

2020

## Propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua residual del municipio de Tibú, Norte de Santander

Angie Fernanda Arias Monsalve  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria)



Part of the [Environmental Engineering Commons](#)

---

### Citación recomendada

Arias Monsalve, A. F. (2020). Propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua residual del municipio de Tibú, Norte de Santander. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/1877](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1877)

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

**Propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua residual del municipio  
de Tibú, Norte de Santander.**

**Angie Fernanda Arias Monsalve**

**Universidad de La Salle**

**Facultad de ingeniería**

**Programa de Ingeniería ambiental y sanitaria**

**Bogotá D.C.**

**Agosto de 2020**

**Propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua residual del municipio  
de Tibú, Norte de Santander.**

**Angie Fernanda Arias Monsalve**

**Proyecto de grado para optar por el título de ingeniera ambiental y sanitario**

**Director**

**Julio César Ramírez Rodríguez**

**Universidad de La Salle**

**Facultad de ingeniería**

**Programa de ingeniería Ambiental y Sanitaria**

**Bogotá D.C.**

**Agosto de 2020**

## **Agradecimientos**

En primer lugar, quiero agradecer al ingeniero Julio César Ramírez Rodríguez, director de este proyecto de grado: por creer en mí desde el principio, por aceptar ser parte de este proceso. Así mismo, agradezco su apoyo, paciencia, disposición, dedicación, profesionalismo y por supuesto, todo su aporte técnico y profesional.

A la Alcaldía Municipal de Tibú y a las Empresas Municipales de Tibú, por permitirme desarrollar este proyecto, por su confianza depositada en mí, por ser facilitadores con el uso de la información académica y técnica con el propósito de desarrollar este trabajo de grado.

Agradezco al ingeniero Guillermo Andrés Bastidas Sánchez por su disponibilidad, paciencia, colaboración, aportes técnicos y disposición en la revisión del proyecto.

Finalmente, a mi familia por todo el apoyo emocional brindado, por ser guía en cada uno de los pasos que contribuyeron a mi crecimiento personal y académico; gracias por su amor, paciencia, bondad, comprensión para conmigo a lo largo de todos estos años de mi carrera.

## **Dedicatoria**

Dedico este proyecto principalmente a Dios y a la vida, por haberme dado toda la sabiduría, paciencia, amor y resiliencia a lo largo de estos años de crecimiento personal y académico.

A mis padres y hermanos, Pedro Antonio Arias, Yolanda Monsalve Lizcano, Rafael Antonio Arias Monsalve y María Yolanda Arias Monsalve, porque sin su apoyo, todo su amor, sus consejos, su voz de aliento y su gran esfuerzo no hubiese sido posible llegar hasta aquí; este gran logro que se está culminando, es gracias a ustedes, por esa razón no me alcanzaría la vida para poder agradecerles por ello.

A cada una de las personas que hicieron posible la culminación de esta etapa tan importante en mi vida; especialmente a mis amigos por brindarme todo su apoyo emocional, por estar conmigo en las buenas y en las malas situaciones de mi vida personal y como estudiante, y finalmente, muchas gracias por acompañarme en esta carrera.

## Resumen

El presente documento tiene como objetivo proponer el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua residual del municipio de Tibú, Norte de Santander. Esta planta se encuentra conformada por sistema biológico, específicamente por una laguna facultativa, la cual recibe un caudal de 24,06 litros / segundo (L/s), que corresponden a una población de aproximadamente 14325 habitantes (DANE, 2015); este caudal se recibe por medio de una línea de alcantarillado combinado que acaba su recorrido en la planta de tratamiento. El caudal que llega entra directamente al tratamiento. La planta está cumpliendo su termino de vida útil, además carece de un sistema de tratamiento preliminar, lo cual provoca una disminución en la eficiencia del tratamiento, el cuidado de las unidades y la vida útil de la misma. El presente proyecto se enfoca en diseñar las posibles alternativas de mejoramiento, por medio de una matriz de alternativas donde se evalúan los términos económicos, técnicos y ambientales para cada propuesta. Con la finalidad de dar cumplimiento al estudio propuesto, se realizó un diagnostico técnico, operativo y administrativo del estado actual de la PTAR, en donde se realizaron caracterizaciones fisicoquímicas en la planta, aforo de caudal, pruebas hidráulicas, reconocimiento físico, determinación de los siguientes parámetros pH , temperatura, DBO<sub>5</sub>, DQO, conductividad eléctrica, solidos sedimentables, grasas y aceites, solidos suspendidos totales, Nitrógeno amoniacal, Fosforo total, y metales pesados. Estos parámetros fueron medidos en campo y en el laboratorio ambiental de la Universidad de la Salle por la autora. En donde se evidenció que dichos parámetros cumplen al ser comparados con la Resolución 0631 de 2015. Por ende, la propuesta de alternativas para la optimización de la planta, se encuentran fundamentadas en la implementación de un tratamiento preliminar, y la optimización de la eficiencia de remoción del sistema de tratamiento primario. Por lo cual se determinó que la mejor alternativa de

mejoramiento se basa en la implementación de un tratamiento preliminar que consta de cribado y canaleta Parshall y la mejora del sistema lagunas existente a través de la construcción de 5 mamparas para cada módulo de la laguna con el fin de disminuir los cortocircuitos causados en la planta por zonas muertas identificadas en la laguna. Esta alternativa cuenta con cálculos de diseño, recomendaciones, fundamentación técnica y bibliográfica. Además de un plano de diseño de la propuesta. Finalmente se dan las recomendaciones que tienen en cuenta el adecuado mantenimiento, operación y limpieza de la PTAR, para su óptimo funcionamiento.

Palabras clave: mejoramiento, matriz de alternativas, laguna facultativa, parámetros fisicoquímicos.

## **Abstract.**

The objective of this document is to propose the improvement of the wastewater treatment plant in the municipality of Tibú, Norte de Santander. This plant is made up of a biological system, specifically a facultative lagoon, which receives a flow of 24.06 liters / second (L / s), corresponding to a population of approximately 14,325 inhabitants (DANE, 2015); This flow is received through a combined sewer line that ends its journey at the treatment plant. The incoming flow enters the treatment directly. The plant is reaching its end of useful life, it also lacks a preliminary treatment system, which causes a decrease in the efficiency of the treatment, the care of the units and the useful life of the same. This project focuses on designing possible improvement alternatives, through a matrix of alternatives where the economic, technical and environmental terms are evaluated for each proposal. In order to comply with the proposed study, a technical, operational and administrative diagnosis of the current state of the WWTP was carried out, where physicochemical characterizations were carried out in the plant, flow rate, hydraulic tests, physical examination, determination of the following parameters pH, temperature, BOD5, COD, electrical conductivity, sedimentable solids, fats and oils, total suspended solids, ammonia nitrogen, total phosphorus, and heavy metals. These parameters were measured in the field and in the environmental laboratory of the Universidad de la Salle by the author. Where it was evidenced that these parameters comply when compared with Resolution 0631 of 2015. Therefore, the proposal of alternatives for the optimization of the plant are based on the implementation of a preliminary treatment, and the optimization of the efficiency of removal of the primary treatment system. Therefore, it was determined that the best improvement alternative is based on the implementation of a preliminary treatment that consists of screening and Parshall gutter and the improvement of the existing lagoon system through the



construction of 5 screens for each module of the lagoon with the In order to reduce the short circuits caused in the plant by dead zones identified in the lagoon. This alternative has design calculations, recommendations, technical and bibliographic foundation. In addition to a design plan of the proposal. Finally, the recommendations are given that take into account the proper maintenance, operation and cleaning of the WWTP, for its optimal operation

Key words: improvement, matrix of alternatives, optional gap, physicochemical parameters.

## Contenido

Simbología .....	xii
1. Objetivos .....	xvi
<b>1.1.1. Objetivo general</b> .....	xvi
<b>1.1.2. Objetivos específicos</b> .....	xvi
3. Generalidades.....	19
3.1. Información general de municipio de Tibú.....	19
<b>3.1.1. Ubicación y límites del municipio</b> .....	19
<b>3.1.2. Áreas de expansión</b> .....	20
<b>3.1.3. Usos del suelo</b> .....	21
<b>3.1.4. Población</b> .....	22
<b>3.1.5. Servicios públicos</b> .....	22
<b>3.1.6. Temperatura</b> .....	23
<b>3.1.7. Precipitación</b> .....	24
4. Marco teórico .....	26
<b>4.1. Generalidades del agua residual</b> .....	26
<b>4.2. Tratamiento de aguas residuales</b> .....	31
5. Marco legal .....	42
6. Metodología .....	43
<b>Comparación con parámetros de diseño de la laguna facultativa</b> .....	44

7.	Resultados.....	46
7.1.	FASE I. diagnóstico técnico, operativo y administrativo.....	46
7.1.1.	<b>Recopilación de información técnica de la PTAR.....</b>	<b>46</b>
7.1.3.	Inspección de la PTAR.....	53
7.1.4.	<b>Revisión y medición de caudal.....</b>	<b>56</b>
7.1.5.	<b>Muestreo.....</b>	<b>59</b>
7.1.6.	<b>Caracterizaciones fisicoquímicas.....</b>	<b>61</b>
7.1.8.	Comparación con parámetros de diseño de la laguna facultativa.....	67
7.2.1.	<b>Caudal de diseño.....</b>	<b>80</b>
7.2.2.	<b>Información básica de población.....</b>	<b>82</b>
7.2.3.	<b>Métodos para la estimación de la población futura.....</b>	<b>83</b>
7.2.4.	<b>Resultado de la estimación de la población futura.....</b>	<b>89</b>
7.2.5.	<b>. Población flotante.....</b>	<b>92</b>
7.2.6.	<b>Población de diseño.....</b>	<b>92</b>
7.2.7.	<b>Periodo de diseño.....</b>	<b>93</b>
7.2.8.1.	<b>Dotación neta máxima.....</b>	<b>93</b>
7.2.8.2.	<b>Cálculo de la dotación bruta.....</b>	<b>95</b>
7.2.9.	<b>Estimación real de las contribuciones de aguas residuales.....</b>	<b>95</b>
7.2.11.	<b>Planteamiento de alternativas.....</b>	<b>103</b>
7.2.12.	<b>Evaluación económica de inversión y costos operativos.....</b>	<b>118</b>

<b>7.2.13. Elaboración de criterios de evaluación.</b> .....	120
<b>7.2.14. Elaboración de matriz de alternativas.</b> .....	121
7.3. Dimensionamiento con base en la alternativa seleccionada. ....	126
8. Conclusiones .....	126
9. Recomendaciones .....	128
Bibliografía .....	129

## Lista de tablas

Tabla 1 Características físicas, químicas y biológicas de agua residual. ....	28
Tabla 2 factores que afectan el agua residual .....	30
Tabla 3 objetivos de tratamiento preliminar .....	32
Tabla 4 Tratamiento secundario.....	34
Tabla 5 Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas (ARD) de las actividades industriales, comerciales o de servicio; y de las aguas residuales (ARD y ARnD) de los prestadores .....	41
Tabla 6. Normatividad aplicable al proyecto .....	42
Tabla 7. Actividades primera fase .....	44
Tabla 8. Actividades segunda fase.....	45
Tabla 9. Desarrollo de la actividad 1, fase 1.....	46
Tabla 10. Tarifas del servicio de alcantarillado de Tibú – Agosto. 2019.....	52
Tabla 11. Caudal entrada en la laguna de la PTAR de Tibú, Norte de Santander.....	56
Tabla 12. Caudal entrada en la laguna de la PTAR de Tibú, Norte de Santander.....	57
Tabla 13. Caudal salida de la PTAR de Tibú, Norte de Santander.....	57
Tabla 14. Caudal salida de la PTAR de Tibú, Norte de Santander.....	58
Tabla 15. Medición parámetros in-situ, entrada a la laguna de la planta de tratamiento de agua residual. ....	61
Tabla 16. Medición parámetros in-situ, salida de la planta de tratamiento de agua residual.....	63
Tabla 17. Parámetros ex-situ medidos en laboratorio, Universidad de La Salle .....	65

