



**PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
RESIDUAL (PTAR) POR LODOS ACTIVADOS EN EL MUNICIPIO DE SOATÁ
BOYACÁ**

LUIS NICOLÁS CUATIS CHAVEZ CÓDIGO: 504904

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ D.C.
2018**



**PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
RESIDUAL (PTAR) POR LODOS ACTIVADOS EN EL MUNICIPIO DE SOATÁ
BOYACÁ**

LUIS NICOLÁS CUATIS CHAVEZ CÓDIGO: 504904

**Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Civil.**

DOCENTE ASESOR:

ING. FELIPE SANTAMARIA ÁLZATE

**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ D.C.
2018**



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

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

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

Usted es libre de:

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



Bajo las condiciones siguientes:



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



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

Nota de aceptación

**Director del Proyecto
Ing. Felipe Santamaría Álzate**

Jurado 1

Jurado 2

Jurado 3

Bogotá D.C., noviembre 2018

Dedicatoria

Este importante logro está dedicado a mi abuelo Gonzalo, parte fundamental de mi infancia, ejemplo de sabiduría, trabajo duro y quien siempre tuvo como respuesta una sonrisa dorada para los buenos y malos ratos.

A mi hermano Jhon, por ser mi mayor influencia, mi más importante orientador moral, el mejor padre, hijo, hermano y amigo.

Agradecimientos

A mi madre por haberme acompañado incondicionalmente en cada paso dado, alentándome después de cada tropiezo y apoyándome en cada nuevo escalón.

A mi padre por ser un ejemplo de trabajo duro y dedicación.

A mi tutor Felipe Santamaria, cuya orientación fue indispensable para la elaboración de este importante documento.

Y principalmente, gracias a Dios que cerco los mejores caminos y me permitió seguir la ruta adecuada.

CONTENIDO

LISTADO DE TABLAS ANEXAS	10
LISTADO DE FIGURAS ANEXAS	11
LISTADO DE GRAFICAS ANEXAS	12
GLOSARIO.	13
RESUMEN.....	15
ABSTRACT.....	16
INTRODUCCIÓN.....	17
1. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO.....	19
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	20
3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	24
4. OBJETIVOS	25
4.1 General.....	25
4.2 Específicos	25
5. JUSTIFICACION	26
6. ALCANCES Y LIMITACIONES	27
6.1 Alcances	27
6.2 Limitaciones.....	27
7. MARCOS DE REFERENCIA.....	28
7.1 Marco conceptual	28
7.1.1 Tratamiento por lodos activados	29
7.1.1.1 Tratamiento biológico aeróbico con bacterias o Etapa de aireación. ...	29
7.1.1.2 Separación de lodos activados por gravitación o Etapa de decantación.	29
7.2 Marco teórico	30
7.2.1 Parámetros de diseño de la Resolución 0330 de 2017.....	32
7.2.2 Calculo de la población futura	33
<input type="checkbox"/> Método Aritmético	33
<input type="checkbox"/> Método Geométrico.....	33
<input type="checkbox"/> Método Exponencial.....	34
<input type="checkbox"/> Método de Wappaus.....	34

□ Población flotante	35
7.2.3 Dotación neta (dneta).....	35
7.2.4 Calculo de caudales del sistema.....	36
□ Aguas residuales domesticas (QD).....	36
□ Caudal medio diario (QMD)	36
□ Caudal máximo horario (QMH)	37
□ Caudal de infiltración (QINF).....	37
□ Caudal por conexiones erradas (QCE)	37
□ Caudal de diseño (QDT)	38
□ Caudal por aguas lluvias.....	38
7.2.5 Aliviadero para la demasía por aguas lluvias	39
7.2.6 Tratamientos Centralizados	40
7.2.6.1 Distancias mínimas para la localización de sistemas de tratamiento de aguas residuales centralizadas.....	40
7.2.6.2 Requisitos mínimos de diseño para rejillas.	41
7.2.6.3 Requisitos mínimos de diseño para sedimentadores primarios (desarenador).	42
7.2.6.4 Requisitos mínimos para diseño de reactores UASB.....	43
7.2.6.5 Requisitos mínimos de diseño para procesos de lodos activados.	44
7.2.6.6 Requisitos mínimos para diseño de sedimentadores secundarios.....	48
7.2.6.7 Caracterización operativa en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.	49
7.3 Marco legal.....	49
8. DISEÑO DE LA PTAR PROPUESTA.....	51
8.1 Población futura del municipio de Soatá.....	51
8.2 Cálculo del caudal de diseño.....	52
8.3 Calculo de aguas lluvias.....	54
8.4 Diseño de rejilla.....	57
8.5 Diseño de aliviadero	58
8.6 Diseño de desarenador	59
8.7 Diseño reactor UASB	60
8.1 Diseño de sistema para el tratamiento por lodos activados.....	62

8.2	Diseño de sedimentador secundario.....	63
9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y RECOMENDACIONES	65
10.	MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y CONTROL DE LA PTAR68	
10.1	Etapas de tratamiento.....	68
10.2	Arranque y puesta en marcha	68
10.3	Arranque y puesta en marcha de lodos activados.....	69
10.3.1	Procedimiento para el llenado.....	70
10.4	Monitoreo de la calidad del afluente y efluente.....	70
10.4.1	Generalidades.....	70
10.4.2	El muestreo	70
10.4.3	Toma de la muestra	71
10.5	Parámetros de control.....	72
10.6	Mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	73
10.6.1	Mantenimiento preventivo	73
10.6.2	Actividades rutinarias	74
10.6.3	Higiene	74
	CONCLUSIONES.....	78
	BIBLIOGRAFÍA.....	80

LISTADO DE TABLAS ANEXAS

TABLA. 1 Caudales de diseño para aguas residuales.....	32
TABLA. 2 Dotación Neta Máxima por altura sobre el nivel del mar.....	35
TABLA. 3 Periodos de retorno	38
TABLA. 4 Distancias para localización de sistemas de tratamiento.....	40
TABLA. 5 Clasificación de rejillas.....	41
TABLA. 6 Velocidades de flujo ascendente para el diseño de reactores UASB. ...	43
TABLA. 7 Tiempo de retención hidráulica para reactores UASB.	43
TABLA. 8 Parámetros de lodos activados.....	45
TABLA. 9 Normatividad colombiana para sistemas de agua potable y saneamiento básico.	50
TABLA. 10 Información de Censos de población.....	51
TABLA. 11 Población futura (PF) obtenida mediante los métodos propuestos.	51
TABLA. 12 Información para el cálculo de caudales.....	53
TABLA. 13 Caudales calculados.....	53
TABLA. 14 Estación seleccionada para el cálculo de caudal por lluvias.....	54
TABLA. 15 Serie de precipitaciones máximas en 24 horas.....	54
TABLA. 16 Resultados obtenidos para el diseño de rejilla de 1”.....	57
TABLA. 17 Resultados obtenidos para el diseño del aliviadero.	58
TABLA. 18 Resultados obtenidos para el desarenador propuesto.....	59
TABLA. 19 Resultados obtenidos para el diseño de reactor UASB	60
TABLA. 20 Resultados obtenidos para el diseño del GLS	61
TABLA. 21 Resultados obtenidos para el diseño por lodos activados	62
TABLA. 22 Resultados obtenidos para sedimentador secundario	64
TABLA. 23 Parámetros de medición para monitoreo de proceso aerobio.	71
TABLA. 24 Mantenimiento manual a rejillas.....	73
TABLA. 25 Mantenimiento al desarenador.....	73
TABLA. 26 Equipos de protección que debe utilizar el personal que labora en la PTAR.....	76

LISTADO DE FIGURAS ANEXAS

FIGURA. 1 <i>Mapa de la ubicación de Soatá en el departamento de Boyacá.</i>	19
FIGURA. 2 <i>Vista satelital del alcantarillado de Soatá, Boyacá.</i>	20
FIGURA. 3 <i>Nuevos edificios en construcción.</i>	22
FIGURA. 4 <i>Panorámica de nuevas viviendas de interés social (VIS).</i>	22
FIGURA. 5 <i>Tratamientos en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).</i>	28
FIGURA. 6 <i>Procesos de las plantas de tratamiento de aguas residuales.</i>	31
FIGURA. 7 <i>Distribución de la PTAR propuesta</i>	65
FIGURA. 8 <i>Ingreso de oxígeno al tanque de lodos activados</i>	66
FIGURA. 9 <i>Almacenamiento adecuado de químicos en el laboratorio</i>	77
FIGURA. 10 <i>Programa de comunicación de riesgos en la planta.</i>	77

LISTADO DE GRAFICAS ANEXAS

GRAFICA. 1 <i>Curvas precipitación – duración – periodo de retorno</i>	56
GRAFICA. 2 <i>Curvas intensidad – duración – frecuencia</i>	56

GLOSARIO.

AGUAS RESIDUALES: desechos líquidos que son originados en residencias, edificios de diferentes usos, instituciones, fábricas o industrias (C. y. Ministerio de Vivienda 2017).

ALCANTARILLADO DE AGUAS COMBINADAS: sistema compuesto por todos aquellos elementos encargados de la captación y transporte de aguas residuales y aguas lluvias (C. y. Ministerio de Vivienda 2017)

ÁREA TRIBUTARIA: es la superficie que capta y drena hacia un punto o tramo determinado (C. y. Ministerio de Vivienda 2017)

DENSIDAD DE POBLACIÓN: son la cantidad de personas que habitan una zona o superficie determinada (C. y. Ministerio de Vivienda 2017)

EMISARIO FINAL: son colectores encargados de transportar las aguas residuales, aguas lluvias o combinadas a los vertimientos finales o a las plantas de tratamiento (C. y. Ministerio de Vivienda 2017)

ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUAS RESIDUALES: aquellos componentes de un sistema de alcantarillado destinados a la evacuación de las aguas por bombeo en aquellas zonas bajas que se presenten en el sistema (C. y. Ministerio de Vivienda 2017)

POBLACIÓN FLOTANTE: habitantes que frecuentan un lugar por determinados periodos de tiempo y en diferentes épocas, se consideran en el dimensionamiento de recolección y evacuación de aguas residuales (C. y. Ministerio de Vivienda 2017)

PRECIPITACIÓN: cantidad estimada de agua lluvia que cae en una superficie o zona particular durante cierto periodo de tiempo (C. y. Ministerio de Vivienda 2017)

RED LOCAL DE ALCANTARILLADO: conjunto de elementos como tuberías y canales que constituyen el sistema de evacuación de las aguas captadas y sobre el

cual desembocan acometidas residenciales (C. y. Ministerio de Vivienda 2017)

RESUMEN

Los recursos hídricos son limitados para muchas zonas a lo largo del territorio nacional, de allí la importancia de garantizar la correcta disposición de las aguas tratadas en los cuerpos de agua. El crecimiento poblacional de los municipios aumenta las demandas del líquido y por ende aumentan los residuos líquidos generados después de ser usados en diferentes procesos; se deberá garantizar el tratamiento previo al vertimiento de estos residuos en cuerpos de agua o zanjas naturales de las zonas.

El municipio de Soatá en Boyacá tiene un sistema de alcantarillado combinado (aguas residuales y aguas lluvias), el sistema se divide en dos tramos que tienen vertimiento en diferentes puntos del municipio. El municipio no tiene sistema de tratamiento de aguas residuales y estas son vertidas directamente sobre zanjas y afluentes en la zona baja del municipio, generando una problemática para las poblaciones aguas abajo.

El presente documento plantea el diseño funcional de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante el método de lodos activados, para la remoción de contaminantes y sólidos suspendidos. El diseño se basa en la recirculación de la biomasa en diferentes procesos, obteniendo una remoción más eficiente y reduciendo los desechos resultantes.

PALABRAS CLAVES: lodos activados, biomasa, remoción.

ABSTRACT

Water resources are limited for many areas throughout the national territory, hence the importance of guaranteeing water quality in the different tributaries. The population growth of the municipalities increases the demands of the liquid and therefore increases the liquid waste generated after the different processes; hence the importance of guaranteeing the treatment prior to the dumping of this waste in water bodies or natural ditches in the area.

The municipality of Soatá in Boyacá has a combined sewerage system (sewage and rainwater), the system is divided into two sections that have discharge in different parts of the municipality. The municipality does not have a wastewater treatment system and these are discharged directly into ditches and tributaries in the lower area of the municipality, generating a problem for downstream populations.

This document presents the functional design of a wastewater treatment plant using the activated sludge method, for the removal of pollutants and suspended solids. The design is based on the recirculation of the biomass in different processes, obtaining a more efficient removal and reducing the resulting waste.

KEYWORDS: activated sludge, biomass, removal.

INTRODUCCIÓN

Los impactos a la salud derivados de las malas prácticas por la disposición final de aguas residuales es una problemática latente en muchas zonas del territorio colombiano. En particular, el departamento de Boyacá ha sufrido por largo tiempo la ausencia de sistemas de alcantarillados funcionales y se ha limitado al servicio de sistemas con diseños y materiales que no cumplen los parámetros de las normativas vigentes.

En el municipio de Soatá (Boyacá) se evidencia la problemática anteriormente mencionada, ya que el sistema del municipio cuenta con dos vertimientos que finalizan directamente sobre cuerpos de agua y zanjas naturales sobre el perímetro del casco urbano sin un previo tratamiento de descontaminación; este riesgo motiva a la realización de actividades que minimicen los impactos y puedan garantizar la calidad de vida de la pobladores y visitantes, por ello se desarrollara el proyecto “Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) por lodos activados en el municipio de Soatá Boyacá”.

Para dar un correcto desarrollo al proyecto mencionado se estructuraron actividades de la siguiente manera:

En los antecedentes y justificación se mencionan las características del municipio y el sistema que funciona actualmente, se considera el desarrollo en habitacional del municipio y se indican los estudios previos existentes.

En el planteamiento y formulación del problema, se indica la necesidad de implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales que mejor se ajuste a las necesidades del municipio.

Los marcos de referencia consideran los conceptos fundamentales para la comprensión de los procesos que se llevaran a cabo, se indican los parámetros y modelos matemáticos establecidos para el diseño y se indican los aspectos legales vigentes. En este se toma como base la Resolución 0330 de 2017 que determina las condiciones para la implementación de una planta de tratamiento de acuerdo con los procesos adoptados para el proyecto.

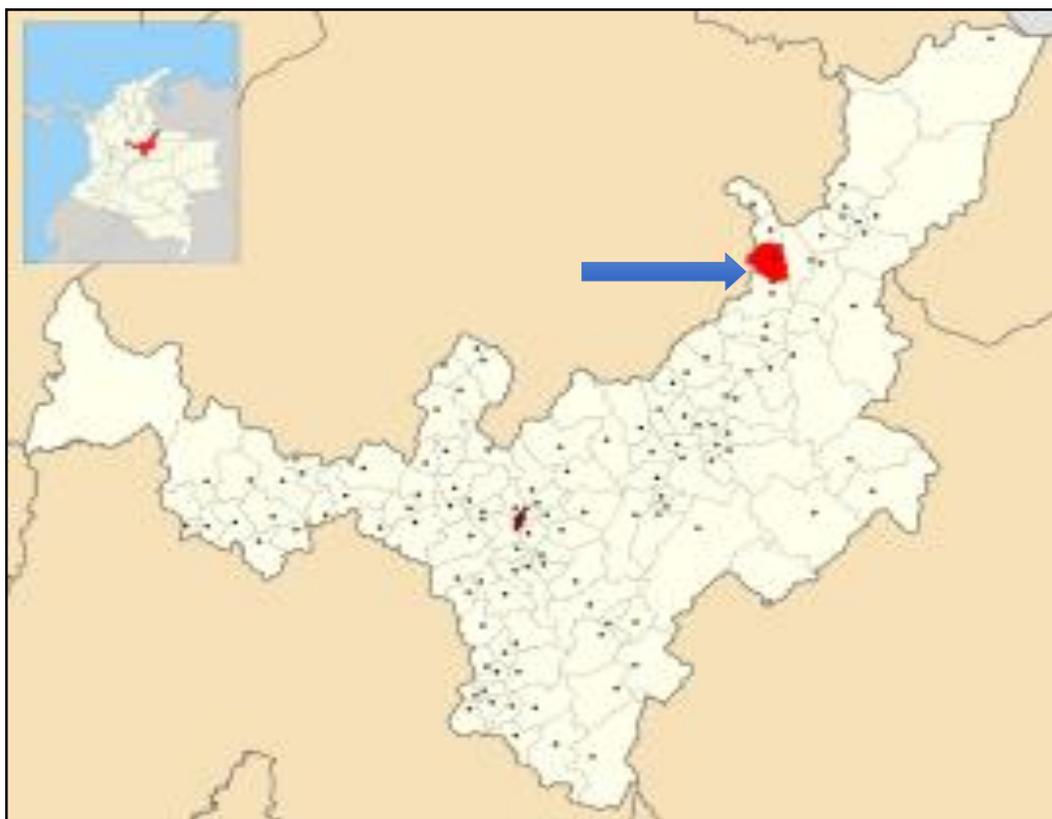
Los capítulos siguientes hacen referencia a aquellas estrategias para el correcto desarrollo del proyecto, como las fases fundamentales y los cronogramas de ejecución; de estas estrategias depende la correcta culminación de los diseños propuestos, se tienen en cuenta las visitas al municipio y la obtención de información, las revisiones del documento y la estructuración del documento final.

