partir de estos datos.

- Caudal de diseño (Q)

$$Q_{DT} = 6 \text{ L/s}$$

$$Q_{DT} = 21.6 \text{ m}^3/h$$

- Volumen (V)

$$V = Q * Tr$$

Donde:

Q: caudal (m^3/h)

Tr: Tiempo de retención (horas) entre 5 a 20 minutos, para el diseño se optó por un valor de 8 minutos, es decir 0.13 horas

$$V = 21.6 \frac{m^3}{h} * 0.13 \text{ horas}$$

$$V = 2.88 \text{ m}^3$$

- Área superficial (A_s)

se asume un valor de la altura eficiente de 1.50 metros

$$As = \frac{V}{H_{ef}}$$

$$As = \frac{2.88 \text{ m}^3}{1.50 \text{ m}} = 1.92 \text{ m}^2$$

Donde:

As: área superficial (m²)

V: volumen de la trampa de grasas (m³)

H_{ef}: altura eficiente (m)

De acuerdo a lo establecido por el (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021), la relación largo ancho varía de 1:1 a 3:1 dependiendo de su geometría, por el cual se empleó una relación de 2:1 y para calcular su ancho y largo de la estructura se aplican las siguientes ecuaciones.

- Ancho (w) Trampa de grasas

$$W = \sqrt{As/R}$$

$$W = \sqrt{\frac{1.92 \text{ m}^2}{2}} = 0.98 \text{ m} \cong 1 \text{ m}$$

El ancho de la trampa de grasas se redondea a 1 metro para fines constructivos.

- Largo (L) Trampa de grasas

$$L = R * A$$

$$L = 2 * 1 = 2 \text{ m}$$

Para verificar el cumplimiento de los parámetros calculados y determinar las dimensiones adecuadas para el diseño, se procede a verificar de la siguiente manera

- Área superficial (As₂)

$$As_2 = W * L$$

$$As_2 = 1 * 2 = 2 \text{ m}^2$$

- Volumen de la Trampa de Grasas (V₂)

$$V_2 = As_2 * H_{ef}$$

$$V_2 = 2 \text{ m}^2 * 1.50 \text{ m} = 3 \text{ m}^3$$

- Tiempo de Retención (Tr₂)

$$Tr_2 = \frac{V_2}{Q}$$

$$Tr2 = \frac{3 \text{ m}^3}{21.6 \frac{\text{m}^3}{h}}$$

$$Tr2 = 0.14 \text{ horas} = 8.34 \text{ minutos}$$

- Carga Hidráulica (So)

$$So = \frac{Q}{AS2}$$

$$So = \frac{21.6 \frac{\text{m}^3}{h}}{2 \text{ m}^2}$$

$$So = 10.79 \text{ m}^3/\text{m}^2 * h$$

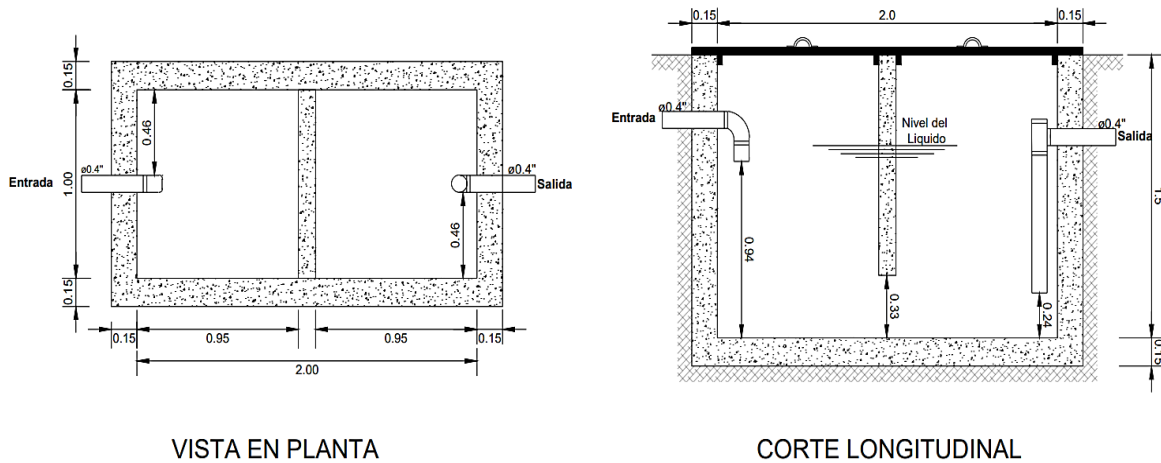
A continuación, se presenta un resumen de los cálculos realizados previamente para la trampa de grasa y su diseño.

Tabla 18. Memoria de cálculo: Trampa de Grasas

TRATAMIENTO PRELIMINAR: TRAMPA DE GRASAS			
Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
Total Habitantes (<i>h</i>)	539	<i>und</i>	
Dotación Neta por Persona (<i>Dp</i>)	140	<i>L/hab. dia</i>	
	0.14	<i>m³/hab. dia</i>	
Tiempo de Vertimiento (<i>Tv</i>)	8	<i>hr</i>	4 – 10 horas según el servicio
Caudal de Diseño (<i>Q</i>)	21.6	<i>m³/h</i>	
Tiempo de Retención (<i>Tr</i>)	8	<i>minutos</i>	Rango entre 5 – 20 minutos
	0.13	<i>horas</i>	
Volumen Trampa (<i>V</i>)	2.88	<i>m³</i>	
Altura Eficiente (<i>H_{ef}</i>)	1.50	<i>m</i>	Rango entre 0.50 – 3.00
Área Superficial (<i>As</i>)	1.92	<i>m²</i>	
Relacion L/A	2:1		
Ancho (<i>w</i>)	0.98	<i>m</i>	Para fines constructivos 1 m
Largo (<i>L</i>)	2	<i>m</i>	
Comprobación de los Parámetros			
Área Superficial (<i>As2</i>)	2	<i>m²</i>	
Volumen Trampa (<i>V2</i>)	3	<i>m³</i>	
Tiempo de Retención (<i>Tr2</i>)	0.14	<i>horas</i>	
	8.34	<i>minutos</i>	Cumple (5 – 20 minutos)
Carga Hidráulica (<i>So</i>)	10.79	<i>m³/m² – h</i>	Cumple (3 – 14 <i>m³/m² – h</i>)

Fuente: elaboración propia

Figura 28. Diseño de la Trampa de Grasas



Fuente: elaboración propia

- **Tratamiento Primario (Sedimentación Primaria)**

Se diseñó el tanque de sedimentación para una población de 539 habitantes, asegurando que tenga la capacidad suficiente para manejar el caudal generado por dicha población, utilizando una dotación neta por persona de 140 L/hab.día.

- Caudal de Diseño (Q_d)

$$Q_d = 6 \text{ L/s}$$

$$Q_d = 21.6 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Caudal Máximo Horario (Q_{mh})

$$Q_{MH} = 1.39 \text{ L/s}$$

- Volumen del sedimentador (V)

$$V = Q_d * Tr$$

$$V = 21.6 \text{ m}^3/\text{h} * 2 \text{ horas}$$

$$V = 43.17 \text{ m}^3$$

Donde:

Q_d : corresponde al caudal de diseño

Tr : Tiempo de Retención rangos entre 1 a 2 horas

- Área superficial (A_s)

$$As = \frac{V}{H_{ef}}$$

$$As = \frac{43.17 \text{ m}^3}{3}$$

$$As = 14.39 \text{ m}^2$$

Donde:

V: volumen del sedimentador

H_{ef}: es la Profundidad efectiva entre 1.5 m a 4 m

- Ancho del sedimentador (*W*)

$$W = \sqrt{As/R}$$

$$W = \sqrt{\frac{14.39 \text{ m}^2}{5}} = 1.70 \text{ m}$$

Donde:

As: corresponde al área superficial

R: es la relacion largo ancho de 5:1

- Largo del sedimentador (*L*)

$$L = R * W$$

$$L = 5 * 1.70$$

$$L = 8.48 \text{ m} \cong 8.50 \text{ m}$$

A continuación, se presenta un resumen de los cálculos realizados para el diseño del tanque de sedimentación primaria y su diseño.