Tabla 18. Rangos de eficiencia en lagunas facultativas.....	65
Tabla 19.Comparación de parámetros de diseño de laguna facultativa.....	67
Tabla 20.Comparación de parámetros con Resolución 0631/2015. Punto 1: entrada .....	71
Tabla 21.Puntos de muestreo agua residual, Tibú, año 2014.....	76
Tabla 22.Comparación de parámetros con WSP/WP año 2016 y 2014 para punto 1: entrada.....	76
Tabla 23.Comparación de parámetros con WSP/WP año 2016 para punto 2: salida. ....	77
Tabla 24. Identificación de falencias en la PTAR .....	78
Tabla 25. Caudales de diseño para el tratamiento de aguas residuales.....	81
Tabla 26. Factores pico para caudales de tratamiento de aguas residuales .....	81
Tabla 27.Población total conciliada municipio de Tibú censo año 2005 .....	82
Tabla 28.Datos censo DANE.....	82
Tabla 29. Proyecciones DANE-2006-2020 del caso urbano del municipio de Tibú.....	83
Tabla 30.Métodos e calculo permitidos según el Nivel de Complejidad del Sistema.....	84
Tabla 31.Censos realizados.....	85
Tabla 32.Método Aritmético, Periodos intercensales y tasas .....	86
Tabla 33.Método geométrico, periodos intercensales y tasas.....	88
Tabla 34.Métodos de cálculo de población.....	90
Tabla 35. Criterios para proyección de población. ....	91
Tabla 36.Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida. ....	94
Tabla 37.Contribución industrial. ....	97
Tabla 38.Contribución comercial.....	97

Tabla 39. Contribución Institucional mínima en zonas residenciales.....	98
Tabla 40. Aportes máximos por conexiones erradas con sistema pluvial .....	99
Tabla 41. Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales .....	100
Tabla 42. Coeficiente de pérdida para rejillas .....	106
Tabla 43. características generales de mamparas a implementar en la PTAR-Tibú.....	113
Tabla 44. Mantenimiento tuberías de distribución .....	114
Tabla 45. Mantenimiento a rejillas manuales. ....	115
Tabla 46. Mantenimiento de laguna de estabilización.....	116
Tabla 47. Evaluación económica .....	118
Tabla 48. Criterios de Evaluación.....	120
Tabla 49. Escala de preferencias.....	122
Tabla 50. Matriz AHP comparación de criterios .....	123
Tabla 51. Matriz normalizada de criterios de evaluación .....	124
Tabla 52. Matriz de selección del Modelo con ayuda del método AHP.....	125

## Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Usos del suelo, municipio de Tibú.....	21
Ilustración 2. Temperatura promedio mensual, estación campo seis.....	23
Ilustración 3 Precipitación media mensual de la estación Tibú .....	24
Ilustración 4Promedio mensual de brillo solar .....	25
Ilustración 5 lagunas facultativas.....	39
Ilustración 6 Canal de repartición de caudales PTAR Tibú.....	54
Ilustración 7.Caja de repartición del agua residual.....	54
Ilustración 8.. laguna PTAR Tibú.....	55
Ilustración 9. PFD tratamiento existente.....	56
Ilustración 10 Curva de caudal en entrada y salida PTAR. ....	58
Ilustración 11.Toma de muestra en la entrada de la laguna .....	60
Ilustración 12.Mezcla de muestras.....	60
Ilustración 13. Purga de muestras .....	61
Ilustración 14. Evidencia toma de parámetros, entrada laguna .....	62
Ilustración 15. Evidencia toma de parámetros, entrada laguna .....	62
Ilustración 16. Evidencia medición parámetros salida PTAR. ....	64
Ilustración 17. Evidencia medición parámetros salida PTAR. ....	64
Ilustración 18. Ubicación afluente y efluente PTAR.....	102
Ilustración 19. diferentes formas de rejillas .....	107
Ilustración 20. Diagrama de flujo alternativa I. ....	111
Ilustración 21. Diagrama flujo, alternativa II.....	117



## **Simbología**

- APH: proceso de análisis jerárquico
- COP: Pesos colombianos
- CORPONOR: Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental.
- DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- DBO<sub>5</sub>: demanda biológica de oxígeno
- DQO: demanda química de oxígeno
- EMTIBU: Empresa municipales de Tibú
- GyA: Grasas y Aceites
- IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- PTAR: Planta de Tratamiento de Agua Residual
- PPT: Partes Por Trillón
- SSED: sólidos sedimentables
- SST: sólidos suspendidos totales
- RAS: Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico
- UV: Ultravioleta
- POT: Plan de Ordenamiento Territorial
- WSP/PB: Parsons Brinckerrhoff

## Introducción

El tratamiento de aguas residuales debe ser fundamental para la disminución del impacto negativo al medio ambiente y la salud pública, ya que, si no se efectúa se causa un daño importante a las fuentes hídricas, además de provocar enfermedades en las personas y comunidades que entren en contacto con las aguas contaminadas. De aquí, nació la necesidad de implementar normas de vertimiento fundamentadas en límites máximos permisibles con el fin de realizar el vertimiento con cargas contaminantes que no impacten las fuentes hídricas. Dentro de estas normas, encontramos para Colombia, la Resolución 0631 de 2015 “por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”, norma fundamental para la ejecución de este proyecto.

El tratamiento de aguas residuales puede llevarse a cabo mediante varios métodos, ofreciendo como resultado diferentes secuencias de operaciones y procesos. Todos estos se basan en fenómenos físicos, químicos y biológicos. Sin embargo, casi todas las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas se conciben con base en procesos biológicos (Rolim, 2000). Las lagunas de estabilización son fundamentalmente reservorios artificiales, que comprenden una o varias series de lagunas anaerobias, facultativas y de maduración (Correa, 2008). Se hace referencia a lo anterior, ya que la planta de tratamiento de agua residual del municipio de Tibú funciona principalmente a través de un tratamiento biológico, específicamente un sistema lagunar facultativo. El cual tiene grandes ventajas como la optimización de costos, se considera como la tecnología de tratamiento de aguas residuales más costo-efectiva para la remoción de microorganismos patógenos, por medio de mecanismos de desinfección natural. Según (Correa,

2008) son efectivas para países tropicales y subtropicales debido a que la intensidad del brillo solar y la temperatura ambiente son factores importantes para la eficiencia de los procesos de degradación.

La implementación de este sistema lagunar en el municipio de Tibú se debe principalmente a su bajo costo de instalación, mantenimiento y operación de esta. La laguna fue construida aproximadamente hace 20 años, en donde a lo largo del tiempo se han venido implementando cambios y mejoras al sistema. La PTAR Tibú no cuenta con un seguimiento y control adecuado, y debido a que la laguna es próxima a cumplir su vida útil desde su construcción, se identificó la necesidad de investigar el estado actual de la planta, y así dar una estrategia o alternativa de optimización que permita mejorar la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales tratadas en esta PTAR.

Es por ello, que surge este proyecto, con el objetivo principal de proponer el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua residual para el municipio de Tibú, a través de una metodología fundamentada para llegar a dicha finalidad. Por ende, este documento se basa en la determinación del estado actual del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante la realización de un diagnóstico técnico con el objeto de reconocer las fallencias y prioridades del tratamiento. De aquí parte la identificación de los problemas presentes en la planta, como fallas en su construcción o diseño, fallas en operación, mantenimiento o falta de supervisión. Y así poder identificar y proponer alternativas para el mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residual del municipio teniendo en cuenta caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas, pruebas hidráulicas, eficiencias de unidades, y la corroboración de que la PTAR cumpla con la normatividad de vertimiento a cuerpos de agua después del tratamiento. Es así como se determina que la planta carece de un sistema de tratamiento preliminar, el cual es

fundamental para los procesos de tratamiento de aguas residuales, el cual tiene como objetivo principal cuidar y facilitar el tratamiento en las unidades de la planta, alargando su vida útil y mejorando su operación, Ya que la preserva de erosiones y taponamiento. El sistema preliminar incluye equipos como rejas, tamices, desarenadores y desengrasadores, los cuales se encargan de remover el material solido grueso, medio y fino en gran medida. Adicional a lo anterior, se identifica que la planta cumple con la normatividad de vertimiento establecida para Colombia, lo cual indica que la alternativa debe ir enfocada a mejorar ese % de remoción de carga contaminante y así seguir dando cumplimiento a la norma.

Una vez identificadas las causas y posibles soluciones. Se describe y desarrolla la alternativa optima de mejoramiento del sistema, teniendo en cuenta cálculos, sustentación teórica basada en bibliografía y el fundamento técnico con los conocimientos básicos y fundamentales en ingeniera ambiental y sanitaria, para finalmente realizar el diseño preliminar de las mejoras que se propongan para la Planta de Tratamiento de Agua Residual con base en los criterios económicos y ambientales del municipio de Tibú, Norte de Santander.

## **1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Proponer el mejoramiento de la planta de tratamiento de agua residual del municipio de Tibú, Norte de Santander.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Determinar el estado actual del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante la realización de un diagnóstico técnico con el objeto de reconocer las falencias y prioridades del tratamiento.
- Proponer alternativas para el mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residual del municipio teniendo en cuenta caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas, pruebas hidráulicas y eficiencias de las unidades.
- Realizar el diseño preliminar de las mejoras que se propongan para la Planta de Tratamiento de Agua Residual con base en los criterios económicos y ambientales del municipio de Tibú, Norte de Santander.

## **2. Descripción del problema.**

El municipio de Tibú ubicado en el departamento de Norte de Santander cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo biológico, la cual es una laguna facultativa; el área total en donde funciona la PTAR es de 2,2 ha; la laguna presenta un muro en la mitad para asegurar la repartición de flujo en la laguna y asegurar que trabaje como un reactor de mezcla completa. El sistema de tratamiento presenta dos canales de salida hacia un vallado que comunica posteriormente al río Tibú. El caudal que llega de agua residual al sistema de tratamiento es de aproximadamente 24 L/s, el cual es el resultado de los aportes del alcantarillado del sector sur; sin embargo, actualmente la laguna de oxidación no cuenta con un sistema de pretratamiento de agua residual; lo cual provoca una disminución en la vida útil de la laguna, así mismo se evidencia la presencia de procesos de colmatación y malos olores por los aportes de sólidos y grasas a la laguna.

También se evidenció la falta de monitoreo en la calidad del agua a la salida del sistema, por ende, el municipio no lleva un control de los valores máximos permisibles de los parámetros que exige la resolución 0631 de 2015 para realizar vertimientos; se carece del valor de eficiencia de este, adicionalmente no cuentan con un manual de operación y mantenimiento de la laguna.

En el año 2016 se realizó un estudio de Diagnóstico de los sistemas de Acueducto y Alcantarillado del casco urbano del municipio de Tibú, a través de una empresa consultora extranjera llamada Parson Brinckerhoff; en donde dicha empresa afirma que “algunos tramos del sistema de alcantarillado no cuentan con capacidad hidráulica suficiente para drenar los caudales que se generan en el municipio, algunos presentan falta de limpieza y otros presentan pendientes

negativas. También se detectaron 10 puntos de vertimientos puntuales de las descargas de aguas residuales municipales al río sin ningún tipo de tratamiento y dos descargas de aguas lluvias”.

Frente a esta situación algunas administraciones municipales pasadas han incluido proyectos para la mejora de la PTAR o la construcción de una nueva dentro de su Plan de Desarrollo; sin embargo, se ha evidenciado que los estudios previos arrojan cifras de inversión que superan la capacidad económica del municipio, por esta razón los contratos que se han ejecutado han sido solo para el mantenimiento de la PTAR.

Con base en lo anterior, se puede afirmar que la PTAR no funciona de manera adecuada, por lo cual este proyecto tiene como fin, lograr una propuesta con fundamentos técnicos que permita identificar y plantear posibles soluciones para la mejora del manejo de aguas residuales en Tibú, teniendo en cuenta la normatividad vigente para que la planta cumpla con los parámetros máximos permisibles establecidos en la Resolución 0631 de 2015. Así mismo, se espera que este proyecto para que sirva como insumo para proyectos de inversión en la PTAR de Tibú.