Los hallazgos derivados de las evaluaciones y cálculos realizados serán soporte para definir las recomendaciones técnicas y las conclusiones producto de la propuesta de diseño.

1. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO

Soatá es un municipio de Boyacá, se encuentra ubicado en la zona nororiental del departamento, considerada en la actualidad la capital de la provincia del norte, su localización urbana corresponde a los 60° 20' de latitud Norte y 720° 40' de longitud Oeste; se ubica a una altura sobre el nivel del mar de 2.045 m.s.n.m., la temperatura promedio del municipio varía entre los 20° C. Tiene una distancia con respecto a Tunja, la capital del departamento en unos 160 km, el área total del municipio es de 136 Km². Su densidad poblacional se encuentra aproximadamente entre los 8730 habitantes, de estos, 5500 se encuentran en la zona urbana. Tiene límites con las siguientes poblaciones: Tipacoque al Sur, Susacón al Oriente, Boavita al Occidente y al norte con Onzaga (Santander) (ALCALDIA DE SOATÁ 2013).

FIGURA. 1 Mapa de la ubicación de Soatá en el departamento de Boyacá.

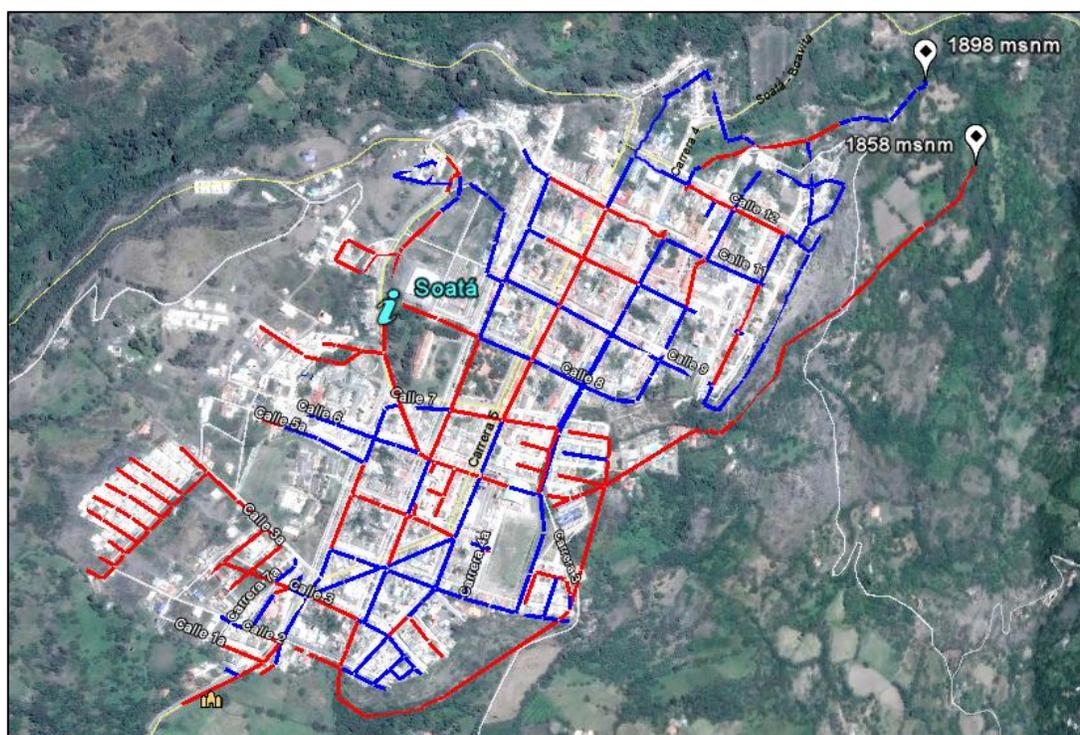


Fuente: Página oficial Alcaldía de Soatá (soata-boyaca.gov.co).

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Actualmente en el municipio la empresa prestadora de servicios de acueducto y alcantarillado es EMPOSOATÁ E.S.P, en cabeza de la gerente Janeth Zoraida Blanco. El sistema de alcantarillado consta de un sistema convencional combinado compuesto por 322 tramos en los cuales la tubería tiene elementos de diferentes diámetros que oscilan entre 6” a 38”, con una longitud aproximada de 16.280 metros y constituida por elementos de concreto, PVC, gres y ladrillo. El sistema cuenta con alrededor de 165 pozos de inspección. Existen dos fuentes receptoras de vertimientos del sistema sin tratamiento alguno, lo que genera un inadecuado manejo de aguas e impactos ambientales en las fuentes hídricas (ALCALDIA DE SOATÁ 2013). La FIGURA. 2 indica el trazado del sistema y las alturas topográficas de los vertimientos, las líneas rojas son algunos tramos nuevos y las líneas azules corresponden a algunos tramos antiguos.

FIGURA. 2 Vista satelital del alcantarillado de Soatá, Boyacá.



Fuente: Tramos de alcantarillado exportados a Google Earth, elaborado por el autor.

La gerente de EMPOSOATÁ permitió la consulta del documento elaborado en el año 2013 denominado “Optimización de las redes de acueducto y alcantarillado para el casco urbano del municipio de Soatá” correspondiente a la actualización de la

Fase II del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado del Municipio de Soatá (EMPOSOATÁ 2013), que se desarrolló en el año 2006, se realizó el catastro de las redes de alcantarillado y el diagnóstico de las mismas donde se sugirió la optimización de las redes y el tratamiento de las aguas captadas para su disposición final.

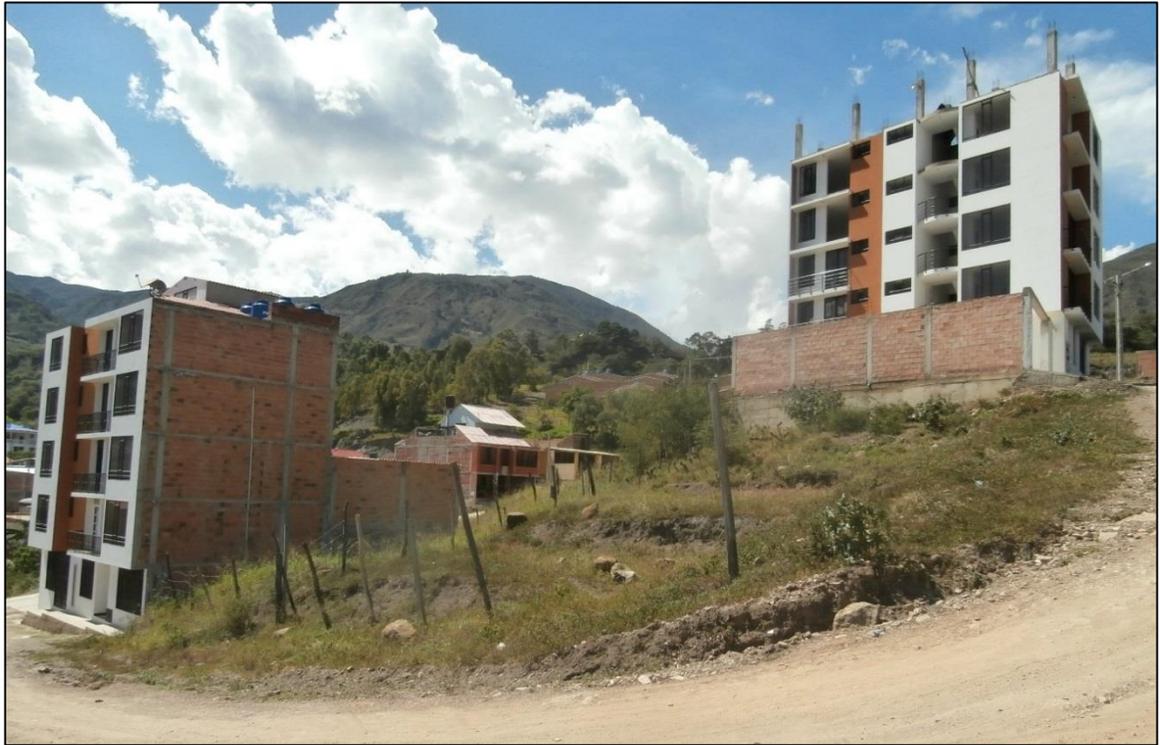
Las directivas de EMPOSOATÁ E.S.P, aseguran que los estudios actuales no se ajustan a las necesidades del municipio, teniendo en cuenta el crecimiento poblacional y el desarrollo del municipio durante los últimos años, dado que el informe actual no tiene en cuenta las variables de crecimiento poblacional y de expansión, por otra parte, las recomendaciones del documento no se han desarrollado y continua la ausencia de plantas de tratamiento.

Por medio de una propuesta de planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se desarrolla un diseño funcional para el tratamiento de las aguas captadas por el sistema de alcantarillado combinado que se encuentra en funcionamiento actualmente; se debe construir un elemento que reciba las aguas transportadas y estas pasen a un tratamiento previo a desembocar en las zanjas naturales y cuerpos de agua del municipio. Este documento contiene la propuesta de una PTAR que cumple las condiciones actuales y las proyecciones poblacionales del municipio, siguiendo los parámetros y cálculos establecidos en la normatividad vigente.

El municipio durante los últimos años se ha mantenido en constante desarrollo, siendo la construcción de nuevas viviendas una de sus principales actividades; en mayo 19 de 2016 la alcaldía del municipio en declaraciones para un medio impreso, divulgó la construcción de 200 viviendas tipo apartamento, cada uno compuesto por tres habitaciones, un baño principal y un baño privado para la habitación principal (EXTRA 2016).

Dentro de la normatividad vigente del municipio se reglamenta la construcción de edificaciones de hasta seis niveles; durante una visita técnica en el mes de diciembre del año 2017 al municipio, se pudo evidenciar la construcción de nuevas edificaciones tipo apartamento y la construcción de grupos de nuevas viviendas de interés social (VIS), lo anterior lleva a considerar la disposición final de las aguas residuales debido al crecimiento poblacional que presenta el municipio.

FIGURA. 3 *Nuevos edificios en construcción.*



Fuente: Autor 2017.

FIGURA. 4 *Panorámica de nuevas viviendas de interés social (VIS).*



Fuente: Autor 2017.

Se debe considerar que el municipio de Soatá es la cuna del Cañón del Chicamocha, debido a que es en este municipio donde aparece este accidente geográfico que es de gran atractivo turístico para el departamento y para el país. Se evaluará la capacidad de los sistemas y el tratamiento oportuno de las aguas servidas, teniendo en cuenta la población existente, la población flotante y la población futura, y de esta manera garantizar la correcta disposición final de aguas tratadas en los cuerpos de agua y evitar la contaminación de las fuentes hídricas y la proliferación de malos olores, plagas y enfermedades de tipo pulmonar o intestinal.

3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el área urbana del municipio habitan aproximadamente 5500 personas, la cobertura del sistema de alcantarillado corresponde a más de un 95% de prestación del servicio, sin embargo los planes de desarrollo con los que cuenta actualmente el municipio no corresponden a lo contemplado en el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio, la construcción de nuevas edificaciones de apartamentos y viviendas para poblaciones vulnerables han aumentado los caudales de aguas al sistema, el municipio no cuenta con la infraestructura para tratar estas aguas y disponerlas correctamente en los cursos de agua, por lo tanto se está generando una contaminación a cursos de aguas que van aguas abajo a otras poblaciones.

El sistema de alcantarillado tiene dos vertimientos a cuerpos receptores que no cuentan con la implementación de tratamientos de aguas residuales, el alcantarillado está compuesto por un sistema combinado por lo tanto el arrastre de materiales solidos aporta grandes cantidades de contaminantes en los vertimientos.

La empresa encargada del sistema del municipio EMPOSOATÁ E.S.P., ha manifestado la disposición para iniciar los trabajos correspondientes a la implementación de plantas de tratamiento, la tenencia de terrenos para su construcción y la necesidad de realizar los tratamientos correspondientes.

Con los datos recopilados en visitas técnicas y con la información aportada por EMPOSOATÁ E.S.P., se planea desarrollar una propuesta de diseño de PTAR que cumpla con los parámetros establecidos en la normatividad vigente, que sea funcional para la población actual y la población futura, y que garantice el oportuno tratamiento para las aguas transportadas y ser vertidas en los cursos de agua con el mínimo impacto ambiental, de este modo determinar ¿ Cómo tratar las aguas residuales generadas en el municipio de Soatá, mediante los procesos de lodos activados?.

4. OBJETIVOS

4.1 General

Proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR), para el manejo de los vertimientos en el municipio de Soatá Boyacá.

4.2 Específicos

- Recopilar y analizar la información obtenida en campo y aportada por EMPOSOATÁ para el planteamiento del diseño de la planta.
- Definir la tecnología de lodos activados que se ajuste a las condiciones paisajísticas para el mirador del Chicamocha.
- Presentar la propuesta de diseño de planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que cumpla con los parámetros determinados en la normatividad vigente.

5. JUSTIFICACION

Los sistemas de alcantarillado deben estar compuestos por elementos que garanticen la captación de las aguas residuales y aguas lluvias, para ser estas transportadas hacia sistemas de tratamiento que reduzcan las cargas contaminantes y estas aguas puedan continuar su ciclo hidrológico hacia otros cursos de agua.

Mediante los diferentes procesos a las que son expuestas las aguas servidas se retienen partículas de diferentes dimensiones como gravas y arenas, en otros procesos son extraídos los metales y diferentes compuestos químicos y finalmente los procesos por lodos activados se encargan de descomponer la materia orgánica y pueden reducirse los sólidos biológicos.

De esta manera y siguiendo los parámetros de diseño en la Resolución 0330 de 2017, se realizarán los cálculos correspondientes para los diferentes elementos que realizan los procesos de descontaminación de la planta de tratamiento propuesta para el municipio de Soatá en Boyacá.

6. ALCANCES Y LIMITACIONES

6.1 Alcances

Para el desarrollo de los objetivos planteados en el presente documento, se establece como principal alcance la propuesta de un diseño de planta de tratamiento de aguas residuales que satisfaga las necesidades en el casco urbano del municipio de Soatá, determinando los aportes del sistema de alcantarillados de la población actual, población futura y población flotante. Se llevarán a cabo los diseños siguiendo las recomendaciones y parámetros de la normatividad vigente indicada en el Marco Legal en particular la Resolución 0330 del 2017 RAS.

El presente proyecto contendrá los cálculos realizados mediante la información obtenida por medio de los funcionarios del municipio y por las visitas técnicas, los planos en formato PDF que definen el diseño propuesto y el documento escrito que indica las metodologías y procedimientos realizados y las recomendaciones consideradas.

6.2 Limitaciones

El presente proyecto se limitará a realizar una propuesta de planta de tratamiento de aguas residuales PTAR considerando las necesidades del municipio y siguiendo todos los parámetros de la normatividad vigente.