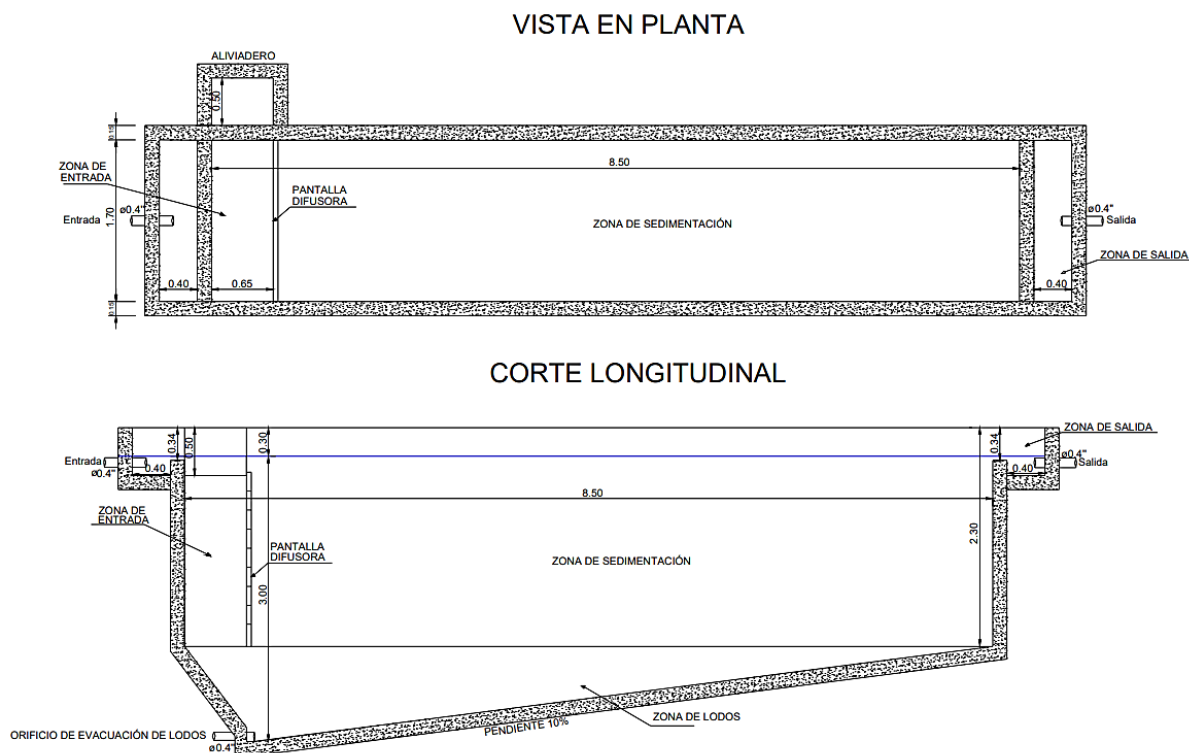
Tabla 19. Memoria de cálculo Sedimentación Primaria

TRATAMIENTO PRIMARIO: SEDIMENTACIÓN PRIMARIA			
PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	RECOMENDACIONES
Habitantes (<i>h</i>)	539	<i>hab</i>	
Dotación Neta por Persona (<i>Dp</i>)	140	<i>L/hab. dia</i>	
Tiempo de Vertimiento (<i>Tv</i>)	24	<i>horas</i>	
Caudal de Diseño (<i>Qd</i>)	21.6	<i>m³/h</i>	
Caudal Máximo Horario (<i>Qmh</i>)	1.39	<i>L/s</i>	
Tiempo de Retención (<i>Tr</i>)	2	<i>horas</i>	Rango de 1 a 2 horas

Tasa Superficial (T_s)	77	$m^3/m^2 \cdot día$	Rango entre 32 a 122 $m^3/m^2 \cdot día$
Profundidad Efectiva (H_{ef})	3	m	Rango entre 1.5 m a 4 m
Volumen del Sedimentador (V)	43.17	m^3	
Área Superficial (A_s)	14.39	m^2	
Relación Largo Ancho	5		Relación geométrica rectangular entre 1.5 : 1 a 15: 1
Ancho (W)	1.70	m	
Largo (L)	8.48	m	Para fines constructivos 8.50

Fuente: elaboración propia

Figura 29. Diseño del Sedimentador Primario



Fuente: elaboración propia

- **Tratamiento Secundario (Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente Fafa)**

El filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA) se diseñó como unidad independiente, el medio filtrante por donde pasa el agua está compuesto de estructuras plásticas, sobre este medio se genera una superficie de material biológico que mediante la degradación biológica trata el agua.

El material de empaque puede estar en su entera profundidad o, por un diseño híbrido, sólo el 50% a 70% de la altura útil del reactor. Los materiales de empaque más comunes son: el plástico corrugado transversal al flujo, los módulos tubulares (similares a los que se describen para procesos empacados aerobios), y los anillos plásticos. El área superficial específica del promedio del empaque es de 100 m² /m³; de acuerdo con los resultados de investigación, no se observan mejoras en el rendimiento a densidades de empaque más altas. (Chávez, 2022, pág. 18)

- Contribución de aguas residuales y lodos frescos

El diseño del filtro se basó en la contribución de las aguas residuales y lodos frescos, de acuerdo con la Tabla E.7.1 Contribución de aguas residuales por persona del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – Sección II Título E Tratamiento de Aguas Residuales.

Figura 30. Contribución de aguas residuales y lodos frescos

Predio	Unidades	Contribución de aguas residuales (C) y lodo fresco L _f (L / día)	
		C	L _f
Ocupantes permanentes			
Residencia			
Clase alta	persona	160	1
Clase media	persona	130	1
Clase baja	persona	100	1
Hotel (excepto lavandería y cocina)	persona	100	1
Alojamiento provisional	persona	80	1
Ocupantes temporales			
Fábrica en general	persona	70	0.30
Oficinas temporales	persona	50	0.20
Edificios públicos o comerciales	persona	50	0.20
Escuelas	persona	50	0.20
Bares	persona	6	0.10
Restaurantes	comida	25	0.01
Cines, teatros o locales de corta permanencia	local	2	0.02
Baños públicos	tasa sanitaria	480	4.0

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)

Se obtuvo la contribución de aguas residuales y lodos frescos, considerando el tipo de ocupantes ya sean permanentes o temporales, la clasificación se realizó según el tipo de predio, las clases de viviendas (alta media y baja), dependiendo la categoría del predio, se asigna un valor para la contribución de aguas residuales y lodos frescos.

- Número de contribuyentes totales.

Tabla 20. Ponderación de contribución de aguas residuales

Predio	Población	Contribución De Aguas Residuales
Ocupantes Permanentes		
Clase Alta	0	160

Clase Media	48	130
Clase Baja	461	100
Alojamiento Provisional	30	80
Ocupantes Temporales		
Bares	40	6
TOTAL	579	
PONDERACIÓN		94.96 L/hab-dia

Fuente: elaboración propia

- Concentración Influyente de DBO (S_o)

Se realizo un ensayo de laboratorio para determinar la concentración del DBO mediante el método SM 5210–B, el cual consiste en la incubación de la muestra a una temperatura de 20°C durante 5 días, durante este tiempo los microorganismos presentes en la muestra comienzan a descomponer la materia orgánica, consumiendo el oxígeno disuelto, al final de la incubación se mide la cantidad de oxígeno disuelto, la diferencia entre la concentración inicial de oxígeno y la concentración final es la DBO5, dando como resultado 144 mg/L equivalente a 0.144 kg/m³

$$S_o = 144 \text{ mg/l}$$

$$S_o = 0.144 \text{ kg/m}^3$$

- Contribución Ponderada de aguas residuales (C)

Se obtienen los valores de la tabla de contribución ponderada y se aplica el siguiente procedimiento: se multiplica la contribución de aguas residuales por la contribución de cada predio y se divide entre el número total de contribuyentes, estos se representan mediante la siguiente ecuación.

$$\bar{C} = \frac{C_1 * NC_1 + C_2 * NC_2 + C_3 * NC_3 + \dots + C_i * n_i}{\sum N_c}$$

$$\bar{C} = 94.96 \text{ L/hab} - \text{dia}$$

- Caudal Filtro FAFA (Q)

$$Q = \frac{N_c * C}{1000}$$

$$Q = \frac{579 * 94.96}{1000} = 54.98 \text{ m}^3/\text{dia}$$

- Carga Hidráulica Superficial (CHS)

La carga hidráulica debe encontrarse en un rango de 6 a 15 m³/m² día

$$CHS = 10.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{d})$$

- Área superficial del medio filtrante (A)

$$A = \frac{Q}{CHS}$$

$$A = \frac{54.98 \text{ m}^3/\text{dia}}{10.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{d})} = 5.50 \text{ m}^2$$