### 3. Generalidades

#### 3.1. Información general de municipio de Tibú

##### 3.1.1. Ubicación y límites del municipio

Según el Plan de Desarrollo Municipal de Tibú 2016-2019 (2016):

El municipio de Tibú está ubicado en la región nororiental del Departamento Norte de Santander, en la frontera con Venezuela y se encuentra rodeado por los Rios Catatumbo, San Miguel, Socuavo Norte, Chiquito, Sardinata, Nuevo Presidente, Tibú, Socuavo Sur y Rio de Oro, además de numerosas corrientes menores; sus coordenadas geográficas son: 72° 59' de longitud, y de 8° 39' de latitud norte, está ubicado aproximadamente a 116 km de la ciudad de Cúcuta. La extensión total del municipio es de 2,737 km. Dentro del departamento es la sexta ciudad más poblada después de Cúcuta, Ocaña, Villa del Rosario, Los Patios y Pamplona.

- **Límites del municipio:**

Norte..... República de Venezuela.

Sur..... Cúcuta, El Zulia y Sardinata.

Oriente..... República de Venezuela.

Occidente..... Hacarí, San Calixto, El Tarra y Teorama



*Ilustración 1 Ubicación del municipio de Tibú*



*Fuente: (Alcaldía de Tibú, 2000, págs. Alcaldía Municipal de Tibú, Norte de Santander” <http://www.tibunortedesantander.gov.co/>.)*

- **Perímetro Urbano**

“El casco urbano está conformado por 3.350 viviendas y 24 barrios; sin embargo, se ofrece un servicio de acueducto y alcantarillado de calidad regular y con una infraestructura bastante deteriorada.” (WSP/PB, 2016).

### **3.1.2. Áreas de expansión**

Tal y como dice el PBOT vigente del municipio de Tibú (año 2000-2011) “Corresponde a la porción del territorio que se habilitará para el uso urbano durante la vigencia del Plan Básico de

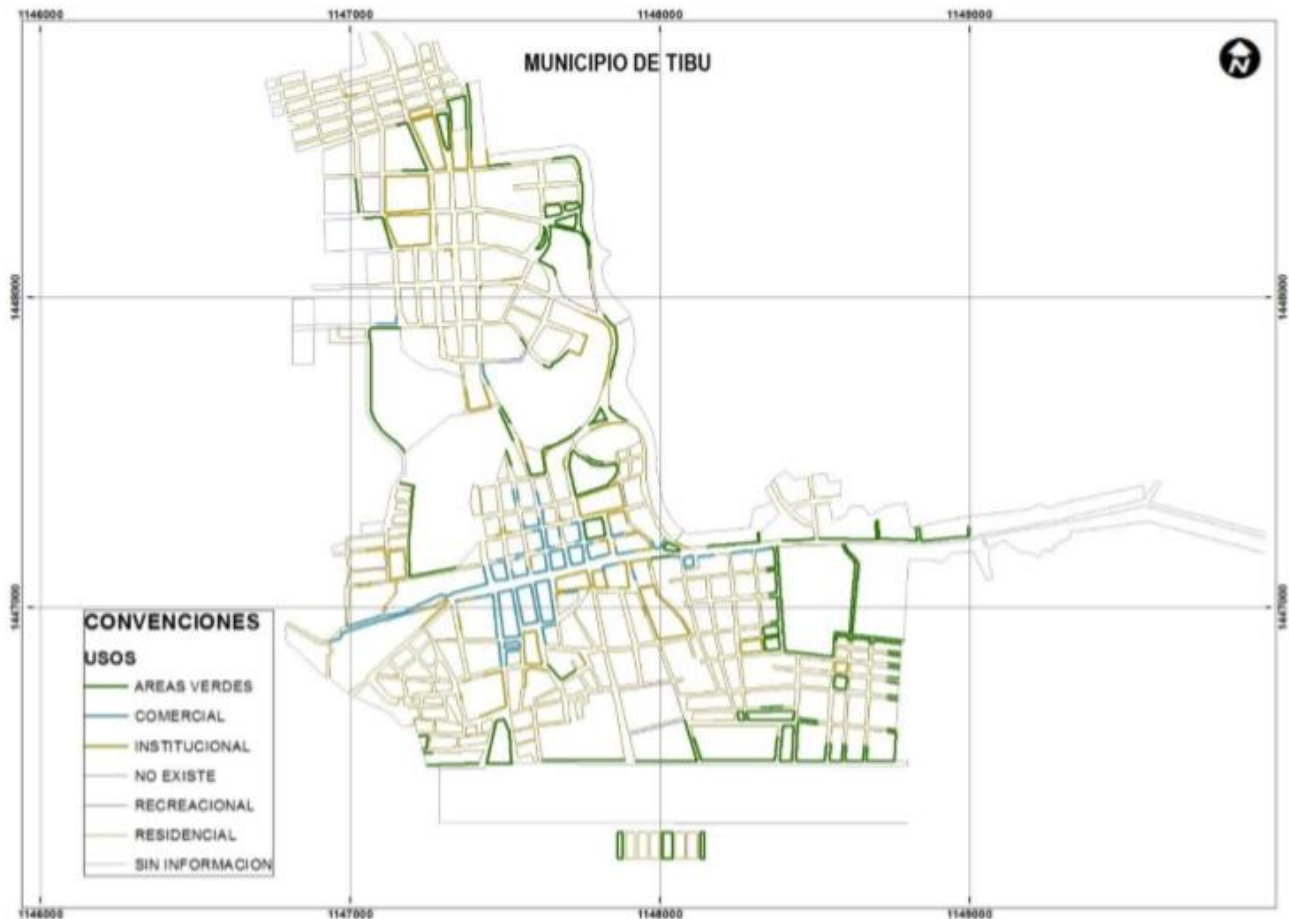
Ordenamiento Territorial, según lo determinen los programas de ejecución. Este territorio sólo podrá incorporarse al perímetro urbano, mediante planes parciales”.

El área de expansión urbana es de aproximadamente 0.188 km<sup>2</sup>, mientras que el área de posible expansión urbana es de 0.1045 km<sup>2</sup>.

### 3.1.3. Usos del suelo

Según el mapa de usos del suelo que se encuentra en los anexos del PBOT, los diferentes usos existentes en el casco urbano se pueden apreciar en la imagen 2, en esta se identifican mediante puntos los sitios comerciales, institucionales y comerciales, entre otros.

*Ilustración 1 Usos del suelo, municipio de Tibú*



*Fuente: (PBOT Municipio de Tibú, 2000-2011).*

#### **3.1.4. Población**

El área urbana cuenta con una densidad poblacional aproximada de 77 hab/ha. De acuerdo con las proyecciones de población del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2005) “se tiene para el año de 2019: 14.325 habitante.

#### **3.1.5. Servicios públicos**

Según (EMTIBU, 2018):

**Acueducto.** El acueducto del municipio de Tibú cuenta con dos fuentes de abastecimiento una superficial conocida como Rio Tibú perteneciente a la cuenca del río Catatumbo, que desemboca en el golfo de Maracaibo y la segunda un pozo artesiano profundo del tipo saltante para extracción de un acuífero dentro de las instalaciones de la empresa.

**Alcantarillado.** El servicio de alcantarillado, al año 2019, cuenta con 3.672 suscriptores representando una cobertura del 81% con respecto a los usuarios de acueducto, existen 138 en el uso comercial, 55 de uso oficial y 3.479 de uso residencial. Descarga en diez puntos de vertimiento y uno de ellos corresponde a una laguna de oxidación que realiza el tratamiento primario de las aguas residuales domésticas del 66% de los usuarios de alcantarillado.

**Aseo.** La cobertura del servicio de aseo en el casco urbano es del 100%, la recolección de los residuos sólidos se realiza dos veces a la semana y para ello se emplea una volqueta y

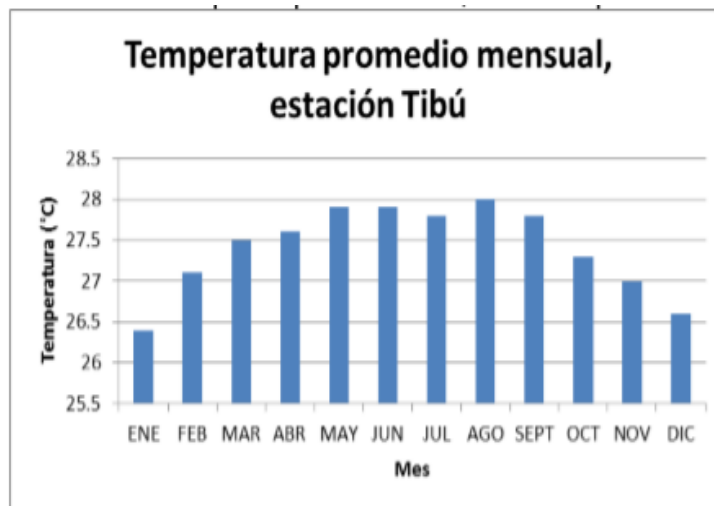
un carro compactador. La disposición final de los residuos se realiza en el relleno llamado GIRSU.

**Usuarios del Sistema.** Según información suministrada por la Empresa municipales de Tibú E.S.P. - EMTIBÚ E.S.P. en el año 2018 el número de usuarios del sistema de acueducto del casco urbano, a diciembre de 2018, era de 4.545, para alcantarillado de 3.672 y aseo de 4.582.

### 3.1.6. Temperatura.

Según (IDEAM, Calidad del aire, 2018) La temperatura promedio para el municipio de Tibú se ha obtenido de los datos de la estación meteorológica Tibú. Estos registros corresponden a un periodo de tiempo entre los años 1957 y 2012 y a los valores medios mensuales de temperatura. Como se observa en el gráfico 1. el valor máximo de temperatura se presenta durante el mes de agosto y corresponde a 28°C, mientras que la más baja se presenta durante el mes de enero con 26,4°C.

*Ilustración 2. Temperatura promedio mensual, estación campo seis*



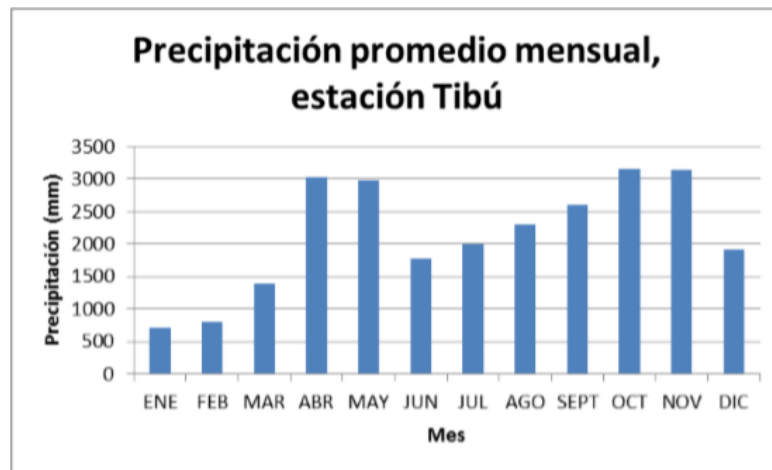
*Fuente: (IDEAM, Calidad del aire, 2018)*

### 3.1.7. Precipitación.

Según (WSP/PB, 2016):

Los datos de precipitación comprenden los registros desde el año 1957 hasta el año 2012 y corresponden al promedio de los valores totales mensuales registrados en la estación mencionada. Las gráficas obtenidas a partir de los datos registrados indican claramente la presencia de un régimen bimodal, en el que los periodos de lluvia se presentan entre los meses de abril a mayo y de octubre a noviembre, los demás meses corresponden a periodos de verano. La precipitación máxima se obtiene en el mes de octubre y es de aproximadamente 3.150mm. El mes de menor precipitación corresponde a enero. La mayor precipitación se presentó en el año 1988 con 2.410 mm, el año de menores precipitaciones fue 1979 con 249 mm y el año más lluvioso fue el 2010 con 163 días de lluvia que representa un 45% del total de días.