- No se diseñarán plantas piloto.
- No se realizarán ni entregarán ensayos de laboratorios.
- No se entregarán diseños constructivos como despieces de aceros, especificación de materiales, sistemas constructivos, planos arquitectónicos o de detalle.
- No se realizarán cálculo de cantidades y no se entregará un presupuesto.

7. MARCOS DE REFERENCIA

7.1 Marco conceptual

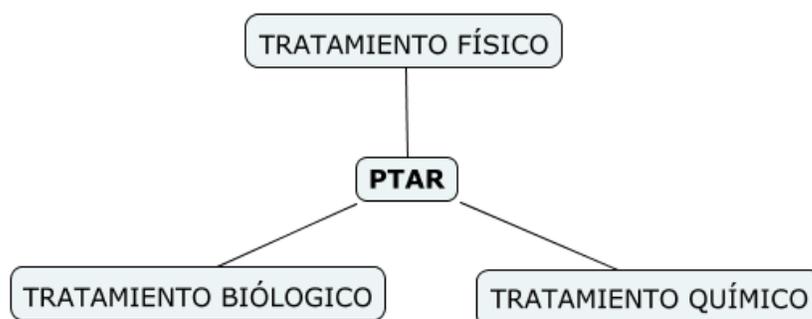
Para el desarrollo del presente proyecto se deberán tener claros algunos aspectos que están directamente relacionados con los sistemas que se evaluarán, los elementos que componen la estructura de tratamiento y la función de estos como parte fundamental de los tratamientos de descontaminación de las aguas residuales.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son conjuntos de sistemas y operaciones en estructuras especiales, en dichas estructuras se llevan a cabo procesos químicos o biológicos y tienen como finalidad que a través de los equipamientos se eliminen o reduzcan los componentes no deseados de las aguas recibidas. (RESTREPO 2007).

Para comprender de una manera más simple el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), se debe tener claridad de las series que componen el tratamiento y donde se involucran procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como único fin la eliminación de contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano.

En la FIGURA. 5 se muestran los procesos para el tratamiento de aguas residuales, los tratamientos físicos, biológicos y químicos. Por medio de los mapas conceptuales se pueden correlacionar los procesos con una actividad principal. (ONTORIA 2006).

FIGURA. 5 *Tratamientos en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).*



Fuente: diseñada por el autor en CmapTools 2018.

Para el presente proyecto se llevarán a cabo los procesos de tratamiento de aguas residuales por medio de lodos activados, se contempla esta alternativa teniendo en cuenta que los terrenos analizados por el municipio para la construcción de la PTAR se encuentran en la panorámica del mirador de Chicamocha (AVALÚOS INMOBILIARIOS 2016), con esta alternativa se pretende generar el mínimo impacto visual o paisajística en la zona.

7.1.1 Tratamiento por lodos activados

Consiste en unos procesos biológicos para la depuración natural de las aguas residuales transportadas por los sistemas de alcantarillado, este tratamiento es indicado para el tratamiento de aguas residuales domesticas ya que estas contienen partes de contaminación carbonosa, nitrogenada y fosforada (ROMERO 2000).

Estos procesos se desarrollan en dos fases:

7.1.1.1 Tratamiento biológico aeróbico con bacterias o Etapa de aireación.

Por tanques equipados con aireadores se suministra oxígeno a las bacterias que colonizan la biomasa, estas bacterias se encargan de transformar la materia orgánica en presencia de oxígeno, allí se desarrollan y reproducen. Debido a su microscópico tamaño pueden absorber y transformar los contaminantes disueltos en CO₂ y sólidos en suspensión. Estas bacterias también tienen la propiedad de agruparse entre ellas y adherirse a partículas inertes generando flóculos, esta etapa permite la separación física del agua y los lodos formados por flóculos.

7.1.1.2 Separación de lodos activados por gravitación o Etapa de decantación.

En un tanque la biomasa es tratada para separar los lodos generados por medio de la gravitación. Durante la separación de la biomasa se requerirá de una pantalla delante del vertedero y un barredor para la superficie del agua depurada con el fin de eliminar los flotantes. Se debe tener en cuenta el manejo de los lodos concentrados en la parte inferior que deben ser eliminados para mantener la cantidad admitida en el decantador.

Para el correcto tratamiento de las aguas residuales por medio de lodos activados

se deberán garantizar tres parámetros:

- Tener control en la cantidad y calidad de la biomasa generada.
- Controlar la cantidad de oxígeno proporcionado durante el proceso.
- Controlar el caudal y composición del afluente y la conformidad del efluente.

7.2 Marco teórico

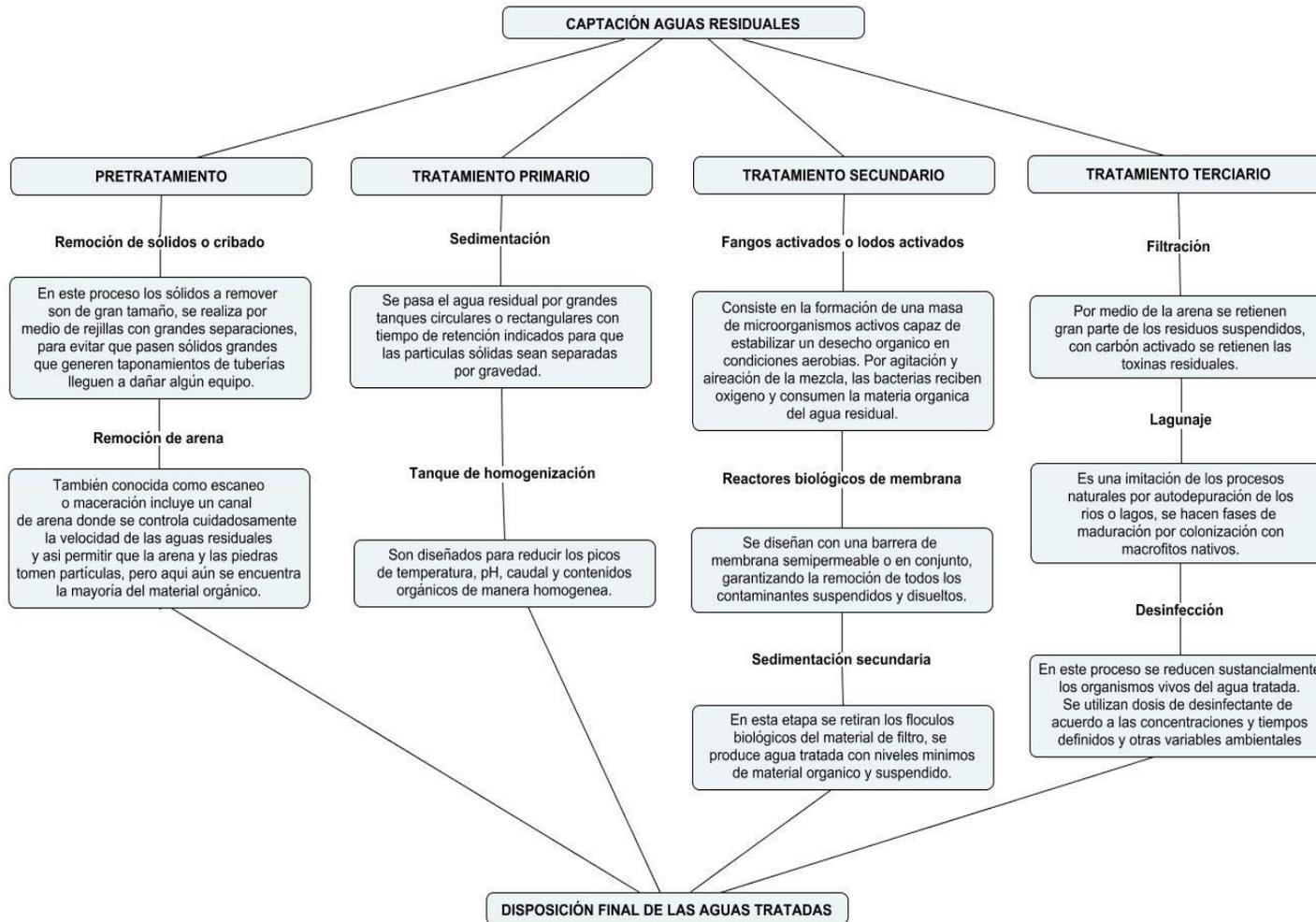
Los procesos aplicados para la descontaminación de las aguas dependen de su estado, contexto, herramientas y el uso esperado de las aguas tratadas. Se pueden asegurar 4 pasos para el tratamiento de las aguas: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario (ROMERO 2000) En la FIGURA. 6 se podrán identificar estos procesos.

El pretratamiento tiene dos fases encargadas de la remoción de sólidos de gran tamaño por medio de rejillas y filtros, extraer estos sólidos permite asegurar que las tuberías no se taponen y que elementos más grandes puedan dañar algunos de los equipos de descontaminación.

Después de remover algunos sólidos el agua a tratar pasa a la siguiente fase de sedimentación, donde se hace circular el agua durante ciertos periodos de tiempo para que las partículas sean separadas por acción de la gravedad.

Los procesos de tratamiento secundarios biológicos consisten en la generación de lodos activados mediante la formación de microorganismos que actúan sobre desechos orgánicos por medio de la aireación, estos lodos pasan a reactores biológicos encargados de servir de sitio de cultivo para que se reúna la biomasa, una vez finalizado este proceso se procede a retirar los flóculos biológicos del material de los filtros. El tratamiento terciario consiste en la descontaminación de las aguas obtenidas utilizando compuestos químicos.

FIGURA. 6 *Procesos de las plantas de tratamiento de aguas residuales.*



Fuente: diseñada por el autor en CmapTools 2018..

7.2.1 Parámetros de diseño de la Resolución 0330 de 2017.

En el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS derogado mediante la Resolución 0330 de 2017 (C. y. Ministerio de Vivienda 2017) que en el *Capítulo 5 Sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales*, indica los requisitos técnicos para los tratamientos de aguas residuales y sus subproductos.

Primero se deben evaluar los caudales para el dimensionamiento de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales, por lo tanto debemos tener en cuenta la TABLA. 1. De acuerdo la Resolución 0330 el periodo de diseño se determina a 25 años y no se tiene en cuenta el nivel de complejidad, por lo tanto el presente diseño se realiza desde el año 2018 y hasta el 2043.

TABLA. 1 Caudales de diseño para aguas residuales

CAUDAL	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN
Caudal medio de diseño.	Caudal medio diario de capacidad de la PTAR.	-Caudal medio de referencia. -Caudal de diseño de unidades de tanques sépticos. -Sistemas lagunares.
Caudal máximo horario.	Máximo volumen en una hora, identificado en los registros estudiados.	-Dimensionamiento de sistemas de bombeo, procesos físicos (desarenadores, cribados, trampas de grasa y sedimentadores primarios y secundarios). -Desarrollo de estrategias operativas. -Conductos de interconexión de unidades de procesos.
Caudal máximo diario.	Máximo volumen en un día, identificado en los registros estudiados.	-Dimensionamiento de tanques de regulación. -Dimensionamiento de sistemas de bombeo de lodos. -Dimensionamiento de dosificación química.
Causal máximo mensual.	Caudal promedio diario para el mes con el mayor volumen mensual identificado en los registros estudiados.	-Dimensionamiento de biorreactores. -Dimensionamiento del almacenamiento de químicos.

Fuente: Resolución 0330 de 2017/ Tabla 22.

7.2.2 Cálculo de la población futura

Las proyecciones de la población para el municipio de Soatá serán calculadas de acuerdo con los métodos aritméticos, geométricos, exponencial y Wappaus. Una vez calculados se determinarán los valores promedios y se tomarán como valor de diseño los que presenten la menor desviación.

Las ecuaciones de los métodos utilizados fueron extraídas del RAS-2000.

- Método Aritmético

$$Pf = Puc + \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci} * (Tf - Tuc) \quad (1)$$

Donde:

Pf: población futura para el tiempo estimado en el diseño.

Puc: población del último año censado.

Pci: población correspondiente al año inicial.

Tuc: año correspondiente al último censo.

Tci: año correspondiente al censo inicial.

Tf: año para el cual se quiere proyectar.

- Método Geométrico

$$Pf = Puc * (1 + r)^{Ti - Tuc} \quad (2)$$

Donde:

r: es la tasa de crecimiento anual en forma decimal, calculada mediante la siguiente ecuación:

$$r = \left(\frac{Puc}{Pci} \right)^{\frac{1}{Tuc - Tci}} - 1 \quad (3)$$

- Método Exponencial

$$Pf = Pci * e^{k * (Tf - Tci)} \quad (4)$$

Donde:

k: es la tasa de crecimiento de la población, calculada mediante la siguiente ecuación:

$$k = \frac{\ln Pcp - \ln Pca}{Tcp - Tca} \quad (5)$$

Donde:

Pcp: población del censo posterior.

Pca: población del censo anterior.

Tcp: año correspondiente al censo posterior.

Tca: año correspondiente al censo anterior.

Ln: logaritmo natural.

- Método de Wappaus

$$Pf = Pci * \frac{(200 + i * (Tf - Tci))}{(200 - i * (Tf - Tci))} \quad (6)$$

Donde:

i: tasa de crecimiento en %, donde se obtendrá con la siguiente ecuación:

$$i = \frac{200 * (Puc - Pci)}{(Tuc - Tci) * (Pci + Puc)} \quad (7)$$

Este método se utilizará solo cuando se cumpla la siguiente condición:

$$i * (Tf - Tci) < 200 \quad (8)$$

- Población flotante

El municipio de Soatá tiene una importancia comercial ya que siendo la provincia del norte tiene intercambio de diferentes productos con municipios a su alrededor. Por otra parte, el municipio cuenta con un mirador hacia el Cañón del Chicamocha lo que resulta ser un atractivo turístico para personas de diferentes zonas del país.

En caso de que no existan registros históricos que representen la población flotante, se deberá realizar una metodología especial planteada por el diseñador y de común acuerdo con el contratante (C. y. Ministerio de Vivienda 2017). Para el presente diseño se adoptará como factor de proyección un valor de 3% siguiendo las consideraciones que se tomaron en el documento: Diagnóstico Funcional Al Sistema De Alcantarillado Del Municipio De Soatá Boyacá, trabajo de tesis presentado en el primer semestre del año 2018.

7.2.3 Dotación neta (dneta)

La dotación neta se obtendrá de acuerdo con la información de históricos de consumo del municipio de acuerdo con lo indicado en el Artículo 43 de la Resolución 0330 de 2017. Teniendo en cuenta que el municipio de Soatá no tiene datos históricos, se puede determinar la dotación neta de acuerdo con la altura sobre el nivel del mar del municipio obteniendo la dotación de la TABLA. 2.

TABLA. 2 *Dotación Neta Máxima por altura sobre el nivel del mar*

Altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida.	Dotación neta máxima (L/HAB*DIA)
>2000 m.s.n.m	120
1000 – 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Fuente: Resolución 0330 de 2017/ Tabla 1.

Teniendo en cuenta que el municipio de Soatá se ubica aproximadamente a los 1950 m.s.n.m, la dotación neta para el presente diseño corresponde a 130 l/hab*día.

7.2.4 Calculo de caudales del sistema

Para determinar los caudales del sistema se seguirán los procedimientos indicados en la Resolución 0330 de 2017 y los textos bibliográficos de consulta que se especifiquen.

- Aguas residuales domesticas (QD)

Debido a que el municipio no cuenta con una proyección de demanda de agua potable, se determinara el caudal de aguas residuales domesticas mediante la ecuación 9.

$$QD = \frac{CR * P * dneta}{86400} \quad (9)$$

Donde:

CR: coeficiente de retorno, ya que no hay datos de campo se asume como 0.85.

P: población proyectada para el periodo de diseño.

Las contribuciones de caudales por aguas comerciales, industriales e institucionales deberán analizarse particularmente, por lo tanto, se consultarán estos caudales a los encargados del sistema de alcantarillado del municipio de Soatá, en este caso la empresa EMPOSOATÁ.