- Largo Filtro Cuadrado (L)

$$L = \sqrt{5.50} = 2.34 \text{ m} \cong 2.40$$

- Carga orgánica volumétrica del lecho filtrante (COV)

$$COV = 0.50 \text{ kg de DBO m}^3/\text{dia}$$

- Volumen del lecho filtrante (V)

$$V = \frac{Q * So}{COV}$$

$$V = \frac{54.98 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * 0.144 \frac{\text{kg DBO}}{\text{m}^3}}{0.50 \text{ kg DBO}/\text{m}^3 \cdot \text{dia}}$$

$$V = 15.8 \text{ m}^3$$

- Altura del lecho filtrante (hm)

$$hm = \frac{V}{A}$$

$$hm = \frac{15.8 \text{ m}^3}{5.50 \text{ m}^2} = 2.88 \text{ m}$$

- Altura del bordo libre (b)

$$b = 0.50 \text{ m}$$

- Altura bajo dren (d)

$$d = 0,50 \text{ m}$$

- Altura Total del Filtro (H)

$$H = 3.88 \text{ m}$$

- Volumen Total del Filtro (Vt)

$$Vt = A * H$$

$$Vt = 5.50 \text{ m}^2 * 3.88 \text{ m} = 21.3 \text{ m}^3$$

- Revisión de la carga orgánica volumétrica al volumen total del filtro (COV_t)

$$COV_t = \frac{Q * S_o}{V_t}$$

$$COV_t = \frac{54.98 \frac{m^3}{dia} * 0.144 \frac{kg\ DBO}{m^3}}{21.3 m^3}$$

$$COV_t = 0.37\ kg\ DBO / m^3\ dia$$

La carga orgánica volumétrica al volumen total del filtro cumple con este criterio ya que se encuentra entre los rangos 0.15 y 0.50 kg de DBO/(m³ d)

- Tiempo de residencia hidráulica (TRH)

$$TRH = \frac{V}{Q}$$

$$TRH = \frac{15.8\ m^3}{54.98 \frac{m^3}{dia}}$$

$$TRH = 0.29\ dias\ o\ 6.91\ horas$$

- Estimación de la remoción del Filtro Anaeróbico (E)

$$E = 100 * (1 - 0.87 * TRH^{(-0.5)})$$

$$E = 100 * (1 - 0.87 * 6.91^{(-0.5)}) = 66.9\%$$

Siendo el 0.87 un coeficiente empírico del sistema y 0.50 un coeficiente empírico del medio filtrante

- Concentración de DBO esperada en el Efluente (DBO_{ef})

$$DBO_{ef} = S_o - \frac{(E * S_o)}{100}$$

$$DBO_{ef} = 144\ mg/l - \frac{(66.91\ \% * 144 \frac{mg}{l})}{100}$$

$$DBO_{ef} = 47.65\ mg/l$$

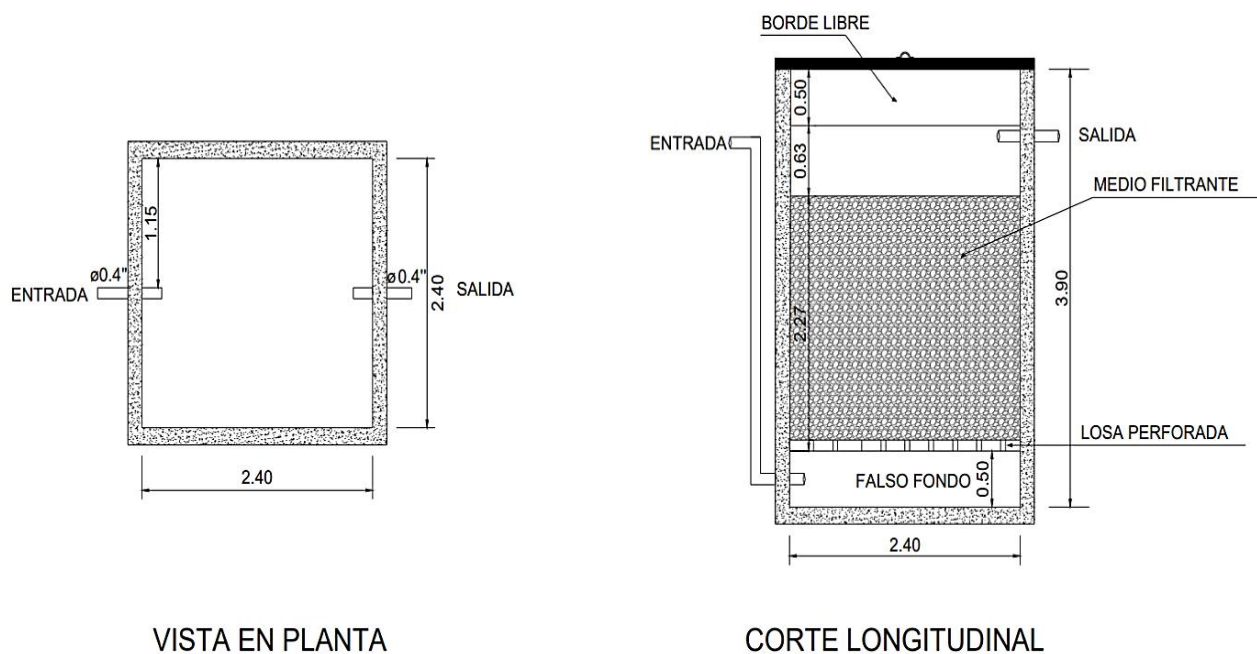
Se presenta un resumen de los datos calculados previamente para el diseño del filtro anaeróbico.

Tabla 21. Memoria de cálculo Filtro FAFA

TRATAMIENTO SECUNDARIO: FILTRO ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE FAFA			
PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	RECOMENDACIONES
Número de Contribuyentes (NC)	579	<i>hab</i>	
Contribución de Aguas Residuales (C)	94.96	<i>L/hab – dia</i>	
Caudal Filtro anaeróbico (Q)	54.98	<i>m³/dia</i>	
Concentración Total de DBO en el Afluente	144	<i>mg/l</i>	
Carga Hidráulica Superficial (CHS)	0.144	<i>kg/m³</i>	
Área Superficial del Medio Filtrante (As)	10.5	<i>m³/m³/dia</i>	
Largo del Filtro Cuadrado (L)	5.50	<i>m²</i>	
Carga Orgánica Volumétrica en el Lecho Filtrante (COV)	2.34	<i>m</i>	Para fines constructivos 2.40 m
Volumen del Lecho Filtrante (V)	0.50	<i>Kg DBO m³/dia</i>	
Altura del Lecho Filtrante (hm)	15.8	<i>m³</i>	Material de Empaque
Altura Total del Filtro (H)	2.88	<i>m</i>	
Altura del Bordo Libre (b)	3.88	<i>m</i>	Para fines constructivos 3.90 m
Altura del Bajo Dren(d)	0.50	<i>m</i>	
Volumen Total Del Filtro (Vt)	0.50	<i>m</i>	
Revisión de la Carga Orgánica Volumétrica al Volumen Total del Filtro (COVt)	21.3	<i>m³</i>	
Tiempo de Residencia Hidráulica (TRH)	0.37	<i>Kg /m³.dia</i>	Deberá estar comprendida entre 0.15 y 0.50 kg de DBO/(m ³ d) cumple
Estimación de la Remoción Del Filtro Anaerobio (E)	0.29	<i>dias</i>	
Concentración de DBO Esperada en el Efluente (DBOef)	6.91	<i>horas</i>	
	66.9	<i>%</i>	
	47.65	<i>m/l</i>	

Fuente: elaboración propia

Figura 31. Diseño del Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente



Fuente: elaboración propia

• Tratamiento Terciario (Humedal Artificial)

El humedal artificial es adoptado como tratamiento terciario dado que es un sistema de bajo costo tanto en la construcción como en su mantenimiento, debido a su tecnología basada en plantas o (Fito tecnología) así mismo es un sistema eficiente ya que de acuerdo con investigaciones el humedal artificial disminuye la concentración efluente de DBO y obtener un agua pura, que pueda ser reutilizada para riego de plantas o evacuarla directamente a las fuentes hídricas.