*Ilustración 3 Precipitación media mensual de la estación Tibú*



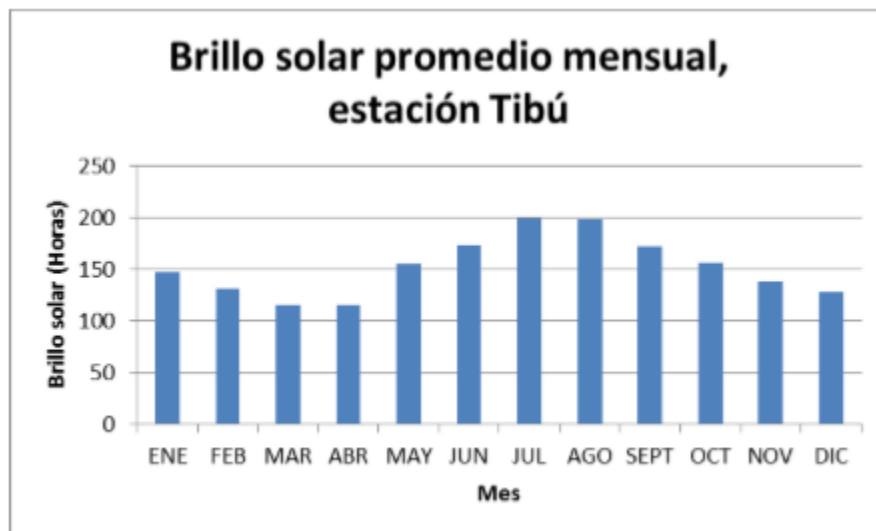
*Fuente: (WSP/PB, 2016)*

### 3.1.8. Humedad Relativa

La humedad relativa está referida a la humedad que contiene el aire con respecto al total que es capaz de contener como función de su temperatura y su presión (IDEAM, 2014).

Los datos obtenidos para estudiar este parámetro corresponden a sí mismo a los de la estación Tibú, el rango de registros analizado corresponde al comprendido entre los meses de enero de 1957 hasta junio de 2012. Como se observa en la siguiente gráfica, los meses con menor humedad relativa corresponden a febrero, marzo y agosto concordantes con la temporada de verano y así mismo los meses que mayor humedad relativa que se presentan son noviembre y diciembre con el 84% de humedad en el aire.

*Ilustración 4 Promedio mensual de brillo solar*



*Fuente: (WSP/PB, 2016)*

## **4. Marco teórico**

En este capítulo se define y describe el aspecto conceptual bajo el cual se desarrolla el proyecto, se identifican las posibles causas que afectan el tratamiento adecuado de aguas residuales, los tratamientos posibles a aplicar, las variables que se deben tener en cuenta para implementar la propuesta de mejora y los parámetros que estipula la resolución 0631 de 2015.

(Romero, 2004) afirma que “El agua residual es producto de la utilización de esta en múltiples procesos que generan un residuo líquido procedente de residencias, instituciones públicas, establecimientos industriales y comerciales, adicional a ello, se encuentran las aguas subterráneas, superficiales y pluviales”.

### **4.1. Generalidades del agua residual**

Según (Torres, 2016):

las utilizaciones del agua van desde procedimientos químicos, médicos y físicos, hasta procesos constructivos e industriales. Debido a dicha utilización del agua en múltiples procesos es inevitable generar un residuo de dicho líquido tras su utilización, de esta manera se puede definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas, establecimientos industriales y comerciales a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

(Romero, 2004) afirma: “La generación de aguas residuales es un producto inevitable de la actividad humana. El tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales requiere del

conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas de dichas aguas; de su significado y de sus efectos principales sobre la fuente receptora”.

- **Aguas Residuales Domésticas, (ARD):**

Según la resolución 0631 de 2015:

Son las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que correspondan a:

1. Descargas de los retretes y servicios sanitarios.
2. Descargas de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocinas y cocinetas, de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos y del lavado de ropa (No se incluyen las de los servicios de lavandería industrial).

- **Aguas Residuales no Domésticas, (ARnD)**

Según la resolución 0631 de 2015 “son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios, distintas a las que constituyen aguas residuales domésticas, (ARD)”.

- **Recolección de las aguas residuales municipales.**

Según (Rojas, 2002):

La composición de las aguas residuales es muy variable debido a los diversos factores que lo afectan. Entre estos se tiene el consumo promedio de agua por habitante y por día que afecta su concentración (cantidad) y los hábitos alimenticios de la población que caracteriza su composición química (calidad).

En general, las aguas residuales contienen aproximadamente un 99.9% de agua y el resto está constituido por materia sólida. Los residuos sólidos están conformados por materia mineral y materia orgánica. La materia mineral proviene de los subproductos desechados durante la vida



cotidiana y de la calidad de las aguas de abastecimiento. La materia orgánica proviene exclusivamente de la actividad humana y está compuesta por materia carbonácea, proteínas y grasas.

- **Características de aguas residuales.**

Las aguas residuales poseen ciertas características físicas, químicas y biológicas, en la siguiente tabla se definen algunas de ellas.

*Tabla 1 Características físicas, químicas y biológicas de agua residual.*

Característica	Procedencia	Descripción
Color	Agua residual doméstica e industrial, desintegración natural de materiales orgánicos	Indica el origen de contaminación. El agua residual reciente tiene un color gris y a medida que envejece cambia a color gris oscuro o negro.
Olor	Agua residual en descomposición, vertidos industriales	Son debido a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica.
Sólidos totales	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo	Materia que queda como residuo a la evaporación a 103-105°C, pueden

	infiltración y conexiones incontroladas	clasificarse como sólidos suspendidos o sólidos filtrables.
Temperatura	Aguas residuales domésticas e industriales	La temperatura de las aguas residuales es más alta que las de suministro, influyen en las reacciones químicas y velocidades de reacción.
Grasas y aceites	Aguas residuales domésticas e industriales	Causan iridiscencia, y problemas de mantenimiento, e interfieren con la actividad biológica pues son difíciles de biodegradar generalmente proviene de hidrocarburos.
pH	Vertidos industriales	Medida de la concentración de ion hidrogeno en el agua, cuando el pH aumenta, predomina la alcalinidad por carbonatos.
Metales pesados	Vertidos industriales	En cantidades excesivas interferirá en la toxicidad, pueden determinarse a

		concentraciones muy bajas por métodos instrumentales.
turbiedad	Aguas residuales domésticas e industriales	Es una medida óptica del material suspendido en el agua, se pueden considerar un factor importante del control de la calidad del agua.

*Fuente: (Illera, 2008, p. 28-71).*

- **Contaminantes del agua residual.**

El agua residual presenta algún tipo de contaminación dependiendo del uso que se la haya dado, el tipo y grado de contaminación se determina a través de un parámetro de medida, los cuales no deben sobrepasar unas concentraciones máximas permisibles para el proceso de vertimiento o reúso; así mismo, estos indicadores de contaminación requieren de distintas operaciones y procesos para ser disminuidos o eliminados los cuales se muestran en la tabla 2.

*Tabla 2 factores que afectan el agua residual*

Contaminantes	Parámetro de medida	Impacto Ambiental	Sistema de Tratamiento
Materia orgánica biodegradable	DQO, DBO	Desoxigenación del agua, generación de olores indeseables	Sistema fisicoquímico Filtración intermitente en arena filtros percoladores

Materia suspendida	SST, SSV	Desoxigenación del agua, generación de olores indeseables	Sedimentación, coagulación/sedimentación Adición de polímeros reactivos químicos Flotación
Metales pesados	$\text{Cu}^+$ - $\text{Fe}^+$	Posiblemente deben ser removidos para reutilización del agua	Precipitación Química e intercambio de iones
Sales inorgánicas	SDT	Limita el uso agrícola e industrial del agua	Lodos activados, biorremediación
Iones Hidrogeno	pH	Riesgo potencial para organismos acuáticos	Resinas de intercambio catiónico.

*Fuente: (Illera, 2008, p. 135.)*

#### **4.2. Tratamiento de aguas residuales**

Toda actividad genera algún tipo de contaminación, aunque es difícil evitarla el 100 %, hay técnicas apropiadas de tratamiento; en este caso, nos referimos a técnicas de tratamiento de agua residual, las cuales buscan disminuir las concentraciones de contaminantes, obteniendo una calidad apropiada del agua, de acuerdo con la normatividad colombiana. Es por ello, que en los tratamientos de agua residual predominan fenómenos físicos y químicos, los cuales son realizados a través de operaciones y procesos unitarios.

#### 4.2.1. Pretratamiento o tratamiento preliminar.

Según (Romero, 2004) “Este proceso tiene como objetivo remover constituyentes que causen problemas en la operación y mantenimiento en los procesos posteriores, o aquellos que no pueden tratarse con los demás componentes del agua residual, como cuerpos solidos gruesos y finos. Aquí se utilizan operaciones mecánicas o físicas para su remoción”. Algunas operaciones son las siguientes:

*Tabla 3 objetivos de tratamiento preliminar*

<b>Proceso</b>	<b>Objetivo</b>
Rejas y tamices	Eliminación de sólidos gruesos
Trituradores	Desmenuzamiento de sólidos
Desarenadores	Eliminación de arenas y gravillas
Desengrasadores	Eliminación de grasas y aceites
Preareación	Control de olor y mejoramiento del comportamiento hidráulico

*Fuente: (Rojas, 2002)*

#### 4.2.2. Tratamiento primario.

Como afirma (Rojas, 2002):

El tratamiento primario tiene como objetivo la remoción por medios físicos o mecánicos de una parte sustancial del material sedimentable o flotante. Es decir, el tratamiento primario es capaz de remover no solamente la materia que incomoda, sino también una fracción importante de la carga orgánica y que puede representar entre el 25% y el 40% de la DBO y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos. Entre los tipos de tratamiento primario se citan: Sedimentación primaria, flotación,

precipitación química, filtros gruesos, oxidación química, coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

- **Lagunas anaerobias.**

(Romero, 2004) afirma que:

La laguna anaerobia combina la sedimentación de sólidos y su acumulación en el fondo, con la flotación de materiales del agua residual en la superficie y con biomasa activa suspendida en el agua residual o adherida a los lodos sedimentados y a la nata flotante.

Puede considerarse como un proceso anaerobio de tasa baja, en el cual la materia orgánica es estabilizada mediante su transformación en dióxido de carbono y metano. Usualmente son abiertas a la atmósfera, pero podrían cubrirse para recoger el metano producido y para controlar la emisión de olores.

Según (Cuervo, 2003):

Las lagunas anaeróbicas son reservorios de mayor profundidad (2.5 a 5.0 m) y reciben cargas orgánicas más elevadas, de modo que la actividad fotosintética de las algas es suprimida, encontrándose ausencia de oxígeno en todos sus niveles. En estas condiciones, estas lagunas actuarán como un digestor anaeróbico abierto sin mezcla y debido a las altas cargas orgánicas que soportan, el efluente contiene un alto porcentaje de materia orgánica que requiere de otro proceso adicional para complementar el tratamiento.

### 4.2.3. Tratamiento secundario

La reducción de los compuestos orgánicos presente en el agua residual, acondicionada previamente mediante tratamiento primario, se realiza exclusivamente por procesos biológicos. Los tratamientos biológicos de esta categoría tienen una eficiencia remocional de la DBO entre el 85% al 95%. (Rojas, 2002). Y está compuesto por:

Tabla 4 Tratamiento secundario

<b>Tratamiento</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Filtración biológica</b>	<b>Baja capacidad</b> Filtros clásicos
	<b>Alta capacidad</b> Filtros comunes Biofiltros Aerofiltros Accelofiltros
<b>Lodos activados</b>	Convencional Alta capacidad Contacto estabilización Aereación prolongada
	<b>Estabilización</b> Aerobia Facultativa Maduración <b>Aereada</b> Mezcla completa Aereada facultativa Facultativa con aereación mecánica Difusión de aire
<b>Otros</b>	<b>Anaeróbicos</b> Contacto Filtro anaerobio Reactor anaeróbico de flujo ascendente
	<b>Oxígeno puro</b> Unox/linde <b>Discos rotatorios</b>

Fuente: (Rojas, 2002). Modificado por autora, 2019.

- **Laguna facultativa.**

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

Las características principales de este tipo de lagunas son la alimentación de las algas y bacterias en el estrato superior y la descomposición anaerobia de los sólidos sedimentados en el fondo.

Su utilización como unidad de tratamiento en un sistema de lagunas puede ser:

1. Como laguna primaria única (caso de climas fríos en los cuales la carga de diseño es tan baja que permite una adecuada remoción de bacterias) o seguida de una laguna secundaria y/o terciaria (normalmente referida como laguna de maduración).
2. Como una unidad secundaria después de lagunas anaerobias o aireadas, para cumplir el propósito de procesar sus efluentes a un grado mayor.