- Caudal medio diario (QMD)

Se determinará por medio de la ecuación 10.

$$QMD = QD + QC + QI + QIN \quad (10)$$

Donde:

Qc: caudal por aguas residuales comerciales, por norma se asume 0.4 L/s*Ha. Se deberá multiplicar este valor por las áreas aferentes al sistema de alcantarillado, mediante los cálculos realizados se obtuvo como valor de áreas aferentes 0.79 Ha.

Q_{IN}: caudal por aguas residuales institucionales, por norma se asume 0.4 L/s*Ha. Se

deberá multiplicar este valor por las áreas aferentes al sistema de alcantarillado, mediante los cálculos realizados se obtuvo como valor de áreas aferentes 7.48 Ha.

- Caudal máximo horario (Q_{MH})

Se determinan con los valores obtenidos de Q_{MD} y mediante la ecuación 11.

$$Q_{MH} = F * Q_{MD} \quad (11)$$

Donde:

F: factor de mayoración que se obtiene mediante la ecuación 12.

$$F = \frac{3.70}{Q_{MD}^{0.0733}} \quad (12)$$

- Caudal de infiltración (Q_{INF})

De acuerdo con las condiciones del terreno se podrá utilizar un valor entre 0.1 y 0.3 L/s*ha; por la visita realizada el 07 de diciembre de 2017 se identificó que el suelo es poroso y por tanto de baja permeabilidad, la topografía consiste en una gran área con pendientes medias por lo tanto el valor a asumir como caudal de infiltración es de $Q_{INF} = 0.1$ L/s*ha. Se deberá multiplicar este valor por las áreas aferentes al sistema de alcantarillado, mediante los cálculos realizados se obtuvo como valor de áreas aferentes 53.97 Ha.

- Caudal por conexiones erradas (Q_{CE})

Deberá ser determinado mediante datos históricos del lugar de estudio o en su defecto tomar como valor de caudal por conexiones erradas $Q_{CE} = 0.1$ L/ s*ha. Se deberá multiplicar este valor por las áreas aferentes al sistema de alcantarillado, mediante los cálculos realizados se obtuvo como valor de áreas aferentes 53.97 Ha.

- Caudal de diseño (Q_{DT})

Sera determinado mediante la ecuación 13, el resultado de este deberá ser un caudal no menor a 1.5 L/s, en caso de obtener un valor inferior al mencionado se deberá tomar como Q_{DT} el valor 1.5 L/s.

$$Q_{DT} = Q_{MH} + Q_{IN} + Q_{CE} \quad (13)$$

- Caudal por aguas lluvias

Se deberán estimar por medio del método racional ya que el área es menor a 80 ha. De acuerdo con el Artículo 135 se obtendrá el periodo de retorno por medio de la TABLA. 3.

TABLA. 3 *Periodos de retorno*

Características del área de drenaje	Periodo de retorno (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 hectáreas.	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 hectáreas.	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 hectáreas.	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores de 10 hectáreas.	10
Canales abiertos que drenan áreas menores a 1000 hectáreas.	50
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas.	100
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 hectáreas.	100

Fuente: Resolución 0330 de 2017/ Tabla 16.

La intensidad de la lluvia será determinada mediante las curvas IDF de la zona de estudio, se deberá determinar mediante la información existente que se disponga.

El caudal pluvial (Qall) será calculado mediante la ecuación 14.

$$Q_{all} = 2.78 * C * i * A \quad (14)$$

Donde:

C: coeficiente de escorrentía, determinado en 0.75 por las condiciones del terreno.

i: intensidad de la lluvia de diseño (mm/h).

A: área de la cuenca (Ha)

Siendo la intensidad calculada mediante la ecuación.

$$i = \frac{k * Tr^m}{d^n} \quad (15)$$

Donde:

k: correlación lineal múltiple.

Tr: periodo de retorno (años).

d: duración de la precipitación (min).

m: correlación lineal múltiple.

n: correlación lineal múltiple.

7.2.5 Aliviadero para la demasía por aguas lluvias

Se diseñará un aliviadero que será un elemento complementario a los procesos centralizados. Este elemento tendrá como función transportar la demasía de agua que ingrese a los procesos de tratamiento y mantendrá un caudal óptimo en la PTAR propuesta. Se diseñará un aliviadero frontal compuesto de un muro bajo de forma transversal al flujo de entrada y una salida de desvío hacia el terreno natural, este muro permitirá conservar el caudal de diseño de los procesos de tratamiento y evacuar los incrementos de los caudales en periodos lluviosos, se diseñará a partir de las siguientes ecuaciones:

$$Qv = C * L * H^{\frac{3}{2}} \quad (16)$$

Donde:

Qv: caudal sobre el vertedero (m^3/s).

C: coeficiente de descarga $C=1.7$.

L: longitud del vertedero (m).

H: cabeza de energía del vertedero (m).

7.2.6 Tratamientos Centralizados

7.2.6.1 Distancias mínimas para la localización de sistemas de tratamiento de aguas residuales centralizadas.

Se deberán considerar las distancias de acuerdo con la TABLA. 4.

TABLA. 4 *Distancias para localización de sistemas de tratamiento*

Tecnología	Con Respecto a	Distancia (m)
PTAR	Fuentes de agua para consumo humano diferente a la descarga.	50
PTAR con reactor aeróbico y aireación difusa	Centros poblados	75
PTAR con reactor aeróbico y aireación superficial (aerosoles)	Centros poblados	100
PTAR con reactor anaerobio	Centros poblados	200
PTAR	Plantas potabilizadoras y tanques de agua	150
Lagunas anaerobias	Centros poblados	500
Lagunas facultativas	Centros poblados	200
Lagunas aireadas	Centros poblados	100
Filtros percoladores de baja tasa (problemas con moscas)	Centros poblados	200

Tecnología	Con Respecto a	Distancia (m)
Filtros percoladores de media y alta tasa	Centros poblados	100

Fuente: Resolución 0330 de 2017/ Tabla 28.

7.2.6.2 Requisitos mínimos de diseño para rejillas.

Deben ubicarse aguas arriba del sistema para que este obstruya el paso de sólidos de gran tamaño que puedan afectar el funcionamiento del sistema.

TABLA. 5 Clasificación de rejillas

Clasificación	Distancia entre si (cm)
Rejilla gruesa	4 - 10
Rejillas medias	2 - 4
Rejillas finas	2 - 1

Fuente: Resolución 0330 de 2017/ Artículo 186.

La velocidad máxima de aproximación debe ser de 1,2 m/s para un caudal máximo de y mínimo de 0,3 m/s, la limpieza de las rejillas puede ser manual o mecánica.

El diseño de la rejilla estará determinado mediante las siguientes ecuaciones:

$$Arejillas = \frac{Q}{V_{aprox.} * H} \quad (17)$$

Perdida de la carga:

$$h = \beta * \left(\frac{W}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * hv * \sin \theta \quad (18)$$

Donde:

β : Factor de forma

w: Ancho de la sección barras

b: Separación entre barras

α : Angulo rejilla y horizontal

hv: Altura flujo aproximación, calculada mediante la siguiente ecuación:

$$hv = \frac{V_{aprox.}^2}{2 * g} \quad (19)$$

7.2.6.3 Requisitos mínimos de diseño para sedimentadores primarios (desarenador).

Este tipo de sedimentadores se utilizan previamente como rector biológico de lodos activados con edades inferiores a 15 días. Cuando estos sedimentadores son sin barrelos la pendiente recomendada esta entre 45° y 65° para caudales hasta de 6 l/s, para caudales mayores de 6 l/s será necesaria la implementación de barrelos con una pendiente recomendadas de 5 a 10% en sedimentadores rectangulares y circulares 1%. Debe diseñarse un tanque para caudal máximo horario esperado, se deberán seleccionar la mayor de las áreas calculadas con las condiciones presentes en el ítem 3 del Artículo 189 de la Resolución 0330 de 2017, deberá preverse la construcción de más de un sedimentador en caudales medios de diseño iguales o superiores a 100 l/s.

Se diseñará a partir de las siguientes ecuaciones:

$$H = \frac{3Q}{2A} \quad (20)$$

La altura (H) se obtendrá mediante el producto del caudal (Q) sobre el área (A), cada uno afectado por un valor de mayoración.

La velocidad en la sección de control (v_c) se obtendrá mediante el análisis de la altura de la velocidad (hv).

$$hv = \frac{v^2}{2g} \quad (21)$$

$$v_c = \sqrt{2g * hv} \quad (22)$$

La longitud del desarenador (L_d) y el tiempo de retención (T) se determinarán mediante las siguientes ecuaciones:

$$L_d = \frac{H * v}{v_s} \quad (23)$$

$$T = \frac{L_d + (L_d * 0.3)}{v * 60} \quad (24)$$

7.2.6.4 Requisitos mínimos para diseño de reactores UASB

Denominado UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) por sus siglas en inglés o en español RAFA (Reactor Anaeróbico De Flujo Ascendente), el agua residual deberá entrar a un reactor por el fondo y fluir hacia la parte superior, se debe garantizar una velocidad ascendente uniforme entre 0,8 y 1,0 m/h TABLA. 6, la profundidad deberá estar entre 4,5 y 6,0 m. Se deben tomar los tiempos de retención de la TABLA. 7.

TABLA. 6 *Velocidades de flujo ascendente para el diseño de reactores UASB.*

Caudal Influyente	Velocidad Ascendente (m/h)
Caudal medio	0,5 – 0,7
Caudal máximo	0,9 – 1,1
Caudal pico temporal (Caudales pico entre 2 y 4 horas)	<1,5

Fuente: Resolución 0330 de 2017/ Tabla 32.

TABLA. 7 *Tiempo de retención hidráulica para reactores UASB.*

Temperatura del agua residual (°C)	Tiempo de retención hidráulica (horas)
16 a 19	10 – 14
20 a 26	6 – 9
>26	>6

Fuente: Resolución 0330 de 2017/ Tabla 31.

Se deben considerar los rangos para la carga orgánica y el área de influencia de distribución de acuerdo con el lodo formado, se deberá consultar la Tabla 33 de la Resolución 0330 de 2017.

Se determinará el área superficial del elemento de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$A = \frac{V}{h} \quad (25)$$

La longitud del elemento será la raíz cuadrada del área superficial hallada. El volumen se calculará multiplicando las dimensiones de ancho, largo y alto del elemento. La velocidad ascendente se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$va = \frac{Q}{A} = \frac{h}{TRH} \quad (26)$$

El diseño del GLS (Gas Líquido Solido) ubicado en la parte alta del reactor y cuya función consiste en la captación de los gases producto de los procesos en el tanque, se calculará mediante el siguiente procedimiento:

Área basal (Aa):

$$Aa = \frac{Q}{va_{GLS}} \quad (27)$$

Donde:

vaGLS: velocidad ascendente en el GLS en m/h.

El área del GLS (AGLS) será la resta del área de reactor y el área de apertura, mediante la ecuación que se indica a continuación:

$$AGLS = A_{reactor} - A_{apertura}$$

7.2.6.5 Requisitos mínimos de diseño para procesos de lodos activados.

Pueden instalarse después del tratamiento preliminar o después de un sedimentador primario. Se deberán seguir los parámetros de la TABLA. 8.

TABLA. 8 *Parámetros de lodos activados.*

Proceso	F/M (kgDBO/kgML VSS.d)	LV (kgDBO/m ³ .d)	td (h)	Θ_c (d)	XT (SSV)
Convencional	0,2 – 0,4	0,3 – 0,7	4 – 8	3 – 15	1000 – 3000
Completamente mezclado	0,2 – 0,6	0,3 – 1,6	3 – 5	3 – 15	1500 – 4000
Aireación escalonada	0,2 – 0,4	0,7 – 1,0	3 – 5	3 – 15	1500 – 4000
Alta tasa	1,5 – 2,0	1,2 – 2,4	1,5 – 3,0	0,5 – 2,0	200 – 1000
Estabilizador por contacto: Contacto estabilización	0,2 – 0,6 N/A	1,0 – 1,3	0,5 – 1,0 2,0 – 4,0	5 – 10 N/A	1000 – 3000 6000 – 10000
Aireación extendida	0,04 – 0,10	0,1 – 0,3	20 – 30	20 – 40	2000 – 5000
Zanjón de oxidación	0,04 – 0,10	0,1 – 0,3	15 – 30	15 – 30	3000 – 5000
Reactores secuenciales por tandas (SBR)	0,04 – 0,10	0,1 – 0,3	15 – 40	10 – 30	2000 – 5000
Oxígeno puro	0,5 – 1,0	1,3 – 3,2	1 - 3	1 - 4	2000 – 5000

Fuente: Resolución 0330 de 2017/ Tabla 36.

Donde:

F/M: relación alimento/microorganismo

LV: carga volumétrica.

td: tiempo de retención.

Θ_c : edad de lodos.

XT: solidos suspendidos volátiles en el reactor.

En condiciones tropicales, como pasa en Colombia se deberán diseñar con los valores más altos de los parámetros F/M y LV. Para PTAR diseñadas para caudales medios mayores a 100 l/s se llevarán a cabo estudios-piloto para verificar los parámetros. Para el presente diseño se calculará mediante las siguientes ecuaciones:

Se determinarán el DBO soluble efluente (S_e), la biomasa del reactor (XV), el volumen del reactor (V) mediante las ecuaciones propuestas, las dimensiones del elemento se calcularán a partir del volumen obtenido.

$$S_e = DBO - 0,63 * SS \quad (28)$$

$$XV = \frac{\theta_c * Y * Q * (S_o - S_e)}{1 + kd * \theta_c} \quad (29)$$

$$V = \frac{XV}{SSV} \quad (30)$$

Donde:

SS: solidos suspendidos totales.

DBO: demando biológica de oxígeno.

θ_c : tiempo de concentración.

Y: tasa biológica de acuerdo con la temperatura.

S_o : carga del agua residual.

kd: tasa de crecimiento endógeno.

SSV: solidos suspendidos volátiles.

Se deben calcular la producción de lodos (P_x), los caudales de desecho (L_s), caudal de lodos de desecho (Q_w), caudal de circulación al sistema (Q_r), relación de recirculación (R) y tiempo de retención hidráulica (Θ).

$$P_x = \frac{Y * Q * (S_o - S)}{1 + kd * \theta_c} \quad (31)$$

$$Lodos\ secos = \frac{P_x}{X_r} \quad (32)$$

$$Q_w = \frac{Lodos\ secos}{ConcentracionST} \quad (33)$$

$$Q_r = \frac{Q * SSV}{X_r - SSV} \quad (34)$$

$$R = \frac{Qr}{Q} \quad (35)$$

$$\theta = \frac{V}{Q} \quad (36)$$

Donde:

Xr: corresponde a la porción volátil del licor o biomasa.

ConcentraciónST: corresponde al licor que se entregara al sedimentador.

Se determinan los niveles de oxígeno requerido en el sistema (DO), caudal de aire requerido (Qaire), volumen de aire requerido (Vaire), carga orgánica volumétrica (COV) y la relación alimento / microorganismo (F/M) con el fin de determinar el equipo que cumpla con las condiciones de diseño requeridas, Se realizaran los cálculos siguiendo las siguientes ecuaciones propuestas:

$$DO = 1,5 * Q(So - Se) - 1,42 * Xr * Qw \quad (37)$$

$$Qaire = \frac{DO}{0,232 * 1,20} \quad (38)$$

$$Vaire = \frac{\frac{Ef}{Qaire}}{So * Q} \quad (39)$$

$$COV = \frac{Q * So}{V} \quad (40)$$

$$\frac{F}{M} = \frac{Q * So}{V * SSV} \quad (41)$$

Donde:

Ef: es la eficiencia del sistema de aireación.

Se determinan las eficiencias de remoción de DBO total (E_t) y la remoción de DBO soluble (E_s) de acuerdo con las siguientes ecuaciones planteadas:

$$E = \frac{S_o - S}{S_o} \quad (42)$$

7.2.6.6 Requisitos mínimos para diseño de sedimentadores secundarios.

Se deberán considerar entre otros:

- Para sedimentadores sin barrelos, se recomiendan pendientes entre 45° y 65° en los fondos, se emplean para caudales de hasta 6 l/s.
- En caudales superiores a 6 l/s se requerirán barrelos con pendiente entre 5 a 10% para sedimentadores circulares y 1% para rectangulares.
- Se deberá diseñar el tanque para el caudal máximo horario. Para tanques rectangulares su longitud-ancho deberá estar entre 1,5:1 y 15:1, en tanques circulares se recomienda un diámetro entre 3 y 45 m con profundidad entre 2,5 y 4 m.
- Se deben tomar las mayores áreas calculadas considerando, que para caudal medio se utilizara entre 16 a 28 m³/m²dia, y para caudal pico entre 40 y 64 m³/m²dia.
- El t_d deberá estar entre 2 y 3,5 horas.
- Para caudales de más de 250 l/s se deberán considerar construir más de dos sedimentadores.