Para el diseño del humedal se utilizaron los siguientes datos previamente calculados, como la contribución de aguas residuales (C), el número de contribuyentes, y caudal de diseño

- Número de contribuyentes totales: 579 habitantes
- Contribución Ponderada de aguas residuales (C): 94.96 L/hab–dia
- Caudal del diseño humedal: 54.98 m³/dia
- Concentración influente de DBO (C₀): 144 mg/l

Para determinar los valores de concentración de DBO en el influente, se obtuvieron mediante un ensayo para identificar la cantidad de Demanda Biológica de Oxígeno disuelto en el influente, la toma de muestra se realizó en la vereda Agua Blanca del municipio de Girardot, y el punto de captación fue un pozo séptico comunitario.

Se realizó un ensayo de laboratorio para determinar la concentración del DBO mediante el método SM 5210–B, el cual consiste en la incubación de la muestra a una temperatura de 20°C durante 5 días, durante este periodo los microorganismos presentes en la muestra descomponen la materia orgánica, consumiendo el oxígeno disuelto, al finalizar la incubación se mide la cantidad de oxígeno disuelto, la diferencia entre la concentración inicial y final de

de oxígeno, dando como resultado 144 mg/L, con el diseño se pretende que cumpla con las condiciones de concentración de agua pura con un DBO máximo de 20 mg/L.

Tabla 22. Calidad del agua acorde a la concentración de DBO

CALIDAD DEL AGUA	CRITERIO
Aqua Pura	0 - 20 mg/lt
Agua levemente contamina	20 - 100 mg/lt
Agua mediamente contaminada	100 - 500 mg/lt
Agua muy contaminada	500 - 3000 mg/lt
Agua extremadamente contaminada	3000 - 15000 mg/lt

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)

Para la investigación se estableció una temperatura aproximada del agua será 27 grados Celsius, con esta temperatura se calcula el valor de la constate cinética (Kt)

Tabla 23. Concentración Influyente DBO

PARÁMETRO	UNIDAD	RANGO		
		Mínimo	Máximo	Promedio
DBO ₅	mg/l	110	400	210
DQO	mg/l	250	1000	500
SST	mg/l	100	350	210
NTK	mg/l	20	85	35
Fosforo Total	mg/l	4	15	7
Grasas y Aceites	mg/l	50	150	90
Coliformes Totales	NMP/100 ml	10 ⁶	10 ⁹	10 ⁷
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	10 ³	10 ⁷	10 ⁶

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)

- Constante Cinética (Kt)

$$Kt = 1.104 * 1.06^{T-20}$$

$$Kt = 1.104 * 1.06^{30-20}$$

$$Kt = 1.977$$

- Profundidad y porosidad

Según lo establecido por la resolución 0303 de 2017 la profundidad del humedal artificial varía entre 0.1 m y 0.45 m, se eligió una profundidad máxima de 0.45 metros con el fin de reducir el área requerida. Para el lecho filtrante se tiene en cuenta el tipo de material a emplear, para este diseño será de grava fina con un tamaño efectivo de 16 mm y una porosidad del 38%. (Véase la figura 39)

$$D = 0.45 \text{ metros}$$

$$n = 38\%$$

Tabla 24. Características típicas de los medios para humedales.

TIPO DE MATERIAL	TAMAÑO EFECTIVO D_{10} (mm)	POROSIDAD, n (%)	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA, K_s ($m^3/m^2/d$)
Arena Gruesa	2	28 – 32	100 – 1.000
Arena Gravosa	8	30 – 35	500 – 5.000
Grava Fina	16	35 – 38	1.000 – 10.000
Grava Media	32	36 – 40	10.000 – 50.000
Roca Gruesa	128	38 – 45	50.000 – 250.000

Fuente: (United States Environmental Protection Agency, 2000)

- Área superficial del humedal (A_s)

La primera forma de calcular las dimensiones del humedal artificial, donde se tiene en cuenta los datos de la concentración de DBO en el influente, la concentración de DBO en el efluente, la profundidad, el porcentaje de porosidad y la constante cinética.

$$AS = \frac{Q * (\ln Co - \ln Ce)}{KT * D * n}$$

$$AS = \frac{54.98 \text{ m}^3/d * (\ln (144) - \ln (20))}{1.977 * 0,45 * 0,38} = 321.03 \text{ m}^2$$

- Tiempo de Retención DBO (Tr)

$$Tr = \frac{n * As * D}{Q}$$

$$Tr = \frac{0,38m * 321.03m^2 * 0,45 \text{ m}}{54.98 \frac{m^3}{d}} = 1 \text{ dia}$$

Para determinar el volumen del humedal, se utiliza la siguiente ecuación:

- Volumen

$$V = As * D$$

$$V = 321.03 \text{ m}^2 * 0,45 \text{ m}$$

$$V = 144.46 \text{ m}^3$$

De acuerdo con el Artículo 180 de la resolución 0330 de 2017, las relaciones de ancho largo permitidas varían entre 3:1 y 4:1, para el diseño se optó una relación de 3

- Ancho Humedal Artificial (A)

$$A = \sqrt{321.03 \text{ m}^2 / 3} = 10.34 \text{ m} \cong 10.40 \text{ m}$$

- Largo Humedal Artificial (L)

$$L = 3 * 10.34 \text{ m} = 31.03 \text{ m}$$

Según lo establecido por el (Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio, 2017), la conductividad hidráulica tiene un factor de seguridad que varía entre de 5 y 7, el cual tiene como objetivo garantizar una mayor exigencia en la conductividad del material para evitar que con el tiempo las raíces, materia orgánica y sedimentos, obstruyan los poros y se requiera aumentar esta conductividad calculada. En este caso se ha seleccionó un factor de seguridad de 5.

- Conductividad hidráulica

$$Ks = \frac{5 * Q}{a * D * S}$$

$$Ks = \frac{5 * 54.98}{10.34 * 0.45 * 0.01 \text{ m}}$$

$$Ks = 5905.41 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{dia}$$

De acuerdo con el resultado obtenido de la conductividad hidráulica de $5905.41 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{dia}$ se define que el material sustrato (grava fina) seleccionado es apto y no habrá obstrucciones al paso horizontal del agua.

Tabla 25. Memoria de cálculo Humedal artificial Sub-superficial

TRATAMIENTO TERCIARIO: HUMEDAL ARTIFICIAL SUB-SUPERFICIAL			
PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	RECOMENDACIONES
Número de contribuyentes (Nc)	579	hab	
Contribución de aguas residuales (C)	94.96	L/hab – dia	
Caudal del humedal (Qh)	54.98	m^3/dia	
Concentración Influyente de DBO (Co)	144	mg/L	
Concentración Efluente de DBO (Ce)	20	mg/L	
Temperatura del agua (T)	30	$^{\circ}\text{C}$	
Constante cinética (k)	1.977	d^{-1}	
Profundidad del Humedal (D)	0.45	m	
Porosidad (n)	38	%	
Pendiente del fondo (S)	1	%	
Área superficial (As)	321.03	m^2	
Tiempo de retención (Tr)	1.	dias	
Volumen Humedal (V)	144.46	m^3	
Relación L/A	3		Rangos de 3 : 1 a 5 : 1
Ancho del humedal (A)	10.34	m	Para fines constructivos 10.40 m

Largo del Humedal (L)	31.03	m
Conductividad hidráulica (K_s)	5905.41	$m^3/m^2 - \text{dia}$