- **Fundamentos de la depuración de lagunas facultativas.**

La degradación de la materia orgánica en lagunas facultativas es fundamentalmente, por la actividad metabólica de bacterias heterótrofas facultativas, que pueden desarrollarse tanto en presencia como en ausencia de oxígeno disuelto, si bien su velocidad de crecimiento, y por tanto la velocidad de depuración, es mayor en condiciones aerobias.

Puesto que la presencia de oxígeno es ventajosa para el tratamiento, las lagunas facultativas se diseñan de forma que se favorezcan los mecanismos de oxigenación del medio (CIDTA, s.f).



Las dos fuentes de oxígeno en lagunas facultativas son la actividad fotosintética de las algas y la reaeración a través de la superficie.

Uno de los signos de buen funcionamiento en las lagunas facultativas es el desarrollo de un color verde brillante debido a la presencia de algas. Las bacterias y algas actúan en forma simbiótica, con el resultado global de la degradación de la materia orgánica (CIDTA, s.f). Las bacterias utilizan el oxígeno suministrado por las algas para metabolizar en forma aeróbica los compuestos orgánicos. En este proceso se liberan nutrientes solubles (nitratos, fosfatos) y dióxido de carbono en grandes cantidades. Estos son utilizados por las algas en su crecimiento.

- **Carga superficial.**

Existen numerosas correlaciones que permiten calcular la carga orgánica superficial máxima para una laguna facultativa. El diseñador está en libertad de escoger la correlación a utilizar. Sin embargo, debe corroborar los resultados con las siguientes fórmulas que han demostrado ampliamente su validez: Mc Garry, Pescod, Yañez, y Cubillos. El diseñador debe adoptar como afirma (Ministerio de Desarrollo Económico, 2017) una carga de diseño menor, en consideración a factores como:

- ✓ La forma de la laguna.
- ✓ La existencia de desechos industriales.
- ✓ El tipo de sistema de alcantarillado.

- **Tiempo de retención hidráulica.**

El (Ministerio de Desarrollo Económico, 2017) afirma que: “El tiempo de retención hidráulica para lagunas facultativas debe estar dentro de un rango de 5 a 30 días”.

- **Profundidad.**

Para evitar el crecimiento de plantas acuáticas con raíces en el fondo, la profundidad de las lagunas debe estar por encima de 1.0 m. La profundidad varía entre 1.0 y 2.5 m. El proyectista debe proveer una altura adicional para acumulación de lodos entre períodos de limpieza de alrededor de 10 años. Esta altura adicional es generalmente del orden de 0.3 m y debe ser determinada calculando la disminución del volumen por concepto de digestión anaerobia en el fondo.

- **Metodología de cálculo, según el (Ministerio de Desarrollo Económico, 2017)**

Los criterios de diseño referentes a temperaturas y mortalidad de bacterias deben determinarse en forma experimental. Como alternativa, y en caso de no ser posible la experimentación, se pueden usar los siguientes criterios:

- La temperatura de diseño es el promedio del mes más frío (temperatura del agua), a través de correlaciones de las temperaturas del aire - agua. En donde no exista ningún dato se usará para diseño la temperatura del aire del mes más frío.
- Para lagunas en serie debe tomarse en consideración que la laguna primaria no se torne anaerobia por exceso de carga orgánica.

- **Consideraciones hidráulicas.**

Según el Ministerio de Desarrollo Económico, 2017:

**Medición de caudales:** Debe instalarse una canaleta tipo Parshall o Palmer Bowlus a la entrada de la instalación para la medición de caudal y un vertedero del tipo rectangular a la salida de la unidad, para evaluación de la laguna y comprobación de la magnitud de la infiltración.

**Dispositivos de entrada, interconexión y salida:** Como dispositivo de entrada se recomienda la tubería simple con descarga visible sobre la superficie del agua de la laguna. La tubería de entrada puede estar simplemente colocada sobre el dique a una altura de unos 20 o 30 cm sobre la superficie del agua.

Los dispositivos de interconexión deben concebirse de modo que no se produzca una caída turbulenta del efluente y se genere espuma. Deben evitarse descargas turbulentas para la conservación de calor.

- **Factores químicos y bioquímicos.**

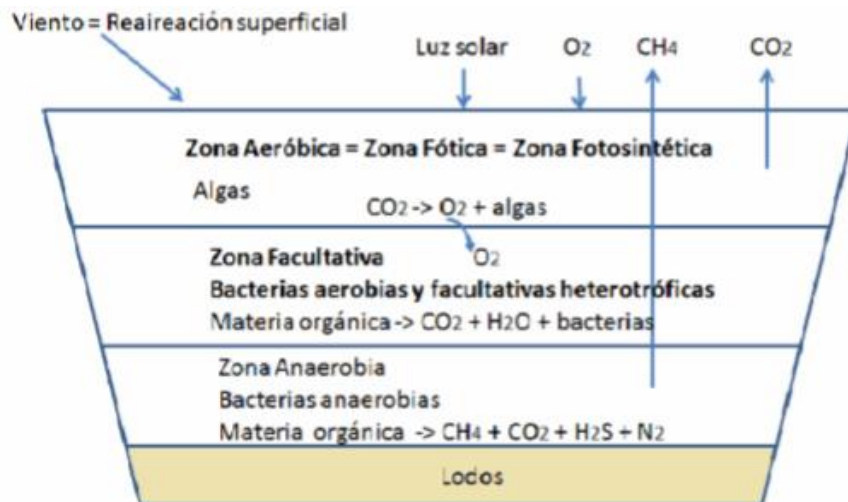
**pH:** el pH de las lagunas facultativas viene determinado fundamentalmente por la actividad fotosintética del fitoplancton y la degradación de la materia orgánica por las bacterias. Las algas consumen anhídrido carbónico en la fotosíntesis, lo que desplaza el equilibrio de los carbonatos y da lugar a un aumento del pH. Por otra parte, la degradación de la materia orgánica

conduce a la formación de  $\text{CO}_2$  como producto final, lo que causa una disminución del pH.

Cuando las lagunas facultativas están operando correctamente el pH presenta valores ligeramente alcalinos, del orden de 7,5 y 8,5 (CIDTA, s.f).

**Nutrientes:** Los nutrientes son fundamentales para la buena marcha de la depuración en lagunas. El agua residual urbana posee un contenido en nutrientes adecuado para el desarrollo de los microorganismos responsables de la depuración sin que sea necesario ajustar la concentración de ninguno de ellos. A medida que progresa la depuración, y especialmente cuando se dispone de varias lagunas en serie, se va produciendo una eliminación de nutrientes que puede dar lugar a que uno o varios alcancen concentraciones limitantes para el desarrollo subsiguiente de algas o bacterias. (CIDTA, s.f.).

*Ilustración 5 lagunas facultativas*



*Fuente: (Geymet, 2017)*

### **4.3. Normatividad de vertimientos en Colombia:**

La norma de vertimientos, la Resolución 0631 de 2015 permite el control de las sustancias contaminantes que llegan a los cuerpos de agua vertidas por 73 actividades productivas presentes en ocho sectores económicos del país.

Esta Resolución es de obligatorio cumplimiento para todas aquellos que desarrollen actividades industriales, comerciales o de servicios y que en el desarrollo de estas generen aguas residuales, que serán vertidas en un cuerpo de agua superficial o al alcantarillado público (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

En la tabla que se presenta a continuación, se establecen las concentraciones máximas permisibles según la resolución 0631 del 2015 determinado en el capítulo V. Los parámetros físico-químicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de Aguas Residuales Domésticas, (ARD) y de las Aguas Residuales no Domésticas (ARnD), de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cumplir, serán los siguientes:

Tabla 5 Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas (ARD) de las actividades industriales, comerciales o de servicio; y de las aguas residuales (ARD y ARnD) de los prestadores

Parámetro	Unidades	Aguas residuales domésticas (ARD) y las aguas residuales no domésticas (ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado con una carga mayor a 625 kg/día y menor o igual a 3000 kg/día DBO <sub>5</sub> Generales	Aguas residuales domésticas (ARD) y las aguas residuales no domésticas (ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado con una carga mayor a 3000 kg/día DBO <sub>5</sub>
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	180,00	150,00
Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L O <sub>2</sub>	90,00	70,00
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	90,00	70,00
Sólidos sedimentables (SSed)	mL/L	5,00	5,00
Grasas y aceites	mg/L	20,00	10,00
Sustancias activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
<b>Compuestos de fósforo</b>			
Ortofosfatos (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Fósforo total (P)	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
<b>Compuestos de Nitrógeno</b>			
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH <sub>3</sub> )	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
<b>Iones</b>			
Cianuro total (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0,50	0,50
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Sulfuros (S <sup>2-</sup> )	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
<b>Metales y metaloides</b>			
Aluminio (Al)	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Cadmio (Cd)	mg/L	0,10	0,10
Cinc (Zn)	mg/L	3,00	3,00

Cobre (Cu)	mg/L	1,00	1,00
Cromo (Cr)	mg/L	0,50	0,50
Hierro (Fe)	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Mercurio (Hg)	mg/L	0,02	0,02
Níquel (Ni)	mg/L	0,50	0,50
Plata (Ag)	mg/L		Análisis y reporte
Plomo (Pb)	mg/L	0,50	0,50
<b>Otros parámetros para análisis y reporte</b>			
Acidez total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Alcalinidad total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Dureza cálcica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Dureza total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y reporte	Análisis y reporte
Color real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm; 525 nm y 620 nm)	m <sup>-1</sup>	Análisis y reporte	Análisis y reporte

Fuente: Resolución 0631 de 2015, capítulo V.

## 5. Marco legal

Según la Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000:

La principal pauta que rige todas las obras hidráulicas en el país es el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), cuya versión aprobada es la realizada en el año 2000 y cuya última actualización fue realizada en el año 2017 mediante la Resolución 0330. Dentro de la norma establecida, la sección 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 considera todos los requerimientos técnicos generales de los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales.

A continuación, se relacionará toda la normatividad aplicable vigente para el proyecto:

*Tabla 6. Normatividad aplicable al proyecto*

<b>NORMA</b>	<b>DISPOSICIONES</b>
Decreto 3930 de 2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
Resolución 0631 de 2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los

	vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
Resolución 0330 de 2017 (Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – RAS)	“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, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”
Decreto 3100 de 2003	Reglamenta la Tasa Retributiva para vertimientos puntuales y establece el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV). Determina que las sustancias objeto de cobro son la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). Las tarifas mínimas para el cobro de la Tasa Retributiva están contenidas en la Resolución 372 de 1998 del MAVDT.
Resolución 1433 de 2004	Por la cual se reglamentan los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV, y se obliga a los operadores del sistema de alcantarillado al establecimiento de los objetivos de reducción del número de vertimientos puntuales.

Nota: la tabla 6 presenta la normatividad ambiental en general utilizada y de interés para el proyecto. La tabla fue diseñada por (Arias, 2019).

## 6. Metodología

Este proyecto tiene como objetivo principal, proponer el mejoramiento de la PTAR de Tibú, NDS; por lo que, para llegar a tal fin se estableció una metodología que consta de tres fases distintivas, cada fase corresponde a cada uno de los objetivos específicos. Las fases son las siguientes:

### **Fase I: diagnóstico técnico, operativo y administrativo.**

En el desarrollo de esta fase se lleva a cabo la recopilación de información existente, se realizan las visitas periódicas a la PTAR para la inspección y recorrido de la planta, determinando el estado general de la misma, realización de las caracterizaciones a la entrada y



salida de la planta, así como la recopilación y levantamiento de información técnica necesaria. Adicional a ello, en esta fase se tiene en cuenta un diagnóstico operativo-administrativo

En la fase inicial se desarrollan principalmente las siguientes actividades:

*Tabla 7. Actividades primera fase*

<b>ACTIVIDAD</b>
<b>Recopilación de información técnica de la PTAR</b>
<b>Diagnostico operativo y administrativo</b>
<b>Inspección de la PTAR</b>
<b>Revisión y medición de caudal</b>
<b>Muestreos</b>
<b>Caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas</b>
<b>Eficiencia de remoción</b>
<b>Comparación con parámetros de diseño de la laguna facultativa</b>
<b>Comparación con normatividad vigente y otros estudios</b>
<b>Identificación de falencias en la PTAR</b>

*Fuente: (autora, 2019).*

## **Fase II: propuesta de alternativas**

En esta etapa se elaboran los criterios de evaluación de las alternativas que lleven al mejoramiento de la planta. Principalmente se basa en las siguientes actividades:

Tabla 8. Actividades segunda fase

ACTIVIDAD
<b>Cálculo de caudal de diseño</b>
<b>Determinación de proyección de población.</b>
<b>Pruebas hidráulicas</b>
<b>Planteamiento de alternativas</b>
<b>Elaboración de criterios de evaluación</b>
<b>Elaboración de matriz de selección de alternativas</b>

Fuente: (autora, 2019).