Se realizará el diseño siguiente los parámetros determinados en la normatividad vigente y mediante las ecuaciones propuestas.

$$Q_{ps} = (RQ_p + r) * Q \quad (43)$$

$$A_{ps} = \frac{Q}{C_s} \quad (44)$$

$$F_p = \frac{SSV * Q_{ps}}{1000} \quad (45)$$

$$Acs = \frac{Fp}{Cps} \quad (46)$$

Donde:

Qps: caudal pico afluente sedimentador secundario.

RQp: relación caudal pico / promedio.

r: recirculación.

Aps: área para sedimentador caudal pico.

CS: carga superficial

Fp: flujo pico de sólidos.

Acs: area requerida para la carga de sólidos.

Cps: carga pico de sólidos.

Las dimensiones del elemento serán calculadas de acuerdo con el área (Aps) obtenida.

7.2.6.7 Caracterización operativa en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Como mecanismo de control y seguimiento de operación, se deben realizar monitoreos de calidad del agua antes y después de las operaciones unitarias. Para caudal medio de diseño igual o mayor a 100 l/s se deben considerar los parámetros de la Tabla 45 de la Resolución 0330 del 2017, en PTAR de menor caudal las frecuencias serán semestrales.

7.3 Marco legal

Se deberá garantizar el cumplimiento de la normatividad vigente en el país en cuanto a los diseños para tratamiento de aguas residuales, los parámetros de aguas tratadas y demás aspectos generales; se procedió a consultar la normatividad aplicable, la cual se presenta en la TABLA. 9.

TABLA. 9 Normatividad colombiana para sistemas de agua potable y saneamiento básico.

NORMA	ENTIDAD QUE LA EXPIDE	OBJETO
Constitución Política de Colombia de 1991	Asamblea Nacional Constituyente	Ley máxima y suprema de Colombia
RAS 2000. Título A.	Ministerio de Desarrollo Económico	Aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico.
RAS 2000. Título D.	Ministerio de Desarrollo Económico	Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales.
Resolución 0330 de 2017	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS y se derogan las Resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.
Decreto 3930 de 2010	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.	Se reglamenta el uso de agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1287 de 2014	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.	Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.
Resolución 1207 de 2014	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Se adoptan las disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.
Resolución 631 de 2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

Tabla elaborada por el autor.

8. DISEÑO DE LA PTAR PROPUESTA

8.1 Población futura del municipio de Soatá

Para el diseño de la planta de tratamiento propuesta, se inicia con el cálculo de la población futura del municipio desarrollando los métodos indicados en el numeral 7.3.2.2.1; los Censos disponibles se encuentran en la TABLA. 10 con los cuales se obtuvieron los resultados poblacionales que se resumen en la TABLA. 11. Todos los cálculos relacionados con el diseño de la PTAR propuesta reposan en el ANEXO 2.

TABLA. 10 Información de Censos de población.

AÑO	POBLACIÓN
1938	2272
1951	3116
1964	4361
1973	4247
1985	7037
1993	7890
2005	5504

Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). 2018.

Como se puede identificar en la TABLA. 10 el municipio de Soatá ha venido presentando crecimientos poblacionales durante los censos realizados con excepción del 1993 donde la población del municipio llegó a su máximo con un total de 7890 habitantes, para el año 2005 se presentó una disminución de la población de alrededor de 32% equivalente a 2386 habitantes, se desconocen las razones de este fenómeno.

TABLA. 11 Población futura (PF) obtenida mediante los métodos propuestos.

Año	Aritmético	Geométrico	Exponencial	Wappaus	Promedio	P. Flotante	PF Total
2018	6131	6165	7085	6749	6666	200	6866
2019	6179	6215	7224	6861	6767	203	6970
2020	6228	6266	7365	6977	6869	206	7075
2021	6276	6317	7510	7095	6974	209	7183
2022	6324	6368	7657	7216	7080	212	7293
2023	6372	6420	7807	7341	7189	216	7405

Año	Aritmético	Geométrico	Exponencial	Wappaus	Promedio	P. Flotante	PF Total
2024	6421	6472	7960	7469	7300	219	7519
2025	6469	6525	8116	7600	7414	222	7636
2026	6517	6578	8275	7735	7529	226	7755
2027	6565	6631	8438	7873	7648	229	7877
2028	6613	6685	8603	8016	7768	233	8001
2029	6662	6740	8772	8163	7891	237	8128
2030	6710	6795	8944	8313	8017	241	8258
2031	6758	6850	9119	8469	8146	244	8390
2032	6806	6906	9298	8628	8277	248	8526
2033	6855	6962	9480	8793	8412	252	8664
2034	6903	7018	9666	8963	8549	256	8806
2035	6951	7075	9856	9138	8690	261	8950
2036	6999	7133	10049	9318	8833	265	9098
2037	7048	7191	10246	9505	8981	269	9250
2038	7096	7250	10447	9697	9131	274	9405
2039	7144	7309	10652	9896	9285	279	9564
2040	7192	7368	10861	10101	9443	283	9727
2041	7241	7428	11074	10314	9605	288	9893
2042	7289	7488	11291	10534	9771	293	10064
2043	7337	7549	11512	10762	9941	298	10239

Tabla elaborada por el autor.

Una vez determinadas las proyecciones de las poblaciones por diferentes métodos, se procedió a calcular el valor promedio para cada uno de los años y se obtuvo para el año 2043 un valor de 9941 habitantes. Se calculó la población flotante multiplicando el valor promedio de la población proyectada obtenido por 3%, mediante esta operación se obtuvo una población flotante para el año 2043 de 298 habitantes. Por lo tanto, para el diseño de la planta de tratamiento la población futura (PF) será la sumatoria de la población proyectada y la población flotante para el año 2043, el valor obtenido es 10.239 habitantes.

8.2 Cálculo del caudal de diseño

Con el valor obtenido de la proyección futura definida en el ítem anterior, se proceden a calcular los caudales de diseño de acuerdo con las ecuaciones propuestas en el ítem 7.2.2.3. En el sistema no se tienen en cuenta los caudales industriales debido a que el municipio no cuenta con industrias considerables y sus actividades se desarrollan

principalmente en actividades artesanales; entre los aportes por caudales comerciales se destacan una zona de hoteles y la Plaza de Mercado del municipio; los caudales institucionales están compuestos por la iglesia, el colegio de primaria y secundaria Juan José Rondón, el hospital regional, un coliseo y un estadio municipal, algunas zonas de conservación histórica y algunos parques públicos, la información se resume en la TABLA. 12.

TABLA. 12 Información para el cálculo de caudales.

Descripción	Símbolo	Valor
Coefficiente de Retorno	CR	0.85
Población proyectada	P	10.239 hab.
Dotación Neta	dneta	130 L/hab*día
Caudal Comercial	Q _C	0.3 L/s
Caudal Institucional	Q _{IN}	3.0 L/s
Caudal de Infiltración	Q _{INF}	5,4 L/s
Caudal conexiones erradas	Q _{CE}	5,4 L/s

Tabla elaborada por el autor.

Entre los caudales más representativos se encuentran los calculados por infiltración y conexiones erradas que se pueden considerar teniendo en cuenta las condiciones actuales del sistema de alcantarillado, como los materiales de que están compuestos y el desgaste que ha sufrido. El caudal comercial no es un gran aportante al sistema y el caudal institucional tiene un valor que puede ser verificado de acuerdo con la época en que sea medido, teniendo en cuenta las jornadas escolares, los días de iglesia y en particular los eventos que puedan realizarse en el municipio.

Con la información existente y las ecuaciones propuestas se obtuvieron los resultados que se indican en la TABLA. 13, donde puede verificarse que el caudal por aguas residuales en el municipio de Soatá tiene un valor calculado de QDT = 66.26 L/s.

TABLA. 13 Caudales calculados.

Descripción	Símbolo	Valor (L/s)
Caudal aguas residuales domesticas	Q _D	13.10
Caudal medio diario	Q _M	29.50
Factor de mayoración	F	1.88
Caudal máximo horario	Q _{MH}	55.47

Descripción	Símbolo	Valor (L/s)
Caudal de diseño	Q _{DT}	66.26

Tabla elaborada por el autor

8.3 Cálculo de aguas lluvias

Se recopilaron datos históricos de precipitaciones por estaciones cercanas al municipio de Soata, los datos se obtuvieron con el Instituto Colombiano de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales (IDEAM). Se buscaron las estaciones más cercanas al área de estudio, con el fin de realizar un cálculo más preciso y centrado en los eventos por precipitación que afectarían el municipio; se seleccionó la estación Cusagui ya que registraba datos históricos más completos con respecto a otras estaciones cercanas, esta cuenta con datos a partir del año 1975 y hasta el año 2017, es una estación que presentó interrupciones en algunos años pero que ha mantenido el registro de eventos a lo largo de 31 años sin interrupciones.

TABLA. 14 Estación seleccionada para el cálculo de caudal por lluvias

Estación	Código	Municipio	Tipo	Corriente
Cusagui	24035010	La Uvita	PM	Chicamocha

Tabla elaborada por el autor.

Los registros máximos de precipitaciones en 24 horas para los diferentes años registrados, se presentan en la TABLA. 15.

TABLA. 15 Serie de precipitaciones máximas en 24 horas

Año	P. máx. 24 h	Año	P. máx. 24 h
1975	25,5	2001	35,8
1976	31,0	2002	39,5
1977	47,4	2003	43,0
1986	65,0	2004	39,8
1987	46,5	2005	44,5
1988	30,0	2006	43,8
1989	55,2	2007	28,0

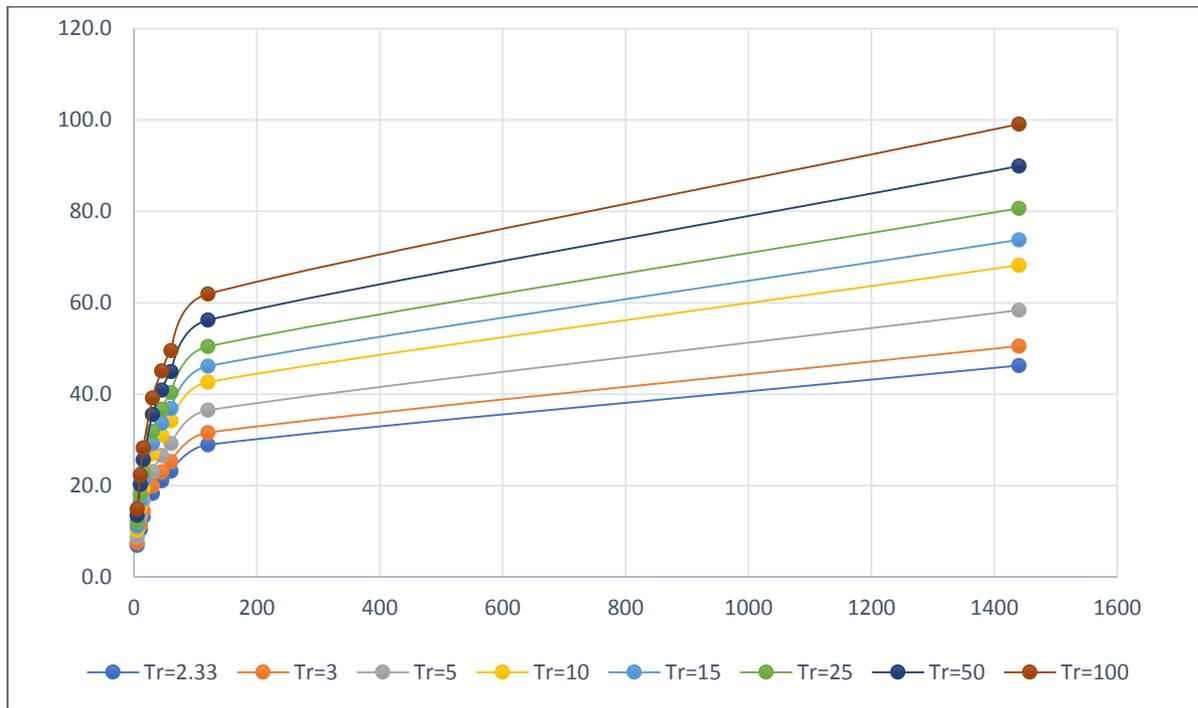
Año	P. máx. 24 h	Año	P. máx. 24 h
1990	37,5	2008	52,0
1991	64,5	2009	108,0
1992	42,0	2010	34,3
1993	40,5	2011	55,0
1994	43,0	2012	46,0
1995	41,5	2013	66,2
1996	38,0	2014	32,9
1997	50,0	2015	55,4
1998	43,0	2016	57,6
1999	40,0	2017	38,6
2000	40,9	-	-

Tabla elaborada por el autor.

De las ecuaciones 13 y 14 propuestas se obtuvo el valor de la intensidad y el caudal de aguas lluvias para la zona en estudio. Se asumió como valor por coeficiente de escorrentía 0.75 y se calcularon las áreas aferentes obteniendo una superficie de 53.97 ha.

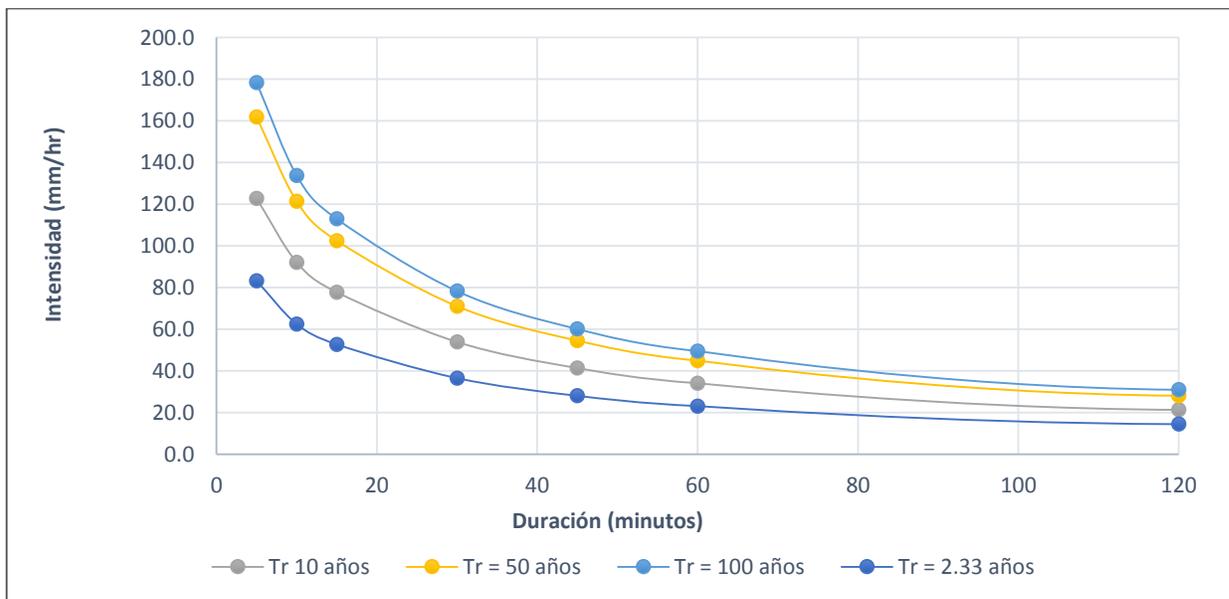
- $k = 289,445$
- $m = 0.201$
- $n = 0.671$
- $Tr = 10$ años
- $d = 15$ min
- **$i = 74.6$ mm/h**

GRAFICA. 1 *Curvas precipitación – duración – periodo de retorno*



Grafica elaborada por el autor.