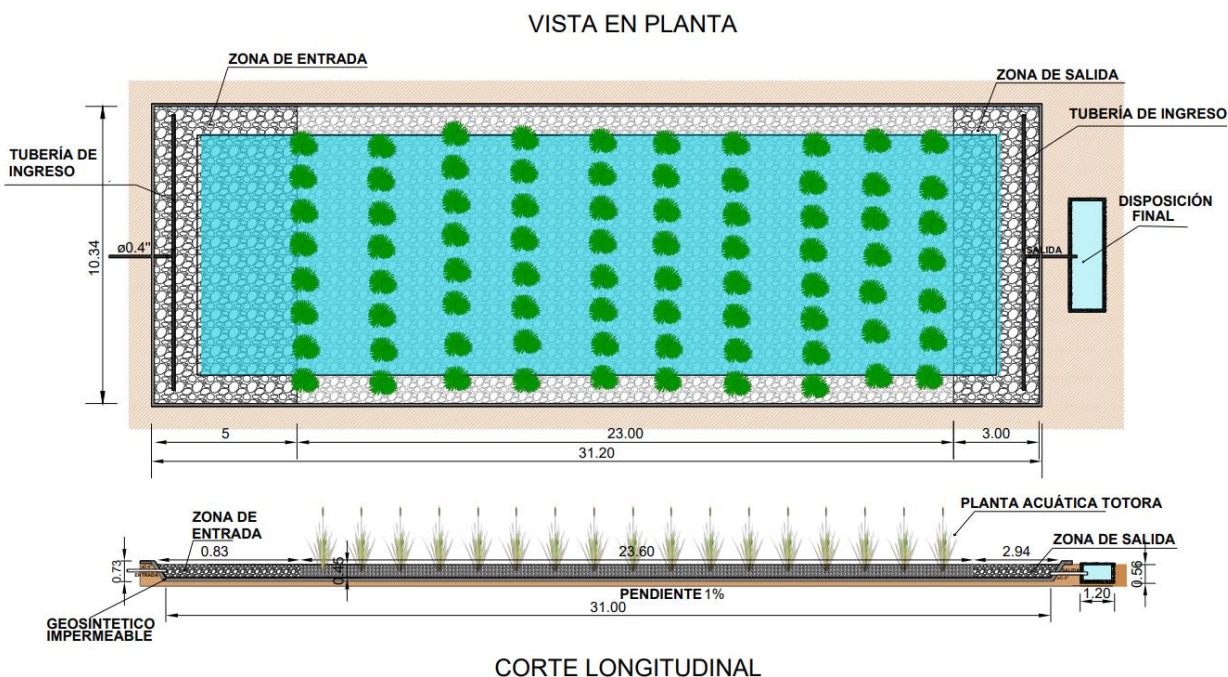
Fuente: elaboración propia

El papel de la vegetación en los humedales está determinado fundamentalmente por las raíces y rizomas enterrados. Las plantas son organismos foto autótrofos, es decir que recogen energía solar para transformar el carbono inorgánico en carbono orgánico. Tienen la habilidad de transferir oxígeno desde la atmósfera a través de hojas y tallos hasta el medio donde se encuentran las raíces. Este oxígeno crea regiones aerobias donde los microorganismos utilizan el oxígeno disponible para producir diversas reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010, pág. 13)

Para el diseño del humedal subsuperficial se eligió la especie Totora o Espadaña, debido a su resistencia y se adaptabilidad a diversos climas y suelos.

Su nombre botánico es (*Typha Spp*), es una planta acuática de tipo junco, puede llegar a tener de 3–4 m de altura. Crece naturalmente en los humedales de agua dulce. Son plantas fanerógamas, de hojas perennes, las cuales crecen anualmente, dependiendo del clima puede acelerarse o reducir el ciclo de vida. Sus raíces se anclan en la planta sustrato del fango. De la raíz se despliega el rizoma, de éste brotan las yemas que llegan a ser tallos. Naturalmente en los humedales se multiplican extensamente llegando a una densidad de 300 hasta 400 plantas por metro cuadrado. (Andrade & Rosero, 2018, pág. 28)

Figura 32. Diseño del Humedal Sub-Superficial



Fuente: elaboración propia

6.3.5 Ubicación del sistema de tratamiento

Con el diseño hidráulico del sistema para el tratamiento de aguas residuales de la vereda Agua Blanca, el cual se encuentra en el Anexo 5 del presente documento, se procedió a identificar la localización de un espacio adecuado para su ubicación, mediante la aplicación Google Earth, junto con los software Global Mapper y AutoCAD, se realizó el levantamiento topográfico con curvas de nivel de la vereda Agua Blanca, a través de este análisis y visitas a la zona, se identificó el espacio adecuado permitiendo la dirección del flujo por gravedad debido a su topografía, además se encuentra a una distancia segura de los cuerpos de aguas y del área residencial.

Figura 33. Levantamiento Topográfico Vereda Agua Blanca



Fuente: (Google Earth, 2024) [Imagen modificada por los autores].

El predio elegido para la ubicación de la PTAR tiene unas dimensiones de 64 metros de longitud y un ancho de 19.5, lo que equivale a un área de 1.248 metros cuadrados, dentro de estas dimensiones se contempla de forma lineal el sistema de tratamiento, sumando las longitudes de todos los elementos, con una separación de 1 metro entre cada uno, además se dejara un espacio adicional de 2 metros alrededor de todo el perímetro de la PTAR, lo que proporcionaría acceso fácil para el personal de mantenimiento y permitiría la instalación de

caminos de acceso, zonas de circulación, y facilitaría posibles futuras ampliaciones o modificaciones del sistema.

Figura 34. Ubicación asignada para la PTAR de la vereda Agua Blanca



Fuente: (Google Earth, 2024) [Imagen modificada por los autores].

7. CONCLUSIONES

El análisis de las condiciones sanitarias en la vereda Agua Blanca, basado en la disposición de las aguas residuales, permitió identificar el tratamiento con pozos sépticos comunitarios e individuales en la comunidad de 280 habitantes, por lo cual la implementación del diseño propuesto permitiría mitigar las afectaciones a los recursos del suelo y los cuerpos de agua cercanos, contribuyendo a la conservación de la reserva natural y mejorando las condiciones ambientales de la zona.

La caracterización de la población de la vereda agua Blanca fue esencial para definir los parámetros requeridos en el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales, mediante la recopilación de datos demográficos junto con la evaluación de los caudales y la composición de las aguas residuales generadas, se lograron determinar valores como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda Química de oxígeno (DQO) y otros parámetros necesarios establecidos en la Resolución 799 de 2021 y la Resolución 631 de 2015 para un tratamiento eficaz y que se ajuste a las necesidades de la población.

El diseño hidráulico del sistema de tratamiento de aguas residuales para la vereda Agua Blanca, Girardot, está proyectado para una población de 579 habitantes, este sistema incluye una trampa de grasas de 1 metro de ancho por 2 metros de largo, con una altura de 1.50 metros y un tiempo de retención de 8 minutos, posteriormente el agua residual pasa por un sedimentador primario con dimensiones de 1.70 metros de ancho y 8.50 metros de largo, con una profundidad de 3 metros y un tiempo de retención de 2 horas. Un filtro anaeróbico de flujo ascendente de 2.40 metros de largo y ancho y una altura total de 3.90 metros, con un tiempo de residencia hidráulica de 6.91 horas, logrando una remoción del 66.9% de la concentración de DBO en el efluente, finalmente como tratamiento terciario se ha adoptado un humedal Artificial, basado en Fito Tecnología o plantas, cuenta con un ancho de 10.40 metros, un largo de 31 metros, con una profundidad de 0.45 metros y se ha elegido la especie Totorá o Espadaña debido a su resistencia y su adaptabilidad a diversos climas y suelos, alcanzando entre 3 a 4 m de altura con una separación de 30 centímetros entre plantas.

8. RECOMENDACIONES

Una vez construido el sistema para el tratamiento de aguas residuales domésticas, se sugiere llevar a cabo evaluaciones periódicas de la calidad del efluente, para asegurar su cumplimiento con los parámetros establecidos en la normativa vigente garantizando así que el sistema opere de manera eficiente.

Para garantizar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en la vereda Agua Blanca y facilitar la recolección y el transporte adecuado hacia el sistema de tratamiento, se recomienda implementar una red de alcantarillado la cual debería contar con un área aferente de 15.37 hectáreas.

Se recomienda implementar un plan de monitoreo y mantenimiento regular para todos los componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales, esto garantizaría el funcionamiento óptimo del sistema y permitiría detectar cualquier problema a tiempo.