### **Fase III. Realizar dimensionamiento con base en la alternativa seleccionada.**

En esta fase no se hace diseño de detalle, se hace aproximación de costos del montaje de la alternativa seleccionada.

Se presenta el diseño del sistema elegido a partir de los resultados obtenidos en las fases anteriores; se dimensiona el diseño viable y que cumpla con los criterios técnicos, permitiendo el cumplimiento de los límites máximos permisibles para la realización del vertimiento; con el objetivo final de que esta propuesta se tenga en cuenta para un proyecto de inversión que busque mejorar la PTAR.

Durante esta fase se desarrolla el diseño de las unidades del sistema de tratamiento viable para el agua residual del municipio, en donde se tiene en cuenta los criterios técnicos requeridos y basados en bibliografía para el dimensionamiento de estas. Finalmente, se realizan las recomendaciones necesarias para el buen funcionamiento de la PTAR.

## 7. Resultados

En este capítulo, se presentarán los resultados obtenidos en cada una de las actividades de las 3 fases que componen este proyecto.

### 7.1. FASE I. diagnóstico técnico, operativo y administrativo.

En esta fase, se llevaron a cabo alrededor de 4 visitas periódicas a la planta de tratamiento de agua residual del municipio. Así mismo, se realizaron diferentes visitas a la sede de EMTIBÚ, en donde se realizó el diagnóstico operativo y administrativo.

#### 7.1.1. Recopilación de información técnica de la PTAR.

En esta actividad se llevó a cabo todo lo relacionado con la recopilación de documentos necesarios; así mismo se realizó una entrevista a uno de los funcionarios de la EMTIBÚ E.S.P S. A, además de las características del municipio y toda la información pertinente que permitiera elaborar un diagnóstico actual acerca del funcionamiento de la planta y así proceder a la inspección técnica de la PTAR con el fin de detectar y corroborar la problemática presentada. Lo anteriormente mencionado se realizó por medio de las siguientes actividades.

*Tabla 9. Desarrollo de la actividad 1, fase 1.*

Ítem	Fecha de entrega de la información solicitada	Datos entregados por parte del funcionario de EMTIBÚ E.S.P S.A.
1	20-08-2019	Información existente acerca de la PTAR, como información de funcionamiento, operación, mantenimiento, dimensiones de las

		<p>unidades que conforman la línea de tratamiento; también se solicitó información administrativa. No cuentan con planos de la PTAR.</p> <p>Informe de diagnóstico de acueducto y alcantarillado del municipio de Tibú, realizado por WSP, PARSONS BRINCKERHOFF</p>
2	09-09-2019	<p>Informe de seguimiento, cumplimiento de objetivos y metas del PGIRS.</p> <p>Informe de gestión de EMTIBÚ E.S.P S.A</p>

*Fuente: (autora, 2019).*

**1. Información técnica y administrativa existente e informe de diagnóstico de acueducto y alcantarillado del municipio de Tibú, realizado por WSP, PARSONS BRINCKERHOFF.**

La información referente a el funcionamiento, operación, mantenimiento, dimensiones de las unidades que conforman la línea de tratamiento se obtuvo a través de entrevistas del ingeniero encargado de la PTAR y el gerente de EMTIBU para el año 2019. también se solicitó información administrativa, la cual fue entregada de manera física, en donde se detalla el funcionamiento administrativo de la empresa de servicios públicos. En los documentos entregados por el ingeniero encargado, se encuentra el levantamiento topográfico, catastro de redes de acueducto y de redes de alcantarillado, estudios, también cuenta con información como mediciones de caudales y aforo, diagnóstico de los sistemas de acueducto y alcantarillado sanitario, realizado en el año 2016.

El diagnóstico cuenta con la evaluación de diferentes componentes como la hidrología de la zona, la geología del área de estudio. Este informe se hizo con el fin de formular alternativas y diseños tendientes a la optimización de los sistemas de acueducto y alcantarillado del municipio

de Tibú; sin embargo, el documento está enfocado a la planta de potabilización de agua, el diagnóstico realizado para la PTAR no se encuentra completo, así como al final no se evidencian las alternativas, simplemente se hacen recomendaciones para la mejora de la planta.

## **2. Informe de seguimiento, cumplimiento de objetivos y metas del PGIRS e informe de gestión de EMTIBÚ E.S.P S.A.**

El PGIRS fue solicitado con el fin de identificar los objetivos determinados en cuanto al manejo de residuos sólidos del municipio, aquí se tiene en cuenta el lavado de áreas públicas que generan vertimiento al alcantarillado que llega a la PTAR.

Así mismo, el PGIRS define objetivos relacionados a la disposición adecuada de residuos sólidos del municipio, pero, esto es algo que la población no realiza de forma adecuada, ya que en Tibú no hay ninguna planta de aprovechamiento de residuos sólidos, hay pocos recicladores, y solo hay una compraventa de plástico en el municipio. Por ende, esto hace mucho más difícil la cultura ciudadana y la correcta separación en la fuente, lo que se ve reflejado marcadamente en la PTAR, ya que muchos de los residuos sólidos llegan a la planta, como no hay sistema de rejillas o cribado, los residuos pasan directamente a la laguna de oxidación, generando un gran problema en la planta.

- El informe de gestión compartido por la empresa de servicios públicos relaciona el número de suscriptores al servicio de alcantarillado del año 2019, los cuales son 3.672, los cuales cubren el 81% con respecto a los usuarios de acueducto; existen 138 en uso comercial, 55 de uso oficial y 3.479 de uso residencial.

Se realizó una recopilación de información adicional secundaria para el desarrollo del proyecto, provenientes de fuentes bibliográficas y asesoramiento por parte del director del proyecto, el ingeniero Julio César Ramírez.

### **7.1.2. Diagnostico operativo-administrativo**

En este diagnóstico se hizo un estudio institucional, a través de información entregada por los empleados asignados de la empresa de servicios municipales, e igualmente se tuvo información a través de entrevistas y preguntas al director de la empresa en el año 2019.

#### **Aspectos Legales**

La entidad encargada de la prestación del servicio de acueducto, alcantarillado y aseo se denomina EMPRESAS MUNICIPALES DE TIBÚ - EMTIBÚ E.S.P., que fue creada mediante Acuerdo Municipal No. 052 del 18 de diciembre de 1995 bajo el esquema de Empresa Industrial y Comercial del Estado – E.I.C.E.

En el año 2010 el Concejo Municipal de Tibú mediante el Acuerdo 0015 de Julio 15/10, reformó el Acuerdo 052/95 disponiendo que a partir del año 2010 EMTIBÚ E.S.P ampliaría su radio de acción y operación a toda el área del municipio, para operar todos los acueductos, sistemas de alcantarillado y aseo de los corregimientos, centros poblados y área rural.

Los objetivos de EMTIBÚ son los siguientes:

- ✓ El objeto esencial de EMTIBÚ - ESP es garantizar la prestación eficiente, continua y con calidad de los servicios públicos de Acueducto, Alcantarillado y Aseo, a todos los habitantes del municipio de Tibú.
- ✓ Atender de manera inmediata las peticiones y reclamos presentados ante la empresa.
- ✓ Mejorar continuamente la satisfacción del cliente.
- ✓ Formular el Plan de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos del Municipio de Tibú, Departamento Norte de Santander.

## **Aspectos Operativos**

Según (EMTIBU,2019):

El alcantarillado del casco urbano es de tipo sanitario y tiene una cobertura del 80% del casco. La red de colectores tiene una longitud aproximada de 50 km, en tubería de gres, PVC y algunos tramos en concreto, en diámetros entre 6" y 12". Los 85 pozos existentes de alcantarillado están contruidos en mampostería.

De acuerdo con la topografía del casco urbano del municipio de Tibú, se identifican dos zonas de drenaje principales para el alcantarillado sanitario, una ubicada en el sector donde se encuentra el predio de EMTIBU y al norte de este, que es la zona más alta del casco urbano, en donde las redes drenan en sentido sur-norte del municipio.

La segunda zona se localiza al sur del predio de EMTIBÚ en la que parte de las redes drenan hacia la zona sur-oriental finalizando en la Laguna de Oxidación del municipio de Tibú.

Se identificaron tramos de alcantarillado pluvial que se conectan erróneamente al sistema de alcantarillado sanitario, un canal pluvial y tramos de alcantarillado sanitario con conexiones erradas de redes pluviales.

En el casco urbano del municipio de Tibú, se localizaron diez (10) vertimientos puntuales de las descargas de aguas residuales domesticas municipales sin ningún tipo de tratamiento y dos (2) descargas de aguas lluvias.

La identificación de las descargas de la red de alcantarillado hacia las quebradas se realizó mediante estación total en los puntos de la tubería de descarga y del terreno, tomando registro fotográfico en cada una de estas e identificando el tipo de vertimiento según el sistema al cual pertenece.

El sistema de alcantarillado sanitario cuenta con Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del tipo Laguna de Oxidación, la cual se localiza en el costado sur del casco urbano.

### **Aspectos administrativos**

- **Estructura organizacional**

Según (EMTIBU,2019):

Teniendo en cuenta que a la luz de la Ley 142 de 1994 y la Ley 286 de 1996, la constitución de este tipo de esquemas (E.I.C.E) para la prestación de los servicios públicos fue permitida hasta el 4 de enero de 1998, es posible afirmar que la prestación de estos servicios por parte de EMTIBÚ E.S.P tiene el carácter de legalidad, al considerar que su fecha de constitución del 18 de diciembre de 1995, está inmersa dentro del periodo autorizado por la normatividad.

La dirección y administración de la empresa está a cargo de una Junta Directiva, como órgano administrador, asesor, consultivo de la administración de los servicios públicos, la cual está integrada de la siguiente manera:

- Alcalde Municipal- presidente.
- Gerente de EMTIBÚ E.S.P- secretario.
- Secretario de Planeación.
- Secretario de Obras Públicas.
- Un Representante del Concejo Municipal.
- Un representante de los usuarios (Vocales de Control)

Las funciones de dicha Junta fueron establecidas en el Acuerdo 052 de 1995, el mismo donde se autorizó la creación de EMTIBÚ E.S.P.



Mediante el Acuerdo 006 del 27 de junio de 1996 la Junta Directiva de EMTIBÚ E.S.P expidió los estatutos de la empresa, con el fin de reglamentar la gestión y funcionamiento de esta para el mejoramiento de la prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo en el municipio, sin embargo, dichos estatutos no han sido actualizados. En relación con el nombramiento del gerente, de acuerdo con los estatutos será un funcionario de libre nombramiento y remoción, por el Alcalde Municipal.

### Aspectos comerciales y financieros

Según información de la Unidad de Servicios Públicos los usuarios de acueducto están estratificados como se observa en la siguiente tabla.

*Tabla 10. Tarifas del servicio de alcantarillado de Tibú – Agosto. 2019.*

Uso / Estrato	Numero usuarios	Usuario Suspend	Usuario MicroMed	Mts Cub Básico	Mts Cub Complementario	Valor Facturado	Valor Recaudado
COMERCIAL	138	0	138	3,053	0	3,089,485	2,800,727
OFICIAL	54	0	54	2,330	0	1,686,071	1,156,383
OFICIAL PEQUEÑO PRODUCTOR TIPO 1 (0- 0,35	1	0	1	8	0	7,985	7,356
RESIDENCIAL : ESTRATO 1	1,310	0	1,310	17,878	0	8,679,433	5,504,535
RESIDENCIAL : ESTRATO 2	1,205	0	1,205	18,886	0	10,219,463	7,391,633
RESIDENCIAL : ESTRATO 3	964	0	964	16,702	0	12,394,382	9,834,656
	<b>3672</b>	<b>0</b>	<b>3672</b>	<b>58857</b>	<b>0</b>	<b>36076819</b>	<b>27851673</b>

*Fuente: (EMTIBÚ, 2019).*

- **Ingresos recibidos**

Los ingresos por concepto de tarifas de servicios ascendieron, en agosto del año 2019 a la suma de \$140'670,793. Sin embargo, se presenta una cartera aproximada de \$46'000,000.