GRAFICA. 2 *Curvas intensidad – duración – frecuencia.*



Grafica elaborada por el autor.

El caudal obtenido mediante el método racional es:

- $Q = 3021.23 \text{ l/s}$

8.4 Diseño de rejilla

La rejilla será la encargada de retener aquellos sólidos de gran tamaño como ramas o rocas que sean arrastradas por las aguas residuales; también será determinante para impedir el paso de elementos arrojados los flujos de agua como colchones, muebles, ropa, basura, etc. Este elemento deberá estar ubicado antes del aliviadero y por el canal que lo contiene serán captadas las aguas vertidas por los dos puntos de evacuación de aguas residuales combinadas que actualmente tiene el municipio.

Se realizaron los cálculos correspondientes para el diseño de la rejilla del sistema de tratamiento de acuerdo con las ecuaciones propuestas en el literal 7.2.4.2 del presente documento, Se asumió como rejilla gruesa con separación de 4 cm, velocidad máxima de aproximación de 0.3 m/s, caudal de diseño 0.066 m³/s, ángulo de inclinación de las barras de 45° y barra metálica No 8 o de 1". Los valores obtenidos se resumen en la TABLA. 16.

TABLA. 16 Resultados obtenidos para el diseño de rejilla de 1".

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
Altura rejilla	h	0.5	m
Base rejilla	b	0.5	m
Cantidad de vanos		13	vanos
Cantidad de varillas	bm	7	und
Perdida de Carga	H	0.004	m
Altura flujo de aproximación	hv	0.005	m
Longitud varillas	L	0.6	m

Tabla elaborada por el autor.

La rejilla obtenida es de dimensiones 0.5 m de base y 0.5 m de alto; debido a la inclinación de 45° a la cual será ubicada, la longitud de las varillas será de 0.6 m. Sera construida por barras de acero unidas entre si mediante soldadura. El canal de la rodea deberá estar construido en concreto reforzado y cuyo espesor de muros y placas no deberá ser menor

a 0.15 m. La rejilla será anclada a los muros del canal.

8.5 Diseño de aliviadero

Se calcularon las dimensiones del aliviadero de acuerdo con las ecuaciones propuestas, para una demasía en el caudal por aguas lluvias de 3021.23 l/s, se consideró como factor de dilución un factor de 5 de acuerdo con lo indicado en la normatividad, coeficiente de rugosidad del material $n=0.013$, tuberías asumidas de entrada y salida de 30" y 24" respectivamente, la TABLA. 17 resume los resultados obtenidos.

TABLA. 17 Resultados obtenidos para el diseño del aliviadero.

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
Coef. rugosidad	n	0,013	
Factor de dilución	D	5	
Caudal aguas lluvias	Qv	3,02	m ³ /s
Caudal aguas residuales	Qar	0,33	m ³ /s
Coef. arrastre	Cd	0,61	
Tubería entrada 30"	ϕ	0,76	m
Tubería salida 24"	ϕ	0,61	m
Distancia interna	hv	1,20	m
Borde Libre	b	0,30	m
Perdida de tubería	h1	0,23	m
Caudal del orificio	Qo	0,59	m ³ /s
Altura vertedero	H	0,61	m
Caudal excedente	Qv	2,43	m ³ /s
Longitud aliviadero	L	1,4	m
Altura total	At	1,0	m

Tabla elaborada por el autor.

Con los resultados obtenidos se pueden evidenciar las dimensiones del elemento encargado de captar y mantener el flujo óptimo para los procesos de tratamiento de las aguas residuales. El aliviadero tendrá una longitud transversal de 1.4 m, una altura total

de 1.0 m, se utilizará una tubería de entrada de 30" y una tubería de salida para los excedentes de 24", será construido en concreto reforzado y deberá tener una tapa de inspección y mantenimiento, la ubicación de este elemento deberá estar después de las rejillas y antes del desarenador.

8.6 Diseño de desarenador

Este elemento tiene como finalidad captar las aguas residuales y durante el paso de este fluido a lo largo del elemento por medio de la decantación, se eliminarán los sólidos flotantes como arenas, limos o arcillas.

El desarenador se calculó teniendo en cuenta las definiciones y las ecuaciones propuestas en el literal 7.2.4.3. El caudal de diseño es 0.066 m³/s, se asumió ancho b= 0.7m, la velocidad de flujo es 0.30 m/s de acuerdo con lo indicado en la normatividad, el diámetro de las partículas es 0.15 mm por tratarse de arenas finas, la velocidad de asentamiento es 1.15 m/min y longitud teórica adicional del 20%. Se obtuvieron los resultados que resume la TABLA. 18.

TABLA. 18 Resultados obtenidos para el desarenador propuesto.

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
Altura	H	0.5	m
Altura de velocidad	hv	0,16	m
Profundidad de la sección	dc	0,33	m
Velocidad sección de control	vc	1,79	m/s
Área de sección de control	a	0,04	m ²
Ancho sección de control	w	0,1	m
Diámetro de partículas	d	0,30	mm
Velocidad de asentamiento	vs	1,15	m/min
Longitud del desarenador	L	7,8	m
Longitud adicional teórica	La	1,6	m
Longitud total	LT	9,4	m
Tiempo de retención	T	0,5	min

Tabla elaborada por el autor.

Las dimensiones obtenidas de este elemento son de 9.4 m de longitud, altura de 0.5 m, base del canal de 0.1 m y ancho del elemento de 0.7 m. Se deben construir dos desarenadores de las dimensiones mencionadas, que estarán separados mediante un muro longitudinal con espesor de 0.1 m; este elemento será ubicado después del aliviadero y antes del reactor UASB. Se dispondrá de dos compuertas metálicas que permitan el cierre y paso de las aguas residuales, se implementará un sistema de cierre por compuertas debido a que una vez se requiera el mantenimiento de uno de los desarenadores, el otro deberá reemplazarlo. Este elemento será construido en concreto reforzado, el espesor de los muros no deberá ser inferior a 0.15 m.

8.7 Diseño reactor UASB

Este elemento tiene como función el espesamiento de los lodos mediante procesos anaeróbicos, en este elemento las aguas residuales son captadas y transformadas por medio de microorganismos presentes en el fluido. Durante este proceso las aguas generan biogás, nuevos microorganismos y en particular materias orgánicas degradadas (Pulido 2017).

Se calculó el dimensionamiento del reactor UASB de acuerdo con lo establecido en el literal 7.2.4.4, que determina los parámetros de la metodología a utilizar. El tiempo de retención hidráulica se establece como el periodo recomendable para que los microorganismos se desarrollen en un medio, ya que la temperatura del municipio es en promedio 20°C se asumirá un tiempo de retención de 6 horas, la velocidad ascendente se tomara como $v_a=0.5$ m/h. La TABLA. 19 resume los cálculos obtenidos para el reactor.

La TABLA. 20 resume el diseño del GLS que tiene como función principal contener el lodo anaeróbico y de esta manera mantener una elevada edad del lodo; este proceso se logra mediante la separación de los gases producidos en el elemento, de los líquidos y sólidos, de esta manera se mantienen las condiciones apropiadas de sedimentación.

TABLA. 19 Resultados obtenidos para el diseño de reactor UASB

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
Aporte de a residual	Q	66,26	l/s
Solidos suspendidos totales	SST	300,00	mg/l
Tiempo de retención hidráulica	TRH	6,00	h
Altura del reactor	h	4,50	mg/l

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
Volumen carga orgánica	VCOV	397,58	m ³
Área superficie horizontal	Ah	88,35	m ²
Velocidad ascendente	va	0,5	m/h
Longitud (si es rectangular)	L	9	m
Longitud (si es circular)	D	11	m
Volumen recalculado	VT	544,50	m ³
Velocidad ascendente	va	0,75	m/h
Tiempo de retención hidráulica	TRH	8,22	h

Tabla elaborada por el autor.

TABLA. 20 Resultados obtenidos para el diseño del GLS

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
Velocidad ascendente	va	2,00	m/h
Área basal	Aa	33,13	m ²
Área Gas - Líquido - Sólido	AGLS	66,87	m ²
Número de separadores	S	5,00	und
Ancho efectivo separadores	WGLS	1,22	m
Área tributaria de cada separador	AWGLS	13,37	m ²
Altura por ocupar por el GLS		0,30	%
Atura GLS	hGLS	1,35	m
Angulo paredes separador	p	60	°

Tabla elaborada por el autor.

El reactor UASB será de forma cónica, las dimensiones obtenidas son una altura de 4.5 m y un diámetro de 11.0 m. Este elemento será construido después del desarenador y por medio de un canal en su parte superior verterá el agua tratada al siguiente proceso que es el sistema de lodos activados. Este elemento será construido en concreto reforzado, el espesor de los muros no podrá ser inferior a 0.20 m. El fondo del elemento tendrá inclinaciones que permitirá la decantación del exceso de lodos y mediante una tubería de succión será retirado este compuesto.

El elemento GLS se construirá en la parte superior del UASB y este será el encargado de controlar la emisión de biogás por medio de una tubería que no deberá ser inferior a 4". Este elemento cubrirá en su totalidad al reactor, se deberá construir una cubierta metálica con cerchas reforzadas debido a la dimensión del elemento que tiene un diámetro de 11.0 m.

8.1 Diseño de sistema para el tratamiento por lodos activados

El diseño del sistema para el tratamiento de aguas por el proceso de lodos activados se realiza teniendo en cuenta las cargas orgánicas presentes en las aguas vertidas; por medio de la empresa EMPOSOATA E.S.P., se obtuvieron los resultados de laboratorio realizados por la empresa privada SERVIQUIMICOS S.A. y que reposan en el documento "Aforo, muestreo y caracterización fisicoquímica del vertimiento de agua residual" del año 2016. Con la información obtenida en el laboratorio mencionado y los parámetros de diseño establecidos en el literal 7.2.4.5.

TABLA. 21 Resultados obtenidos para el diseño por lodos activados

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
DBO soluble efluente	Se	58,46	mg / L
Biomasa del reactor	XV	1,55E+03	kg SSV
Volumen del reactor	V	442	m ³
Producción de lodo	Px	77	kg SSV / d
Sólidos de desecho	Ls	97	kg / d
Caudal de lodos de desecho	Qw	6	m ³ / d
Caudal de recirculación	Qr	2357	m ³ / d
Relación de recirculación	R	0,41	41%
Tiempo retención hidráulica	θ	1,9	h
Oxígeno requerido	DO	247	kgO ₂ / d
Caudal de aire requerido	Qaire	887	m ³ / d
Para una eficiencia de transferencia de oxígeno del equipo del 8%	Ef	11089	m ³ / d

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
Volumen de aire requerido	Vaire	19	m ³ / kg
Carga orgánica volumétrica	COV	1296	g DBO / m ³ d
Relación F/M	F/M	0,37	d-1
Eficiencia remoción DBO total	Et	0,80	90%
Eficiencia remoción DBO soluble	Es	0,42	71%
Altura	H	5,00	m
Área	A	88,34	
Longitud (si es rectangular)	L	10,0	m
Ancho (si es rectangular)	B	10,0	m
Diámetro (si es circular)	D	11,00	m

Tabla elaborada por el autor.

Los resultados obtenidos son una altura de 5.0 m y un diámetro de 11.0 m. Para este proceso se captará aire desde la superficie y será bombeado hacia el fondo del tanque, se deberán ubicar como mínimo 6 dispersores de aire distribuidos en el fondo del tanque. Se deberá construir en concreto reforzado y el espesor de los muros será como mínimo de 0.20 m. El sistema de bombeo de aire será en tubería con un diámetro mínimo de 1". El fondo del elemento tendrá inclinaciones que permitirá la decantación del exceso de lodos y mediante una tubería de succión será retirado este compuesto. Este elemento será construido después del reactor UASB y antes del sedimentador secundario.

8.2 Diseño de sedimentador secundario

El sedimentador secundario tiene como función recibir las aguas espesadas en el tanque de lodos activados para que en este pueda decantar el material floculado.

El diseño del sedimentador secundario donde se realizará el proceso de depuración de los sólidos provenientes de los lodos activados se obtendrá mediante las ecuaciones propuestas en el literal 7.2.4.6. La recopilación de los cálculos obtenidos se presenta en la TABLA 22.

TABLA. 22 Resultados obtenidos para sedimentador secundario

Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
Caudal de diseño	QDT	0,066	m ³ /s
	Q	5725,21	m ³ /d
Recirculación	r	0,20	20%
SSLM	SSV	3500,00	mg / L
Carga superficial	Cs	64,00	m / d
Carga superficial promedio	CSp	20,00	m / d
Carga pico de solidos	Cps	200,00	kg / d m ²
Profundidad	h	4,00	M
Carga máxima de rebose sobre vertedero	Rv	4,30	L / sm
Relación caudal pico / promedio	RQp	0,60	-
Caudal pico afluyente sedimentador secundario	Qps	4580	m ³ /d
Área para sedimentador caudal pico	Aps	72	m ²
Flujo pico de solidos	Fp	16031	kg / d
Área requerida para carga de solidos	Acs	80	m ²
Longitud del sedimentador	L	10	M
Ancho sedimentador	b	7	M
Volumen de agua del sedimentador	V	286	m ³
Carga de rebose sobre vertedero	CV	1,5	L / sm
Tiempo de retención	θ	1,2	H

Tabla elaborada por el autor.

Las dimensiones del sedimentador secundario son de altura 4.0 m, longitud de 10.0 m y ancho del elemento de 7.0 m. Se deberá construir en concreto reforzado, el espesor de los muros no deberá ser inferior a 0.20 m. El fondo del elemento tendrá dos pendientes que permitirá que los residuos sedimentados se desplacen hacia tuberías que podrán recircular hacia el tanque de lodos activados parte de esta biomasa y el exceso será retirado y llevado para una disposición final.

9. ANALISIS DE RESULTADOS Y RECOMENDACIONES

Una vez determinadas las dimensiones de los elementos encargados de cada uno de los procesos de tratamiento de aguas residuales, se obtuvo como área necesaria para la construcción de la PTAR propuesta aproximadamente 1100 m². Con los procesos centralizados y las áreas definidas para la caseta de operario, senderos y disposición de sólidos, se obtuvo un área de dimensiones de 30.0 m x 37.0 m aproximadamente. Con el resultado obtenido y comparando con el área de otros sistemas de tratamiento como, por ejemplo: tratamientos por zanjón de oxidación para una población de 12.000 habitantes (GALEANO y ROJAS 2016), se requirió un área de construcción de 4000 m² aproximadamente, mediante el proceso de lodos activados se logró reducir el área necesaria para la construcción de la PTAR en aproximadamente 2800 m². La planta propuesta será construida en su totalidad en concreto reforzado. El diseño arquitectónico estará a cargo de la alcaldía del municipio donde será fundamental un diseño que permita la interacción con el paisaje del municipio. Los planos de detalle de cada estructura de la PTAR propuesta pueden verificarse en el ANEXO 1.