9. REFERENCIAS

- Aguilar, D. (21 de Abril de 2021). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Obtenido de AGUILAR SOLID WASTE AND WATER ENGINEERING: <https://aguilar.engineering/plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales/>
- Alcaldia de Girardot. (s.f.). www.girardot-cundinamarca.gov.co/. Obtenido de <https://www.girardot-cundinamarca.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/Sistema%20de%20Gesti%C3%B3n%20Ambiental%20Municipal%202016.pdf>
- Ameghino, R. P., Alto, R. M., Chinchay, R. J., & Fernández, R. J. (Noviembre de 2021). *Pontificia Universidad Católica de Perú*. Obtenido de tesis.pucp.edu.pe: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/21538/Ecotecnolog%C3%adas%20de%20Aprovechamiento%20H%C3%addrico%20para%20Viviendas%20Sostenibles%20-%20AMEGHINO.pdf?isAllowed=y&sequence=1>
- Andrade, C. V., & Rosero, C. J. (2018). *repositorio.utp.edu.co*. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.co/entities/publication/c8ea873f-b700-469d-b783-70231ccba657>
- Ascanio, S. N., & Rodríguez, S. W. (2017). *repository.ucatolica.edu.co*. Obtenido de UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/322d580b-6232-4e11-ae1c-17ce36e91f34/content>
- Borrero, J. L., Leonardo, I., & Vera, I. L. (Junio de 2005). *www.researchgate.net*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Eschema-de-un-humedal-de-flujo-subsuperficial_fig1_230888087
- Buenaño, D. M. (Mayo de 2015). *bibdigital.epn.edu.ec*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10534/1/CD-6234.pdf>
- CAR. (s.f.). *Observatorio de agendas interinstitucionales y conflictos ambientales*. Recuperado el 7 de 02 de 2024, de oaica.car.gov.co/: <https://oaica.car.gov.co/m/vercaso2.php?id=195>
- Casas, A. J., Repullo, L. j., & Donado, C. J. (2003). *www.elsevier.es*. Recuperado el 15 de Febrero de 2024, de <https://www.elsevier.es/es-revista-atencion-primaria-27-articulo-la-encuesta-como-tecnica-investigacion-elaboracion-cuestionarios-13047738>

Chacon, P. J., Hurtado, L. L., Mendoza, L. J., & Villaquirán, L. L. (2015). *es.slideshare.net*.
Obtenido de <https://es.slideshare.net/slideshow/trabajo-colaborativo-wiki-6-tratamiento-de-aguas-residuales/48711322>

Chávez, R. C. (Julio de 2022). *ribuni.uni.edu.ni*. Obtenido de
<https://ribuni.uni.edu.ni/4651/1/16142.pdf>

CONAGUA. (Abril de 2016). *Comisión Nacional del Agua*. Obtenido de
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/152777/LINEAMIENTOS_TRATAMIENTO_AGUAS_NIVEL_VIVIENDA.pdf

CONPES. (15 de JULIO de 2002). *Consejo Nacional de Política Económica y Social*. Obtenido de
[colaboracion.dnp.gov.co:
https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3177.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co:colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3177.pdf)

Damián, M. (Marzo de 2009). *sedici.unlp.edu.ar*. Obtenido de
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2744/I_-_Introducci%C3%B3n_general.pdf?sequence=5

DANE. (2018). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*. Obtenido de
[sitios.dane.gov.co:
https://sitios.dane.gov.co/cnpv/app/views/informacion/perfiles/25307_infografia.pdf](https://sitios.dane.gov.co:https://sitios.dane.gov.co/cnpv/app/views/informacion/perfiles/25307_infografia.pdf)

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). *core.ac.uk*. Obtenido de
<https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>

Deloya, M. A. (Mayo de 2006). *revistas.tec.ac.cr*. Obtenido de
https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/30

Duarte, G. M., & Galindo, G. M. (2018). *Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD*.
Obtenido de [repository.unad.edu.co:
https://repository.unad.edu.co/handle/10596/21083](https://repository.unad.edu.co:repository.unad.edu.co:https://repository.unad.edu.co/handle/10596/21083)

Duran, R. J. (2020). *Uladech.edu.pe*. Obtenido de
https://repositorio.uladech.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13032/17245/RED_DE_AL_CANTARILLADO_AGUAS_RESIDUALES_DURAN_RAMOS_JOSEP_%20TEODORO.pdf?isAllowed=y&sequence=1

ECOLAB. (s.f.). *es-es.ecolab.com*. Recuperado el Marzo de 2024, de <https://es-es.ecolab.com/offerings/odor-control-for-wastewater#:~:text=Los%20olores%20de%20las%20aguas,anaer%C3%B3bica%20de%20los%20materiales%20org%C3%A1nicos>.

Espigares, G. M., & Pérez, L. J. (s.f.). *cidta.usal.es*. Obtenido de https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

Fibras y Normas de Colombia S.A.S. (s.f.). *Fibras y Normas de Colombia S.A.S*. Obtenido de blog.fibrasynormasdecolombia.com: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/definicion-y-caracteristicas-de-las-lagunas-de-oxidacion/>

Galeria de Mapas Alcaldia Municipal de Girardot, Cundinamarca. (s.f.). *www.girardot-cundinamarca.gov.co*. Obtenido de <https://www.girardot-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Galeria-de-Mapas.aspx>

García, U. C., Vaca, B. M., & García, U. J. (2014). *revistas.unal.edu.co*. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revsaludpublica/article/view/46723/50448>

GEOPORTAL DANE. (s.f.). *geoportal.dane.gov.co*. Recuperado el 12 de Febrero de 2024, de Departamento Administrativo Nacional de estadísticas DANE: <https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/sociedad/censo-2018/#gsc.tab=0>

Geoportal del DANE. (2005). *geoportal.dane.gov.co*. Recuperado el 13 de Febrero de 2024, de <https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/territorio/analisis-censo-2005/>

Geoportal del DANE. (2018). *geoportal.dane.gov.co*. Recuperado el 13 de Febrero de 2024, de <https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/territorio/analisis-cnpv-2018/>

Gómez, V. E. (Mayo de 2011). *zaguán.unizar.es*. Obtenido de <https://zaguán.unizar.es/record/5930/files/TAZ-PFC-2011-255.pdf>

Google Earth. (2024). *earth.google.com*. Obtenido de <https://earth.google.com/web/search/girardot+cundinamarca/@4.32659647,-74.82322515,362.85101835a,1174.31077925d,35y,0.35818107h,0.81824324t,0r/data=CoABGIYSUAoIMHg4ZTNmMjhlYzU0MzA4ZTVmOjB4YWQ5ZTA5Mjc1YWWEyMDI2MBmV-9P85zcRQCETxC-rZrNSwCoVZ2lyYXJkb3QgY3VuZGI>

GSA Saneamiento Ambiental. (s.f.). *Gestión Preventiva y Saneamiento Ambiental*. Obtenido de saneamientoambiental.co: <https://saneamientoambiental.co/trampasdegrasa/>

Gutiérrez, P. S. (11 de Agosto de 2019). *PLUS PUBLICACION*. Obtenido de pluspublicacion.com: <https://pluspublicacion.com/medioambiente/daniel-fernando-florian-salcedo-embajador-de-la-cordillera-alonso-vera-y-vereda-agua-blanca-en-los-premios-latinoamerica-verde-en-guayaquil-ecuador>

Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Batiptas, L. M. (2010). *www.icmujeres.gob.mx*. Obtenido de <https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>

Herrea, L. K., Serrano, G. D., & Pabon, A. E. (2016). Obtenido de repository.uniminuto.edu: <https://repository.uniminuto.edu/server/api/core/bitstreams/e4dc46c3-bbf4-4553-88ce-c2b838f168ac/content>

Herrera, D. D., & Mora, R. J. (2020). *repositorio.ucundinamarca.edu.co*. Obtenido de Universidad de Cundinamarca: <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/3929>

INCONTEC. (2004). *52f49d8d29.cbau-cdnwnd.com*. Obtenido de <https://52f49d8d29.cbau-cdnwnd.com/b359e2ebccc927bea4ce966cf7bfa9c4/200000140-e3b67e5121/NTC-ISO%205667-03-2004.%20Directrices%20para%20la%20preservacion%20y%20manejo%20de%20muestras.pdf>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (s.f.). *diccionario.igac.gov.co*. Obtenido de Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC): https://diccionario.igac.gov.co/?_termino=480892

Intituto Geográfico Agustín Codazzi. (s.f.). *diccionario.igac.gov.co*. Obtenido de https://diccionario.igac.gov.co/?_termino=481530

Kencho. (8 de Septiembre de 2008). *es.scribd.com*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/5581866/PATRONES-DE-DRENAJE>

La Corporación Universitaria Adventista. (Diciembre de 2023). *repository.unac.edu.co*. Obtenido de <https://repository.unac.edu.co/jspui/bitstream/123456789/1259/3/Investigaci%c3%b3n%20educativa%20perspectivas%20y%20aplicaciones.pdf>

Laguna, D. A., & Reinales, J. i. (2018). *repositorio.ucundinamarca.edu.co*. Obtenido de <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/1758/Emprendimiento%20En%20La%20Vereda%20Agua%20Blanca%20De%20La%20Ciudad%20De%20Girardot%2C%20A%C3%B1o%202018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lizarazo, B. J., & Orjuela, G. M. (2013). *repositorio.unal.edu.co*. Obtenido de Repositorio Institucional UNAL: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20486>

Lozano, R. W. (Octubre de 2012). *www.researchgate.net*. Obtenido de ResearthGate: https://www.researchgate.net/publication/298354134_Disen%C3%B1o_de_Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales#pf44

Manosalva, J. L., Ruiz, R. M., & Pérez, F. M. (5 de Octubre de 2012). *www.scielo.org.co*.
Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242012000200008

Mendoza, A. F., López, D. J., & Trauco, G. G. (Noviembre de 2013). *es.slideshare.net*.
Obtenido de <https://es.slideshare.net/lobi7o/aguas-residuales-domesticas>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (Marzo de 2015). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Resolución 631 de 2015*. Obtenido de <https://www.leyex.info/leyes/Resolucionmads631de2015.pdf>

Ministerio de Desarrollo Económico. (Noviembre de 2000). REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO - TITULO E tratamiento de aguas residuales. pág. https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_e_.pdf.

Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (8 de Noviembre de 2018). Obtenido de normas.cra.gov.co:
https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_minviviendact_0844_2018.htm

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Metropolitana Valle de Aburrá*. Obtenido de alphasig.metropol.gov.co:
https://alphasig.metropol.gov.co/normograma/compilacion/docs/resolucion_minviviendact_0330_2017.htm

Ministerio de vivienda, Ciudad y Territorio. (8 de Junio de 2017). *minvivienda.gov.co*. Obtenido de Resolución 0330 de 2017:
<https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/resolucion-0330-2017.pdf>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (9 de Diciembre de 2021). *normas.cra.gov.co*. Obtenido de https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_minviviendact_0799_2021.htm

OEFA. (Abril de 2014). *www.oefa.gob.pe*. Obtenido de Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

Organización Panamericana de la Salud. (20 de Mayo de 2022). *Institutional Repository for Information Sharing y Pan American Health Organization*. Obtenido de iris.paho.org:
<https://iris.paho.org/handle/10665.2/56014#:~:text=El%20saneamiento%20b%C3%A1sico%20es%20un,lograr%20mejores%20niveles%20de%20salud>.

- Pastorino, F. L. (2009). *sedici.unlp.edu.ar*. Obtenido de <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/102829>
- Perdomo, R. C. (Enero de 2014). *repositorio.uniandes.edu.co*. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/967d59ef-da81-4b4e-a826-ded8a8e2b387/content>
- Perez, J. G., Pava, D. B., & Garcia, G. M. (2020). *Dialnet*. Obtenido de [file:///D:/Users/lmotta/Downloads/Dialnet-PropuestaMetodologicaDeInteresPaisajisticoConPoten-8132536%20\(1\).pdf](file:///D:/Users/lmotta/Downloads/Dialnet-PropuestaMetodologicaDeInteresPaisajisticoConPoten-8132536%20(1).pdf)
- Planta de Agua SAS. (s.f.). *Planta de Agua SAS*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2024, de [plantasdeagua.com: https://www.plantasdeagua.com/index.php/recursos-de-ingenieria/ras-2017#:~:text=El%20Reglamento%20de%20Aguas%20y,tienen%20mucho%20informaci%C3%B3n%20de%20dise%C3%B1o](https://www.plantasdeagua.com/index.php/recursos-de-ingenieria/ras-2017#:~:text=El%20Reglamento%20de%20Aguas%20y,tienen%20mucho%20informaci%C3%B3n%20de%20dise%C3%B1o).
- POT. (2011). *potgirardot.com*. Obtenido de <https://potgirardot.com/normativa-local/>
- qualtrics XM. (s.f.). *www.qualtrics.com*. Recuperado el 12 de Marzo de 2024, de <https://www.qualtrics.com/es-la/gestion-de-la-experiencia/investigacion/calculartomano-muestra/>
- Raffo, L. d., & Ruiz, L. E. (2014). *redalyc.org*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Ramalho, R. S. (1996). *books.google.com.pe*. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=30etGjzPXyWC&printsec=copyright&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Ramírez, J. D. (2021). *Dialnet*. Obtenido de Investigación e Innovación en Ingenierías : <file:///C:/Users/LENOVO%20DMT/Downloads/Dialnet-SistemaDeMedicionYControlDeTemperaturaParaUnProtot-7878759.pdf>
- Reporte Indigo. (30 de Junio de 2020). *reporteindigo.com*. Obtenido de <https://www.reporteindigo.com/piensa/aguas-residuales-un-habitat-para-el-coronavirus-tratamiento-patogenos-ciudades/>
- Rodríguez, P. H. (2017). *iagua*. Obtenido de [iagua.es: https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes](https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes)
- Rojas, R. (Septiembre de 2002). Obtenido de [academia.edu: https://www.academia.edu/37172484/Curso_Internacional_GETI%C3%93N_INTEGRA](https://www.academia.edu/37172484/Curso_Internacional_GETI%C3%93N_INTEGRA)

L_DE_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_25_al_27_de_setiembre_de_2002

- Rosales, E. E. (2003). *Dialnet*. Obtenido de file:///C:/Users/LENOVO%20DMT/Downloads/Dialnet-TanquesSepticosConceptosTeoricosBaseYAplicaciones-4835597.pdf
- Salas, J. J. (27 de Octubre de 2020). *www.iagua.es*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/humilde-fosa-septica-fundamentos-tipos-y-diseno>
- Scribd. (Diciembre de 2011). *es.scribd.com*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/74391988/SISTEMA-LAGUNA-DE-OXIDACION>
- Secretaría Distrital de Planeación. (s.f.). *sdp.gov.co*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2024, de <https://www.sdp.gov.co/micrositios/pot-2019/que-es>
- SPENA GROUP. (11 de Diciembre de 2016). *spenagroup.com*. Obtenido de <https://spenagroup.com/tratamiento-secundario-del-agua-aguas-residuales-sistema-anaerobico/>
- Suarez, M. C. (2011). *Universidad del valle*. Obtenido de bibliotecadigital.univalle.edu.co:https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/10174/7720-0445526.pdf;jsessionid=78E70F36636B3D32C80BEEF2A61DD3E3?sequence=1
- Torres, M. J., & Briceño, P. Y. (2016). *repository.unad.edu.co*. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/6254/7333763.pdf?sequence=1>
- UNESCO. (2017). *UNESDOC*. Obtenido de unesdoc.unesco.org:https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552_spa
- United States Environmental Protection Agency. (Septiembre de 2000). *www.epa.gov*. Obtenido de https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/cs_00_023.pdf
- Uribe, E. (1996). *sie.car.gov.co*. Obtenido de <https://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/37069/00141.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Velázquez, G. P., & Robles, H. C. (2021). *gaceta.cch*. Obtenido de <https://gaceta.cch.unam.mx/es/editorial/libros/quimica-i-unidad-i>

10. ANEXOS

Anexo 1. Laboratorio N°1 para la determinación del (DBO, DQO, SST)

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Recursos Ambientales	CORPORACIÓN DE CUENCAS DEL TOLIMA CORCUENCAS LABORATORIO AMBIENTAL DEL TOLIMA SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD		 Corcuencas	
	FLA - 048	VERSION 06		Página 1 de 1
	INFORME DE RESULTADOS			

REGISTRO: 424-22 AG

FECHA DE EMISIÓN: 2023-02-07

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

NOMBRE	MAURICIO MOLINA APONTE
CONTACTO	Mauricio Molina Aponte
DIRECCIÓN	Carrera 9 a # 1-26 Barrio la Consolota Tocaima
TELÉFONO - CORREO	3107789034 - mauricio-molina@upc.edu.co

IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

LUGAR DE MUESTREO	POZOS SÉPTICOS VEREDAS AGUA BLANCA Y LA SALADA
MUNICIPIO	Girardot y Tocaima
DEPARTAMENTO	Cundinamarca
FECHA DE MUESTREO	2022-12-21
RESPONSABLE MUESTREO	Mauricio Molina Aponte – Linda Motta
PROTOCOLO DE MUESTREO	Del Cliente
RECEPCIÓN LABORATORIO	2022-12-21
RESPONSABLE DE RECEPCIÓN	Laura Montaña Camacho – Angie Vargas Martínez

CÓDIGO	SITIO DE MUESTREO	HORA	LONGITUD OESTE	LATITUD NORTE	ALTITUD MSNM
1137	Pozo séptico residencial vereda Agua Blanca - Girardot	06:40	74°82'36,1"	4°32'53,3"	****

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO ⁽¹⁾	EJECUCIÓN ANÁLISIS	1137	± U ^a (%) ⁽²⁾
Matriz	*****	*****	*****	A.R.D ⁽³⁾	N.A
Tipo de Muestra	*****	1050	*****	Puntual	N.A
Demanda Química de Oxígeno ¹	mg O ₂ /L	5220 C	2022-12-21/2022-12-26	145	3,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno ¹	mg O ₂ /L	5210-B, ASTM D888-C	2022-12-21/2022-12-26	46,0	3,5
Sólidos Suspendidos Totales ¹	mg/L	2540 D	2022-12-26/2022-12-27	16,1	1,3

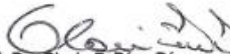
⁽¹⁾ Standard Methods for the examination of water and wastewater. Edición 23, 2017, ⁽²⁾ Agua Residual Domestica, ⁽³⁾ Incertidumbre Expandida Relativa de la Medición.