### **7.1.3. Inspección de la PTAR**

Se realizó una visita con el fin de recorrer la planta de tratamiento de agua residual del municipio de Tibú, y así poder conocer el funcionamiento de esta. en esta actividad se identificó el tren de tratamiento y se realizó el dimensionamiento de las unidades de la planta. Se corroboró que la PTAR es de tipo biológico, exactamente todo el tratamiento se lleva a cabo en una laguna facultativa que tiene un área de 22.832 m<sup>2</sup> aproximadamente, la cual tiene un muro en concentro en la mitad de la laguna, según EMTIBÚ, esto asegura la repartición de flujo en la laguna y trabaja como un reactor de mezcla completa.

- **Pretratamiento:**

#### **Caja de repartición de caudales:**

Es un canal de concreto, el cual es el que se encarga de regular el caudal de entrada a la planta de tratamiento y de repartir el agua a cada una de las entradas a la planta (2 entradas), se construyó para que no se exceda la capacidad de esta, este canal lleva directamente el agua a la laguna facultativa.

*Ilustración 6 Canal de repartición de caudales PTAR Tibú*



*Fuente: (WSP/PB, 2016).*

*Ilustración 7. Caja de repartición del agua residual*



*Nota: en esta imagen se observa los dos canales de repartición de la laguna. Fuente: (WSP/PB, 2016).*

- **Línea de tratamiento físico-biológico**

**Laguna facultativa:**

Se cuenta con una laguna de facultativa, con una división en concreto en el centro, cada división tiene una entrada de agua proveniente de la caja de repartición de caudal.

### **Características principales de la laguna:**

- Entrada del agua: tubería con diámetro de 16 pulgadas
- Área de la laguna: 22.832 m<sup>2</sup>
- Volumen: 38.815 m<sup>3</sup>
- Profundidad aproximada: 1.7 m

*Ilustración 8.. laguna PTAR Tibú*



*Fuente: (autora, 2019).*

- **Salida PTAR**

La laguna cuenta con una sola salida hecha en concreto. Las características son las siguientes:

- Ancho salida de la laguna al canal: 2,5 m
- Longitud: 53,12 m
- Ancho salida al río: 5,0 m

- **Tren de tratamiento existente.**

Ilustración 9. PFD tratamiento existente



Fuente: (autora,2020).

#### 7.1.4. Revisión y medición de caudal.

A continuación, se presenta la información referente a la medición de caudales de la planta de tratamiento de agua residual, realizada el día 14 de octubre de 2019, en un periodo de tiempo que inició desde las 06:00 am- hasta las 18:00 horas.

Tabla 11. Caudal entrada en la laguna de la PTAR de Tibú, Norte de Santander.

<i>caudal entrada</i>							
	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00
<i>tiempo (s)</i>	120.33	126.42	130.97	150.87	147.33	140.89	130.33
	117.89	125.5	133.65	145.32	151.9	141.32	129.8
	115.74	120.05	120.98	142.79	149.21	142.45	135.75
<i>promedio (s)</i>	117.99	123.99	128.53	146.33	149.48	141.55	131.96
<i>distancia total (m)</i>	12	12	12	12	12	12	12
<i>velocidad media (m/s)</i>	0.102	0.097	0.093	0.082	0.080	0.085	0.091
<i>Ancho (m)</i>	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
<i>profundidad (m)</i>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<i>coeficiente de corrección</i>	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
<i>caudal (m<sup>3</sup>/s)</i>	0.02810	0.02674	0.02579	0.02265	0.02218	0.02342	0.02512
<i>caudal (L/s)</i>	28.10	26.74	25.79	22.65	22.18	23.42	25.12

Nota: se puede observar que los mayores caudales se encuentran a las 6:00 am, 7:00 am, 12:00 pm, 1:00 pm y 6:00 pm, esto se debe a que son las horas en donde mayor actividad se presenta en los hogares. Fuente: (autora,2019).

Tabla 12. Caudal entrada en la laguna de la PTAR de Tibú, Norte de Santander.

<b>caudal entrada</b>						
	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
<i>tiempo (s)</i>	123.55	138.74	147.9	160.5	163.42	134.5
	130.15	135.67	150.03	158.76	161.2	135
<i>promedio (s)</i>	129.41	133.9	148.42	157.04	160.82	130.78
	127.70	136.10	148.78	158.77	161.81	133.43
<i>distancia total (m)</i>	12	12	12	12	12	12
<i>velocidad media (m/s)</i>	0.094	0.088	0.081	0.076	0.074	0.090
<i>Ancho (m)</i>	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
<i>profundidad (m)</i>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<i>coeficiente de corrección</i>	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
<i>caudal (m<sup>3</sup>/s)</i>	0.02596	0.02436	0.02228	0.02088	0.02049	0.02485
<i>caudal (L/s)</i>	25.96	24.36	22.28	20.88	20.49	24.85

Fuente: (autora,2019).

Tabla 13. Caudal salida de la PTAR de Tibú, Norte de Santander.

<b>caudal salida</b>							
	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00
<i>tiempo (s)</i>	115.67	110.23	112.76	123.54	127.51	115.65	110.3
	110.78	108.93	115.67	125.99	126.09	112.32	109.14
<i>promedio (s)</i>	109.45	106.48	114.56	127.89	129.3	115.7	112
	111.97	108.55	114.33	125.81	127.63	114.56	110.48
<i>distancia total (m)</i>	12	12	12	12	12	12	12
<i>velocidad media (m/s)</i>	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.10	0.11
<i>Ancho (m)</i>	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
<i>profundidad (m)</i>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<i>coeficiente de corrección</i>	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
<i>caudal (m<sup>3</sup>/s)</i>	0.02277	0.02349	0.02230	0.02027	0.01998	0.02226	0.02308
<i>caudal (L/s)</i>	22.77	23.49	22.30	20.27	19.98	22.26	23.08

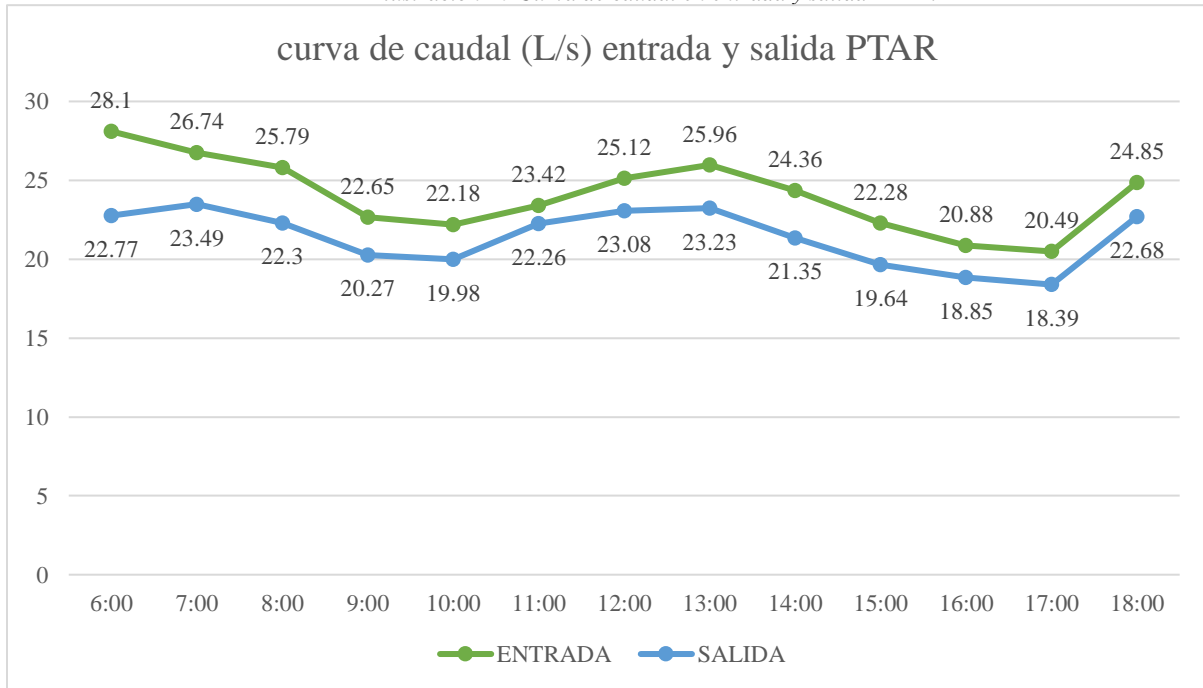
Fuente: (autora,2019)..

Tabla 14. Caudal salida de la PTAR de Tibú, Norte de Santander.

<b>caudal salida</b>		13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
<i>tiempo (s)</i>		111.21	120.41	130.12	132.35	135.66	110.22
		109.66	119.84	128.51	137.24	139.6	114.67
<i>promedio (s)</i>		108.45	118.09	130.98	136.26	140.67	112.34
		109.77	119.45	129.87	135.28	138.64	112.41
<i>distancia total (m)</i>		12	12	12	12	12	12
<i>velocidad media (m/s)</i>		0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.11
<i>Ancho (m)</i>		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
<i>profundidad (m)</i>		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<i>coeficiente de corrección</i>		0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
<i>caudal (m<sup>3</sup>/s)</i>		0.02323	0.02135	0.01964	0.01885	0.01839	0.02268
<i>caudal (L/s)</i>		23.23	21.35	19.64	18.85	18.39	22.68

Fuente: (autora,2019).

Ilustración 10 Curva de caudal en entrada y salida PTAR.



Nota: en esta gráfica, se puede observar de mejor manera, los caudales máximos y mínimos para la entrada y salida de la PTAR. Estos caudales son importantes para el diseño de las unidades a proponer para el mejoramiento de la PTAR.

Fuente: (autora,2020).

Como se observa en la anterior gráfica, el caudal de operación de la PTAR presenta una variabilidad a lo largo del día, estos picos de caudal se deben al tipo de actividades que se realizan en los hogares, ya que muchos se preparan para cumplir con sus actividades laborales y escolares, en las horas de la mañana, desde las 6:00 am a 8:00 am; después de las 8:00 am, el caudal disminuye debido al cese de actividades en las viviendas que demandan alto consumo, posteriormente de las 11:00 am hasta las 2:00 pm, se presenta un incremento de producción de agua residual, debido a la demanda por actividades como preparación de alimentos, uso doméstico, etc. Y nuevamente presenta un aumento a las 6:00 pm, muy seguramente por la misma razón anterior.

#### **7.1.5. Muestreo.**

En esta actividad, se presenta el muestreo realizado para determinar los valores de los parámetros fisicoquímicos exigidos por la Resolución 0631 de 2015, y así, poder evaluar el comportamiento que se presenta en el tratamiento.

En la PTAR del municipio de Tibú, NDS se realizó un muestreo en la entrada de la laguna y salida de la planta, este se realizó el día 14 de octubre de 2019. **Ver anexo 2.**

Para poder llevar a cabo el muestreo, se tuvo en cuenta el instructivo para la toma de muestras de aguas residuales del IDEAM, el cual especifica los materiales y el procedimiento a llevar a cabo, de esta forma se mantuvo la conservación y el almacenamiento de las muestras de agua.

- **Formatos y cadena de custodia:**

Para la caracterización en la PTAR, se utilizaron los formatos de cadena de custodia y libros de campo que se describen en el **anexo 2.**

- **Procedimiento toma de muestras en campo:** se presenta en el **anexo 1.**



- ✓ **Transporte:** para el transporte de las muestras, se necesitó de una nevera, con hielo y geles de refrigeración para mantener la cadena de frío.
- ✓ **Muestreo Compuesto:** Se realizó la toma de muestras en la entrada y salida de la planta, esto se llevó a cabo desde las 06:00 am hasta las 18:00 horas, luego se mezclaron las muestras tomadas a cada hora para obtener una muestra compuesta, la cual es la muestra que se analiza en el laboratorio.