FIGURA. 7 Distribución de la PTAR propuesta

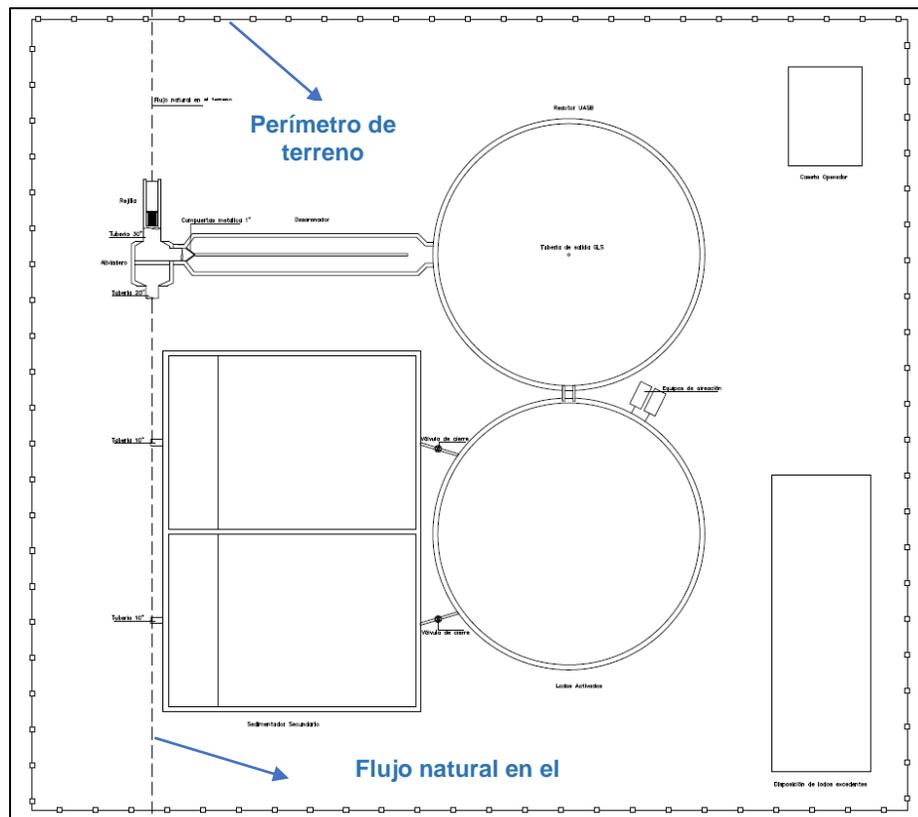


Figura elaborada por el autor.

Para el correcto funcionamiento de la PTAR es fundamental contar con equipos eficientes que garanticen el suministro de aire al tanque de lodos activados; de acuerdo con los cálculos obtenidos para el proceso de aireación extendida se requiere un equipo que suministre mínimo 880 m³/d de oxígeno al tanque de lodos. Se recomienda el uso de dos equipos de bombeo de aire en caso de que el equipo principal sufra daños o requiera mantenimiento.

FIGURA. 8 Ingreso de oxígeno al tanque de lodos activados



Figura obtenida de la página www.alianzaporelagua.org

Para una mayor eficiencia del proceso por lodos activados y un reusó de la biomasa obtenida por los diferentes procesos, se hará una recirculación del licor mezclado obtenido en el sedimentador secundario hacia el tanque de lodos activados, de este modo se obtendrá una biomasa con mayor contenido de microorganismos. Se deberá garantizar como mínimo una recirculación del 20% de los lodos generados.

Se pudo identificar que los dos vertimientos de aguas residuales combinadas presentes en el municipio se encuentran ubicados en diferentes puntos de este, uno se encuentra

a una altura de 1892 msnm y el otro se encuentra a 1857 msnm, están distanciados en aproximadamente 200.0 m; lo que genera escurrimiento de aguas residuales en diferentes zonas que están siendo afectadas por las cargas contaminantes de estas. Se recomienda al municipio la conexión de estos dos vertimientos por medio de canales o tuberías, para de este modo unificar el transporte de las aguas captadas y que estas sean dirigidas al sistema de tratamiento propuesto, minimizando las pérdidas o escurrimiento de estas aguas en los diferentes tramos.

La distribución de los elementos de la PTAR propuesta, están ubicados de acuerdo con la secuencia lógica del tratamiento de aguas residuales combinadas; se definieron espacios para disposición de materiales excedentes, residuos sólidos, basura, etc. y un espacio para la construcción de la caseta del operador, estos lugares deberán conservarse para mantener el orden y la correcta disposición de los elementos de mantenimiento y reparación en caso de requerirse. Se recomienda hacer un cerramiento con postes y malla metálica alrededor de los elementos de tratamiento para mantener aislada la manipulación o ingreso de personal no autorizado. Se deberán construir senderos internos para la movilización del personal de operación, estos senderos podrán ser construidos en pavimento flexible; se deberá garantizar la correcta señalización tanto horizontal como vertical. Se construirán donde sea necesario barandas alrededor de los elementos de tratamiento, se les deberá aplicar pintura anticorrosiva.

10. MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y CONTROL DE LA PTAR

El manual de operación, mantenimiento y control del sistema de tratamiento de aguas residuales en la población urbana del municipio de Soatá, Boyacá, en el cual se muestran los procedimientos esenciales para operar y mantener las unidades de tratamiento de aguas residuales; como documento técnico y como guía para la capacitación en operación y mantenimiento de plantas de tratamiento.

10.1 Etapas de tratamiento

La PTAR diseñada consta de los siguientes procesos:

- Estructuras de regulación de caudal.
- Tratamientos preliminares.
- Proceso de lodos activados.
- Manejo y tratamiento de lodos.

10.2 Arranque y puesta en marcha

Entre las acciones anteriores al llenado de la PTAR se recomienda las siguientes:

- Asimilar los planos de diseño y conservar una copia permanentemente en la planta.
- Analizar compromisos del ingeniero supervisor encargado y de los operadores.
- Disponer de todos los formatos donde se plasmarán los registros.
- Reunir información sobre la PTAR, incluyendo el instructivo de operación, catálogos de los equipos y otra bibliografía de interés que pueda ser apreciable en la justificación y solución de inconvenientes operativos.
- Reconocer detenidamente la planta de tratamiento y hacer una lista de herramientas usuales que pueden ser requeridas para reparaciones mecánicas y eléctricas, piezas de repuesto, grasa para lubricación, etc.
- Comprobar que los tanques, mecanismos, ductos y canales se encuentren cabalmente nivelados, limpios y libres de obstrucciones, los sistemas eléctricos (fuerza y tierras) y de control estén en perfectas condiciones de operación.
- Revisar con los operadores que los equipos mecánicos estén funcionando correctamente, bien lubricados y engrasados, que no presenten ruidos y vibraciones anormales.

- Efectuar pruebas hidrostáticas en todas las estructuras levantadas, especialmente en concreto para verificar que no existan fisuras, esto deberá hacerse de acuerdo con la normatividad vigente y de preferencia con agua limpia por si existe la necesidad de hacer reparaciones.
- Antes del llenado de cada estructura se deberá deponer de tanques, canales y otros conductos trapos, restos de madera, piedras y otros desperdicios de la construcción que puedan obstruir la planta.
- Abrir y cerrar las válvulas y inspeccionar que su operación sea posible y reglamentaria.
- Revisar que los vertederos estén bien nivelados.
- Revisar y preparar todas las medidas de seguridad dentro de la planta especialmente aquellos que tengan que ver con equipos eléctricos, manejo de químicos, barreras de protección, etc.
- Reunir todas las personas que le van a colaborar al supervisor de la planta durante el arranque, definir procedimientos y responsabilidades.
- Hacer un inventario del equipo de laboratorio y solicitar los elementos faltantes.
- Verifique que existan señales que indiquen la posición de las válvulas (abierta - cerrada).
- Vea que la línea de agua y los canales estén libres de escombros que puedan obstruir el paso de las aguas.
- Verificar que no haya material extraño en las guías de válvulas y compuertas que impidan que asiente perfectamente.
- Que las roscas de los vástagos estén lubricadas y que existan tuercas topes de la carrera de válvulas y compuertas para evitar que caigan.
- Examine el sistema completo siguiendo el flujo de agua desde el influente hasta la descarga al efluente.
- Retire los sólidos suspendidos en las rejillas de manera usual esto es necesario porque a medida que la basura se deposita en las rejillas, bloquean el canal de paso.
- Verificar el ejercicio de los desarenadores teniendo en cuenta el nivel de sedimentos para su respectivo mantenimiento. Si no se presentaron problemas en los pasos anteriores, proceder a cargar el sistema con agua residual. Abra y cierre las válvulas y compuertas y vea si son de fácil operación y acceso.

10.3 Arranque y puesta en marcha de lodos activados

Debido a que las aguas residuales domésticas presentan niveles de dilución, estas no contienen una cantidad de organismos aerobios o facultativos suficientes para conformar un cultivo o biomasa en la concentración capaz de abastecer a la determinada en los parámetros de diseño, se hace ineludible desarrollar una masa de microorganismos (lodo activado) y distribuirla y conservarla a lo largo y ancho del tanque de aireación o reactor.

Toda vez que los organismos se sustentan de los componentes orgánicos y aumenta el número, estos pasan del tanque de aireación al clarificador donde se separan por sedimentación para recircular la biomasa sedimentada al tanque de aireación.

10.3.1 Procedimiento para el llenado

El llenado del tanque de aireación se obtiene de dos formas, utilizando una población de microorganismos adecuada y suficiente en cantidad de lodos activados de otra planta, y por otro lado empezando con el vertimiento del sistema de alcantarillado así: una vez lleno el tanque de aireación se debe desviar el flujo de aguas residuales del afluente (hacer un bypass por ocho horas) y airear las aguas residuales durante este tiempo, manteniendo la concentración de oxígeno disuelto en mínimo 2 mg/l.

10.4 Monitoreo de la calidad del afluente y efluente

10.4.1 Generalidades

Es necesario que la planta de tratamiento siga una serie de parámetros, entre los controles ambientales, por lo menos, el monitoreo de la calidad del afluente y efluente, y así puedan detectarse rápidamente las fallas operacionales para poder tomar las medidas pertinentes. La persona encargada de recoger las muestras debe dar indagación acerca de las condiciones del lugar y la manera en que se lleva a cabo el muestreo.

El registro debe incluir una descripción sobre el aspecto del agua residual, su color, presencia de sólidos y material flotante, características olorosas. Se hace necesario medir la temperatura y el pH del agua in situ.

10.4.2 El muestreo

Se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones antes efectuar el muestreo tanto en el afluente como en el efluente. (APHA - AWWA - WPCF 2001)

- Debe evitarse todo tipo de contaminación secundaria de la muestra, ya sea debido al método empleado, a los recipientes de muestreo, etc.
- Generalmente bastará con refrigerar la muestra de inmediato y trasladarla lo más rápido posible al laboratorio. Generalmente de 1 a 2 litros de agua son suficientes para realizar los análisis convencionales del agua residual.

- Cuando se necesitan análisis especiales, por ejemplo, para determinar grasas y aceites, la persona que tome las muestras debe estar debidamente informada que el recipiente de almacenamiento debe ser en material de vidrio, boca ancha y de 500 a 1000 mililitros de capacidad.
- En todo caso el supervisor debe dar las indicaciones necesarias a la persona que va a recoger las muestras antes de que ésta inicie sus funciones.

10.4.3 Toma de la muestra

El muestreo de afluente y efluente es la única forma para establecer las eficiencias de remoción y el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

- El muestreo aleatorio, que consiste en la obtención de muestras individuales cada cierto tiempo, proporciona únicamente la composición del agua residual en el momento del muestreo. Se recomienda tomar una muestra aleatoria simple sólo cuando se espera un cambio muy lento en la composición del agua a ser analizada.
- El muestreo de acuerdo con el tiempo o en proporción al tiempo, que se conoce también como muestreo semicontinuo, consiste en la toma de muestras de volúmenes iguales de agua residual a intervalos específicos en un período determinado, por ejemplo, cada 15 o 30 minutos, cuya combinación y mezcla conforma la muestra compuesta. (APHA - AWWA - WPCF 2001)
- La técnica de muestreo de acuerdo con la caudal resulta especialmente adecuada para determinar cargas de contaminación, sobre todo cuando varían las cantidades y concentraciones del agua residual. Esta técnica exige conocer el volumen del efluente de agua residual por unidad de tiempo

Se debe realizar el monitoreo del proceso aerobio teniendo en cuenta parámetros importantes para verificar la eficiencia de la remoción en el proceso de lodos activados. Los parámetros que deben ser medidos se registran en la TABLA. 23.

TABLA. 23 *Parámetros de medición para monitoreo de proceso aerobio.*

Parámetro	Frecuencia	Observación
Observación del efluente	Diferentes horas del día	El efluente debe tener tendencia a color rojizo claro característico del aliviadero
Temperatura	Diario	

Parámetro	Frecuencia	Observación
pH	Diario a mañana y tarde	Debe mantenerse preferiblemente <8
Oxígeno disuelto	Diario	Con control inmediato si está por debajo de 2.0mg/L
DBO total y soluble	Una vez cada 3 meses	Muestra del efluente
DQO total y soluble	Una vez cada 3 meses	Muestra del efluente
Nitrógeno amoniacal	Una vez cada 3 meses	Muestra efluente clarificador
Sólidos suspendidos totales y volátiles en el licor mezclado	Una vez cada 3 meses	En el tanque de aireación
Índice de densidad de lodos	Dos veces por semana	En el tanque de aireación

Fuente: (HAMMER 2001)

10.5 Parámetros de control

Las estructuras que conforman todo el sistema de tratamiento por si solas no garantizan su efectivo funcionamiento, se hace necesario que el operario esté al tanto de cada uno de los procesos que se llevan a cabo y evalúe algunos parámetros claves que le permiten concluir si los procesos se están dando de manera eficiente o no. (APHA - AWWA - WPCF 2001) Los parámetros más utilizados para el control tanto aerobio como anaerobio son los siguientes:

- Oxígeno disuelto
- Sólidos suspendidos totales (SST)
- Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (SSVLC).
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- Nitrógeno amoniacal.
- Índice de densidad de lodos (IDL)
- Índice volumétrico de lodos (IVL).
- Tiempo de retención celular o de lodos (ϕ_e)
- Temperatura
- pH
- Medición de caudal.

10.6 Mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales

10.6.1 Mantenimiento preventivo

Es el mantenimiento que se realiza para tener en buen estado las instalaciones y equipo de la planta; asegurando su buen funcionamiento y prolongando su vida útil. Consiste en el cumplimiento de rutinas de trabajo que se efectúan con mayor o menor periodicidad para prevenir detrimentos de las estructuras. En la TABLA 24 y 25 se indican las diferentes actividades para el mantenimiento de estructuras de la PTAR.

TABLA. 24 *Mantenimiento manual a rejillas*

Actividad	Frecuencia	Requerimientos
Realizar la inspección al estado del elemento, con el fin de identificar posibles daños o fallas en la rejilla.	Diario	Operador
Retirar todos los elementos que puedan causar obstrucción en las rejillas	Semanal	Operador y herramientas
Mantenimiento y limpieza de los canales y rejillas	Mensual	Operador y herramientas

Tabla elaborada por el autor.

TABLA. 25 *Mantenimiento al desarenador*

Actividad	Frecuencia	Requerimientos
Inspección al estado de los desarenadores y correcto funcionamiento.	Diario	Operador
Control de los sólidos sedimentados o decantados.	Mensual	Operador
Lubricación y limpieza de compuertas de paso.	Semestral	Operador y materiales de lubricación
Retiro del exceso de sedimentos y arenas.	Semestral	Operario, herramienta menor

Tabla elaborada por el autor.

10.6.2 Actividades rutinarias

Con la dirección y supervisión de un ingeniero, el trabajo rutinario de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento debe ser realizado por un operador con cierto grado de escolaridad que le permita asimilar algunos conceptos fundamentales que rigen el tratamiento de aguas residuales. (CUERVO F 2003)

Entre las actividades rutinarias que debe realizar el operador están:

- Retirar la arena que se retiene en los desarenadores y hacerles mantenimiento en general.
- Remover las natas, espumas, grasas y aceites que se acumulen en la parte superior del tanque de aireación y clarificador secundario utilizando un cedazo. Estos materiales deben almacenarse y disponerse adecuadamente para evitar los malos olores producto de su descomposición.
- Acopiar las muestras del afluente y el efluente cuando sea necesario. Para ello debe seguir el procedimiento de muestra puntual o compuesta.
- Realizar la evacuación de lodos del clarificador secundario a los espesadores cada que se requiera.
- Realizar el lavado con agua limpia de los filtros a presión en cada turno.
- Controlar la recirculación de lodos desde el clarificador secundario al tanque de aireación.
- Controlar el nivel de los lodos en los clarificadores secundarios para que no sean arrastrados con el efluente.
- Realizar mediciones diarias de pH, temperatura, caudal, sólidos sedimentables en un cono Imhoff diariamente, con el fin de controlarlos en los niveles requeridos para el tratamiento.

10.6.3 Higiene

A sabiendas de que el operador está trabajando en una planta de tratamiento de aguas residuales, y que esta puede ser un foco patógeno. Es aconsejable ubicar en alguna zona visible una lista de instrucciones higiénicas que sirvan de constancia de que existe un riesgo real que puede ser prevenido.