¹ PARÁMETROS ACREDITADOS POR EL IDEAM, SEGÚN RESOLUCIONES 2963 DE NOVIEMBRE 26 DEL 2018, 0514 DE MAYO 23 DEL 2019, 1643 DE DICIEMBRE 30 DE 2021, 0585 DE ABRIL 21 DE 2022 Y 1163 DE JUNIO 13 DE 2022, OFICIO DE ACOGIMIENTO A LA RESOLUCIÓN 650 DE AGOSTO 18 DE 2020.

OBSERVACIONES: Los análisis de Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes fueron subcontratados con el laboratorio SGS COLOMBIA S.A.S de la ciudad de Bogotá. Ver resultados en el informe anexo **BO2300318 V1**

*"Este informe de resultados es válido únicamente para las muestras analizadas y relacionadas en él.
Cualquier reproducción parcial o total requiere de la autorización de la Jefe de Laboratorio y la Directora Ejecutiva"*

Edson S Vargas C.
Edson Stephen Vargas Castillo.
Gestor Técnico y de Reportes - Químico TP PQ-5437


VoBo. Gloria E. Páez Pérez
Directora Ejecutiva

LABORATORIO AMBIENTAL DEL TOLIMA
Vivero El Secreto, Llanitos Predio No. 65, Km 8 Vía al Nevado Celular 3174363889 - laboratorio@corcuencas@hotmail.com

Anexo 2.Resultados (Coliformes Termotolerantes y Coliformes Totales)



EHS-LAB-I-F-09-05
Versión 15. 2021 Septiembre

INFORME DE ENSAYO BO2300318 V1

Página 2 de 3

Coliformes Termotolerantes (Antes llamados Coliformes Fecales)

Identificación SGS	BO2300318.001		
Matriz	AGUA SUBTERRANEA		
Muestreado por	CLIENT		
Especificación del Producto Cliente	GIRARDOT		
Identificación de la Muestra - Cliente	1137 POZO SEPTICO		
Lugar de Muestreo	RESIDENCIAL VRDA AGUA		
Fecha de Muestreo	BLANCA		
	GIRARDOT		
	2022-12-21		
	L.C.M	Fec.Ejecución Análisis	
Coliformes Termotolerantes (Antes llamados Coliformes Fecales) (NMP/100 mL) (A)	1	2022-12-22 - 2022-12-23	
		620	

Coliformes Totales

Identificación SGS	BO2300318.001		
Matriz	AGUA SUBTERRANEA		
Muestreado por	CLIENT		
Especificación del Producto Cliente	GIRARDOT		
Identificación de la Muestra - Cliente	1137 POZO SEPTICO		
Lugar de Muestreo	RESIDENCIAL VRDA AGUA		
Fecha de Muestreo	BLANCA		
	GIRARDOT		
	2022-12-21		
	L.C.M	Fec.Ejecución Análisis	
Coliformes Totales (NMP/100 mL) (A)	1	2022-12-22 - 2022-12-23	
		141360	

Anexo 3.Laboratorio N°2 (DBO, DQO, Grasas y aceites)

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	CORPORACIÓN DE CUENCAS DEL TOLIMA CORCUENCAS LABORATORIO AMBIENTAL DEL TOLIMA SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD			 Corcuencas
	FLA - 048	VERSIÓN 07	Página 1 de 1	
	INFORME DE RESULTADOS			

REGISTRO: 153 - 24 AG

FECHA DE EMISIÓN: 2024-04-22

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

NOMBRE	LINDA VANESSA MOTTA GARNICA
CONTACTO	Linda Vanessa Motta Garnica
DIRECCIÓN	Vereda Agua Blanca – Girardot Cundinamarca
TELÉFONO - CORREO	310 355 4618 / lindagarnica966@gmail.com

IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

LUGAR DE MUESTREO	POZO SÉPTICO VEREDA AGUA BLANCA
MUNICIPIO	Girardot
DEPARTAMENTO	Cundinamarca
FECHA DE MUESTREO	2024-04-05
RESPONSABLE MUESTREO	Del cliente: Linda Vanessa Motta – Karen Lorena Quintero
PROTOCOLO DE MUESTREO	Del cliente
RECEPCIÓN LABORATORIO	2024-04-05 11:42

N° INTERNO	SITIO DE MUESTREO	HORA	LONGITUD OESTE	LATITUD NORTE	ALTITUD MSNM
209	Pozo séptico	09:20	74°49'25,0"	04°19'31,1"	360

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO	EJECUCIÓN ANÁLISIS	209	± U' (%) ^(U)
Matriz	N.A	N.A	N.A	Residual Domestica.	N.A
Tipo de Muestra	N.A	1060	N.A	Puntual	N.A
Demanda Química de Oxígeno [†]	mg O ₂ /L	5220 C ⁽¹⁾	2024-04-05/2024-04-08	416	3,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno [†]	mg O ₂ /L	5210 B ⁽¹⁾ , ASTM D888 C ⁽²⁾	2024-04-05/2024-04-10	144	3,5

⁽¹⁾ Standard Methods for the examination of water and wastewater. Edición 23, 2017, ⁽²⁾ American Society for Testing and Materials. Ed 2012, ^(U) Incertidumbre Expandida Relativa de la Medición.



I&E-ENVI-LAB-I-F-09-05
Versión 16. 2023 Noviembre

INFORME DE ENSAYO
BO2402245 Rev. 0

Página 2 de 3

Identificación SGS	BO2402245.001		
Matriz	**AGUA RESIDUAL DOMESTICA		
Muestreado por	**CLIENT		
Lugar de Muestreo	**GIRARDOT		
Identificación de la Muestra - Cliente	**209		
Fecha de Muestreo	**2024-04-08		
L.C.M	Fec.Ejecución Análisis		
Grasas y Aceites (mg GyA/L) (A)	0.20	2024-04-15 - 2024-04-17	41.08

Anexo 4. Formato Encuesta

**PROYECTO: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN POBLACIÓN
VULNERABLE EN LA VEREDA AGUABLANCA "EL ARBOLITO" DEL MUNICIPIO DE
GIRARDOT- CUNDINAMARCA - COLOMBIA**

ESTUDIANTES: Karen Lorena Quintero Rojas & Linda Vanessa Motta Garnica

UNIVERSIDAD: Piloto de Colombia Seccional del Alto Magdalena

ZONA DE ESTUDIO: Vereda Agua Blanca, Girardot Cundinamarca

ENCUESTA

Pregunta 1. ¿Cuántas personas conforman su hogar

Pregunta 2. ¿El predio se destina para uso:

- a. Residencia _____
- b. Hotel _____
- c. Establecimiento comercial _____
- d. No sabe _____

Pregunta 3. ¿La vereda tiene sistema de Acueducto

- a. Si _____
- b. No _____

Pregunta 4. ¿La vereda tiene sistema de alcantarillado

- a. Si _____
- b. No _____

Pregunta 5. ¿La vereda cuenta con un sistema de tratamiento de agua residuales?

- a. Si _____
- b. No _____

Pregunta 6. ¿Como reutiliza las aguas Residuales?

Pregunta 7. ¿Se realizan mantenimiento A los sistemas (Pozo Séptico), cada cuánto?

Pregunta 8. ¿Concidera que se deberían mejorar los sistemas de saneamiento

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

VISTA EN PLANTA

CORTE LONGITUDINAL

UNIVERSIDAD
U2 Piloto
DE COLOMBIA
Seccional del Alto Magdalena

NOMBRE:

PLANO HIDRÁULICO PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

DIBUJO:

KAREN LORENA QUINTERO ROJAS
LINDA VANESSA BOTTA GARNICA

ESCALA:

1:1

FECHA::

JUNIO 2024

PLANO:

5:5