Las medidas de seguridad que se enumeran a continuación han sido recomendadas por la Organización Mundial de la Salud para operadores de plantas de tratamiento de aguas residuales [W. H. O. 1987]:

- La planta debe contar siempre con disponibilidad de agua limpia, jabón y toallas. Es aconsejable utilizar toallas desechables de papel, para evitar que, debido a la necesidad de transporte para la limpieza de las toallas de tela, éstas permanezcan demasiado tiempo sin lavar.
- La planta debe contar con un botiquín en el que se incluya, como mínimo, esparadrapo, algodón, alcohol, una disolución detergente desinfectante, tijeras y pinzas.
- El operador debe disponer de guantes y botas de goma, casco de trabajo y overol.
- Todas las prendas utilizadas en la planta deben permanecer en ella al finalizar la jornada laboral.
- Siempre que se vaya a comer, a beber, o incluso a encender un cigarrillo, hay que lavarse las manos. Si se hace alguna comida en el recinto de la planta, hay que designar un área de ésta para este fin, y evitar en todo momento comer a la vez que se está efectuando alguna labor que pueda ocasionar el contacto de la comida con algún elemento que haya estado en contacto a su vez con aguas residuales o lodos.
- Si es posible, es preferible evitar las comidas en el interior del recinto.
- Todas las herramientas de trabajo deben limpiarse con agua limpia antes de ser guardadas después de su uso.
- Los cortes, arañazos y abrasiones que pueda sufrir el operador deben desinfectarse inmediatamente después de que se hayan producido.
- Si el operador debe también ocuparse del mantenimiento de equipos eléctricos, debe asegurarse de que sus manos, ropas y calzado estén secos. Así mismo, debe disponer de guantes y herramientas dotados de aislamiento eléctrico.
- El acceso a la planta debe mantenerse cerrado, incluso cuando el operador está trabajando en el recinto, ya que éste no puede estar pendiente todo el tiempo de posibles visitas, y existe un riesgo importante de accidentes, especialmente para los niños.
- Es importante recordar los riesgos higiénicos para los visitantes si no están suficientemente informados y tocan las estructuras y demás elementos de la planta que están en contacto con las aguas residuales.
- El operador debe vacunarse contra el tétano, así como otras posibles enfermedades que indiquen las autoridades de la salud. También debe someterse a un chequeo médico periódico.
- Antes de empezar su labor como operador, la persona seleccionada para este trabajo debe recibir instrucción en primeros auxilios.

En la TABLA. 26 se presentan las indicaciones en cuanto a los equipos de protección que deben ser utilizados por el personal que labora en la PTAR.

TABLA. 26 Equipos de protección que debe utilizar el personal que labora en la PTAR

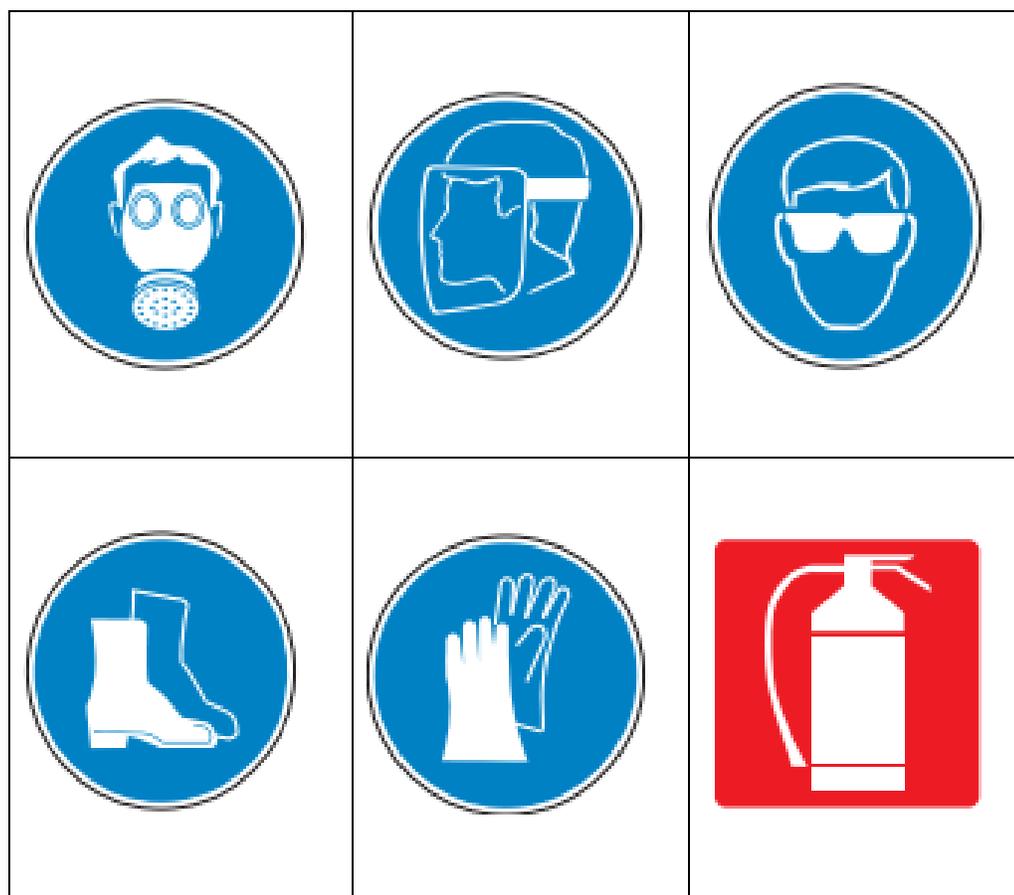


Tabla elaborada por el autor.

Además de las consideraciones anteriores se debe tener en cuenta aspectos importantes como el manejo de reactivos y químicos arriesgados para definir diferentes parámetros. Estos químicos deberán tener una etiqueta de identificación adecuada, la fecha de expedición y expiración y deben ser respaldados por una hoja de datos de material de seguridad. En la FIGURA. 9 se indica el almacenamiento idóneo de químicos en el laboratorio

FIGURA. 9 Almacenamiento adecuado de químicos en el laboratorio



Fuente: (COMISIÓN ESTATAL DEL AGUA DE JALISCO 2013)

Deberá desarrollarse por escrito un programa de comunicación de riesgos y usarse en todas las áreas de la planta que cuenten con químicos peligrosos. Este programa deberá estar disponible para los operadores y los representantes designados. En la FIGURA 10 se indica el programa de comunicación de riesgos a desarrollar en la planta

FIGURA. 10 Programa de comunicación de riesgos en la planta.



Fuente: (COMISIÓN ESTATAL DEL AGUA DE JALISCO 2013)

CONCLUSIONES

Como se mencionó en los Antecedentes los vertimientos existentes finalizan sobre la ladera del municipio y estas aguas se dirigen hacia zonas más bajas por escorrentía; esta ladera hace parte del paisaje de la zona, ya que visualmente es un componente que puede ser observado desde el mirador del municipio que es un atractivo turístico y que permite tener una panorámica del Cañón del Chicamocha. Teniendo en cuenta esta circunstancia se identificó la necesidad de implementar un sistema de tratamiento que ocupara la menor área posible para no afectar el paisaje natural y minimizar la producción de gases y olores derivados de los diferentes procesos de tratamiento, por lo tanto, la propuesta de diseño desarrollada es por el proceso de lodos activados por aireación extendida y un digester de lodos mediante la implementación de un reactor UASB.

Con la información secundaria existente (ALCALDIA DE SOATÁ 2013) se determinaron los caudales de aguas residuales por medio de los procedimientos indicados en la Resolución 0330 de 2017, el caudal de aguas lluvias se calculó mediante el método racional con información secundaria de estaciones pluviométricas en funcionamiento aportada por el IDEAM, obteniendo como resultado 66.26 l/s y 3021.23l/s respectivamente; se evidenció un aporte importante al sistema por aguas lluvias debido a la extensa área aferente al sistema de alcantarillado cuya superficie es 53.97 ha aproximadamente, por lo tanto se deberá considerar la separación del sistema de alcantarillado que en la actualidad es de tipo combinado. Se identificó que el régimen de precipitaciones de la zona es bimodal con dos máximos en los meses de marzo y diciembre, y un menor aporte en los meses de junio y julio, por lo tanto, las labores de mantenimiento y limpieza de las estructuras de la PTAR deberán estar orientadas a mantener en óptimas condiciones los elementos, pero de manera especial en las fechas de alta pluviosidad.

Se identificó la necesidad de implementar un elemento que permita el control y evacuación de las demasías producto de las aguas lluvias aportadas al sistema en los diferentes periodos del año, considerando que la planta de tratamiento debe mantener un caudal promedio para su correcto funcionamiento. Por lo tanto, se consideró el diseño de un aliviadero que sea ubicado teniendo en cuenta las pendientes de la zona de los vertimientos y el curso de los cuerpos de agua a los cuales se entregan, para no interferir el flujo natural del agua y que la PTAR propuesta no pierda su funcionalidad. En este caso el aliviadero será construido después de las rejillas que retendrán los sólidos de gran tamaño (ramas, rocas, residuos sólidos, etc) y será ubicado antes de los procesos en el desarenador.

Se determinó el cálculo de la población futura de acuerdo con la normatividad vigente y las metodologías establecidas, la proyección de la población se realizó para 25 años a partir del año 2018, se incluyó la proyección por población flotante que recibe el municipio; realizados los cálculos se obtuvo una población futura de 10.239 habitantes

que equivalen a un aumento de la población para el año 2043 del 150% aproximadamente, por lo tanto, se justifica el estudio de los caudales aportantes y la necesidad de implementar sistemas de tratamiento de las aguas residuales generadas tanto para las condiciones actuales como para las condiciones futuras.

Con la implementación del tratamiento por lodos activados se reduce el área requerida para la construcción de la PTAR en el municipio de Soatá en aproximadamente 70% en comparación con diseños de tratamientos para similares condiciones. El diseño propuesto consiste en una planta de tratamiento centralizada donde cada uno de los procesos estará conectado mediante cortos tramos de tuberías y canales. De esta manera se reducen considerablemente las pérdidas hidráulicas que puedan ser generadas por conexiones entre elementos; mantener un sistema centralizado permite aprovechar la mecánica de los fluidos y su desplazamiento entre procesos por medio de gravedad.

Por medio de los sistemas implementados la carga orgánica que contiene el agua residual combinada equivalente a 95 mg/L O₂ puede reducirse mediante los diferentes procesos a un total de 10 mg/L O₂, por lo que se puede evidenciar una eficiencia de remoción de la carga orgánica del 90 % aproximadamente. De este modo puede determinarse que la PTAR propuesta tiene una buena capacidad de descontaminación del fluido y que la carga orgánica entregada al efluente se encuentra entre los rangos especificados por la normativa vigente.

Por medio de la implementación de las actividades definidas en el manual de operación de la PTAR se puede garantizar el correcto funcionamiento de los diferentes elementos que componen cada uno de los procesos. Se deberá capacitar al personal encargado de la operación en la PTAR para garantizar que las actividades de inspección y control de la planta puedan realizarse sin depender de un solo funcionario.

Mediante el desarrollo de las metodologías indicadas en el Marco Teórico, se pudo desarrollar una propuesta de PTAR que cumple con los requisitos exigidos por la normatividad colombiana vigente, en este caso la Resolución 0330. De este modo con la combinación de diferentes procesos de tratamiento para la descontaminación de aguas residuales se logró disminuir el área de construcción requerida para la PTAR propuesta, y por lo tanto disminuir los costos al municipio por adquisición de terrenos.

BIBLIOGRAFÍA

- AAB, ACUEDUCTO AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ. *Proceso de Normalización Técnica. Normas Técnicas de Diseño y Construcción de sistema de alcantarillado pluvial y sanitario*. Bogotá, 2009.
- ACOSTA, Guillermo. *Manual de Hidráulica*. Ciudad de México, 2000.
- ALCALDIA DE SOATÁ, BOYACA. «Optimización de las redes de acueducto y alcantarillado para el casco urbano del municipio de Soatá.» Soatá, 2013.
- ANGULO, Luis. *Project 2013*. Lima, Perú: Macro EIRL, 2014.
- APHA - AWWA - WPCF. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 2001.
- AVALÚOS INMOBILIARIOS, Martinez Marin Oriol. «Avalúo comercial de inmuebles rurales.» Estudio, Soatá, Boyacá, 2016.
- CEDEX. *Guía técnica sobre redes de saneamiento y drenaje urbano*. España: Ministerio de Fomento. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones, 2009.
- COMISIÓN ESTATAL DEL AGUA DE JALISCO. *Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados*. Jalisco, México, 2013.
- CONGRESO, DE COLOMBIA. «Ley 9.» Bogotá, 24 de enero de 1979.
- CUERVO F, H. *Tratamiento de aguas residuales: Diseño, Operación y Control*. Medellín: Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental- Universidad de Antioquia,, 2003.
- EMPOSOATÁ. *Optimización de las redes de acueducto y alcantarillado para el casco urbano del municipio de Soatá*. Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado, Soatá, Boyacá: Municipio de Soatá, 2013.
- EPM, Empresas Públicas de Medellín. «Guía para el diseño Hidráulico de Redes de Alcantarillado.» www.epm.com.co. 2009.
https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/GuiaDisenoHidraulicoRedesAlcantarillado.pdf .
- EXTRA. «Soatá genera progreso en norte.» *Soatá genera progreso en norte*, 16 de mayo de 2016.
- EYZAGUIRRE, Carlos. *Programación de obras con Project*. Lima, Perú: Macro, 2014.
- GALEANO, Lady Johana, y Vivian Daniela ROJAS. «TESIS - PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL POR ZANJON DE OXIDACION PARA EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VELEZ - SANTANDER.» Bogotá: Repositorio U Católica de Colombia, noviembre de 2016.

- HAMMER, Mark J. *Water and Wastewater Technology*. United States: Prentice Hall, 2001.
- ICONTEC, INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. *Documentación: presentación, trabajos de grados y otros trabajos de investigación. NTC1486*. Bogotá: ICONTEC, 2008.
- ICONTEC, INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. *Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC4490*. Bogotá: ICONTEC, 2008.
- INVIAS, Instituto Nacional de Vías de Colombia. *Manual de Drenaje para carreteras*. Bogotá, 2009.
- LOPÉZ, Ricardo. *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillado. 2 ed.* Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2003.
- MARSILY, Ghislain De. *El agua*. Mexico: Siglo Veintiuno Editores S.A., 2003.
- Ministerio de Ambiente, y Desarrollo Sostenible. *Resolución 1207*. Bogotá, 2014.
- Ministerio de Vivienda, C. y. *Resolución 0330 RAS*. Bogotá, Colombia, 2017.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. *Decreto 3930*. Bogotá, 2010.
- . *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS 2000*. Bogotá, 2000.
- . *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS 2000 - Título A*. Bogotá, 2000.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. *Decreto 1287*. Bogotá, 2014.
- MOFFA, Peter E. *The Control and Treatment of Combined Sewer Overflows*. New York: VAN NOSTRAND REINHOLD, 2000.
- ONTORIA, Antonio. *Mapas Conceptuales*. Madrid, España: Narcea Ediciones, 2006.
- POTTER, Merle, WIGGERT David. *Mechanics of Fluids Fifth Edition*. Boston: Cengage Learning, 2017.
- PRESIDENCIA, DE LA REPUBLICA. «Decreto 3930 de 2010.» Bogotá, 25 de octubre de 2010.
- Pulido, Daurly Garcia. «Tratamiento anaerobio y diseño de reactores UASB.» *Tratamiento anaerobio y diseño de reactores UASB*. Ciudad de Mexico: UNAM, octubre de 2017.
- RESTREPO, Inés. *Avances en investigación y desarrollo en agua y saneamiento*. Cali, Colombia: Editorial Universidad del Valle, 2007.
- ROMERO, Jairo Alberto Rojas. *Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería,, 2000.
- UN, Universidad Nacional de Colombia. *Manual para la Inspección visual de estructuras de drenaje*. Bogotá: UN, 2006.