*Ilustración 11. Toma de muestra en la entrada de la laguna*



*Fuente: (autora,2019).*

*Ilustración 12. Mezcla de muestras*



*Fuente: (autora,2019).*

Ilustración 13. Purga de muestras



Fuente: (autora,2019).

### 7.1.6. Caracterizaciones fisicoquímicas

- **Cadena de custodia:**

Tabla 15. Medición parámetros in-situ, entrada a la laguna de la planta de tratamiento de agua residual.

*Formato de campo*

PARÁMETROS PUNTO 1: ENTRADA LAGUNA							
Altura: 75 msnm							
<i>Hora</i>	pH	SS (ml/L)	T° (°C)	Conductividad (mS/cm)	Aforo caudal (L/s)	Sólidos disueltos (ppt)	responsable
6:00	7.56	2.5	23.3	2.8	28.1	1.4	Angie Arias
7:00	7.81	2.3	23.92	1.18	26.74	0.59	Angie Arias
8:00	7.43	2.9	24.93	1.56	25.79	0.78	Angie Arias
9:00	7.36	2.6	26.94	1.36	22.65	0.68	Angie Arias
10:00	7.38	3.4	27.17	1.09	22.18	0.545	Angie Arias
11:00	7.9	2.5	28.18	1.18	23.42	0.59	Angie Arias
12:00	7.95	1.2	29.3	1.1	25.12	0.55	Angie Arias
13:00	7.81	1.9	29.53	2.3	25.96	1.15	Angie Arias
14:00	7.85	1.8	29.42	2	24.36	1	Angie Arias
15:00	7.83	2.4	29.31	1.9	22.28	0.95	Angie Arias
16:00	7.79	2.1	28.2	1.56	20.88	0.78	Angie Arias
17:00	7.69	2.9	27.9	1.24	20.49	0.62	Angie Arias

18:00	7.76	2.7	25.5	1.2	24.85	0.6	Angie Arias
promedio	7.70	2.40	27.20	1.57	24.06	0.79	

Fuente: (autora,2019).

Ilustración 14. Evidencia toma de parámetros, entrada laguna



Fuente: (autora,2019).

Ilustración 15. Evidencia toma de parámetros, entrada laguna



Fuente: (autora,2019).

Tabla 16. Medición parámetros in-situ, salida de la planta de tratamiento de agua residual.

*formato de campo*

PARÁMETROS PUNTO 2: SALIDA							
Altura: 75 msnm							
HORA	pH	SS (ml/L)	T° (°C)	conductividad (mS/cm)	aforo caudal (L/s)	Sólidos disueltos (ppt)	responsable
6:00	7.86	0.6	23.8	1.2	22.77	0.4	Angie Arias
7:00	7.9	0.5	23.87	1.01	23.49	0.36	Angie Arias
8:00	7.56	0.4	24.2	1	22.3	0.32	Angie Arias
9:00	7.6	0.4	26.4	1.15	20.27	0.28	Angie Arias
10:00	7.77	0.2	27.72	0.98	19.98	0.21	Angie Arias
11:00	8.02	0.2	28.5	0.68	22.26	0.2	Angie Arias
12:00	8.21	0.3	29.39	0.54	23.08	0.22	Angie Arias
13:00	8.33	0.3	29.72	0.52	23.23	0.27	Angie Arias
14:00	8.3	0.3	29.6	0.8	21.35	0.35	Angie Arias
15:00	8.24	0.4	28.2	0.96	19.64	0.4	Angie Arias
16:00	7.68	0.5	27.67	1.3	18.85	0.49	Angie Arias
17:00	7.98	0.4	25.09	0.9	18.39	0.5	Angie Arias
18:00	7.93	0.2	24.2	0.74	22.68	0.5	Angie Arias
PROMEDIO	7.95	0.36	26.80	0.91	21.41	0.35	

Fuente: (autora,2019).

Ilustración 16. Evidencia medición parámetros salida PTAR.



Fuente: (autora,2019).

Ilustración 17. Evidencia medición parámetros salida PTAR.



Fuente: (autora,2019).

- **Medición de parámetros *ex-situ*:**

En el **anexo 4**. se presenta el procedimiento realizado para las mediciones de los diferentes parámetros en el laboratorio.

Tabla 17. Parámetros ex-situ medidos en laboratorio, Universidad de La Salle

Parámetro	unidades	punto de muestreo	
		punto 1	punto 2
		Entrada	Salida
DBO5	mg/L DBO <sub>5</sub>	230	57
DQO	mg/L DQO	420	160
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	63.6	22.46
Grasas y Aceites	mg/L	10.3	2.63
Nitrógeno amoniacal	mg/L N-NH <sub>3</sub>	26	9.5
Fósforo total	mg/L PO <sub>4</sub>	5.2	3.3
Cianuro total	Mg/L CN	0	0
Zinc	mg/L Zn	0	0
Cobre	mg/L Cu	0	0
Cadmio	mg/L Cd	0	0
Cromo	mg/L Cr	0	0
Niquel	mg/L Ni	0	0
Plomo	mg/L Pb	0	0

Fuente: (autora, 2019)

### 7.1.7. Eficiencia de remoción en la PTAR.

A continuación, se presentan los rangos de eficiencia teóricos de las lagunas facultativas, con base en la Resolución 0331/2017; así como también, se calcula la eficiencia de remoción de los diferentes parámetros fisicoquímicos que remueve la laguna.

Tabla 18. Rangos de eficiencia en lagunas facultativas

	Unidad de tratamiento	Eficiencia mínima de remoción de parámetros, porcentajes (%)						
		DBO5	DQO	SS T	SSE D	Grasas y aceites	patógenos	observaciones
Tratamiento secundario	Lagunas facultativas	80-90	40-50	63-75	75-85	70-70	80-90	Sin contar con algas

Fuente: Resolución 0331/2017, modificada por autora, 2020

Ecuación 1. Cálculo de eficiencia de remoción

$$E = \frac{X_0 - X_f}{X_0} * 100$$

Fuente: (UNAL, 2006).

Dónde:

E: Eficiencia de remoción

$X_0$ : Carga contaminante del afluente (mg/L)

$X_f$ : Carga contaminante del efluente (mg/L)

$$E (DBO5) = \frac{230 \frac{mg}{L} DBO5 - 57 \frac{mg}{L} DBO5}{230 \frac{mg}{L} DBO5} * 100 = 75.21 \%$$

$$E (DQO) = \frac{420 \frac{mg}{L} DQO - 160 \frac{mg}{L} DQO}{420 \frac{mg}{L} DQO} * 100 = 61.90 \%$$

$$E (SST) = \frac{63.6 \frac{mg}{L} - 22.46 \frac{mg}{L}}{63.6 \frac{mg}{L}} * 100 = 64.7\%$$

$$E (GyA) = \frac{10.3 \frac{mg}{L} - 2.63 \frac{mg}{L}}{10.3 \frac{mg}{L}} * 100 = 74.46 \%$$

$$E (SSED) = \frac{2.40 \frac{ml}{L} - 0.36 \frac{ml}{L}}{2.40 \frac{ml}{L}} * 100 = 85 \%$$

Al realizar una comparación entre las eficiencias mínimas de remoción de parámetros, según la norma, con las eficiencias calculadas, se pudo evidenciar que la eficiencia de remoción

de DBO<sub>5</sub> es de 75.21 %, lo cual indica que se encuentra por debajo del rango mínimo para la laguna, sin embargo, este valor se encuentra muy cerca al 80%, teniendo en cuenta que la PTAR no tiene ningún sistema de pretratamiento y tratamiento primario, la eficiencia de remoción es significativamente buena. Así mismo, las eficiencias de remoción de los otros parámetros restantes se encuentran dentro del ideal.

### 7.1.8. Comparación con parámetros de diseño de la laguna facultativa.

Tabla 19. Comparación de parámetros de diseño de laguna facultativa.

Parámetro de diseño	Observaciones y fórmulas	Teóricamente	Existente
<b>Tiempo de retención hidráulica (días) según RAS 2000</b>		5 a 30	18,67 días
<b>Profundidad (m)</b>		1 a 2.5	1.7 m
<b>Valor del pH</b>		6.5 a 9	7.7
<b>Carga contaminante</b>		100 a 350 kg DBO <sub>5</sub> /ha.día	230 kg DBO <sub>5</sub> /ha.día
<b>Medición de caudales</b>		Canaleta Parshall	No existe
<b>Dispositivos de entrada, interconexión y salida</b>	La tubería de entrada puede estar simplemente colocada sobre el dique	Altura de unos 20 o 30 cm sobre la superficie del agua	25 cm de flauta de entrada sobre superficie de agua
<b>Eliminación de nitrógeno (%)</b>		40-90	63.46 %
<b>Eliminación de fósforo (%)</b>		40-90	36 %
<b>Operación</b>		serie o paralelo	paralelo
<b>Sólidos suspendidos efluente (mg/L)</b>		40-100	22.46
<b>Tamaño laguna (ha)</b>		1 a 4	2.2

Fuente: Tomado de: (Ministerio de Desarrollo Económico, 2017), (CIDTA, s.f.), (U.S. Environmental Protection

Agency, 1983); modificado por autora, 2020



Como se puede observar, la laguna facultativa en sus parámetros de diseño cumple con los teóricamente establecidos según los diferentes autores, sin embargo, no cumple con la medición de caudal para controlar el flujo en la entrada de la laguna por medio de una canaleta Parshall, ya que la planta no cuenta con ella. Por otra parte, se observa que la carga de DBO<sub>5</sub> se encuentra en un rango medio, resaltando que este valor puede estar ligado a la falta de control y mantenimiento a la PTAR, con una eficiencia de remoción es del 75.21 %.

Adicional a esto, el valor del pH de 7.7 es bastante bueno, esto lo confirma la literatura, por ejemplo, (CIDTA, s.f) afirma: El pH de las lagunas facultativas viene determinado principalmente por la actividad fotosintética del fitoplancton y la degradación de la materia orgánica por las bacterias. Las algas consumen anhídrido carbónico en la fotosíntesis, lo que logra el desplazamiento del equilibrio de los carbonatos y da lugar a un aumento del pH. adicionalmente, la degradación de la materia orgánica conduce a la formación de CO<sub>2</sub> como producto final, lo que causa una disminución del pH. Cuando las lagunas facultativas están operando correctamente el pH presenta valores ligeramente alcalinos, del orden de 7,5-8,5.

Se determinó valores de nitrógeno y fosforo debido a que son parámetros de diseño de la laguna facultativa. Así mismo, se calcula la eficiencia de remoción de dichos parámetros en la entrada y salida de la laguna.

$$E (\text{Nitrógeno}) = \frac{26 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 9.5 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{26 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} * 100 = 63.46 \%$$

$$E (\text{Fósforo}) = \frac{5.2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 3.3 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{5.2 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} * 100 = 36 \%$$

La presencia de nitrógeno afecta el desarrollo y los procesos de las lagunas facultativas, ya que (CIDTA, s.f) afirma:

Tanto el nitrógeno amoniacal como los nitratos pueden ser utilizados por los microorganismos como nutrientes. Incorporándose al tejido celular y volviendo a formar parte del nitrógeno orgánico que se encuentra en el medio. Una parte de la materia orgánica y los microorganismos sedimentan y son parte de la capa de lodos acumulada en el fondo. Esto se convierte en un almacenamiento temporal de nitrógeno en forma orgánica y ocurre una fase de regeneración donde el nitrógeno orgánico de los sedimentos sufre los fenómenos de hidrólisis, con lo que se genera nitrógeno amoniacal que se reincorpora como nutriente a la capa líquida.

El fósforo como nutriente para los procesos de la laguna facultativa. “Representa un gran interés en los procesos de depuración porque normalmente es el nutriente limitante, es decir, el que se presenta en concentraciones inferiores y regula así la posibilidad de crecimiento de microorganismos.” (CIDTA, s.f).

#### **7.1.9. Comparación con normatividad vigente y otros estudios.**

Para lograr determinar con que parámetros fisicoquímicos y sus valores máximos permisibles se debe realizar la comparación con la resolución 0631/2015, se realiza primero el cálculo de la carga contaminante en kg/día de DBO<sub>5</sub>.

*Ecuación 2. Rangos para medición de DBO.*

$$B = (Q) * (CV) * (0.0864)$$

*Fuente: (Ministerio de ambiente, 1984)*

Donde:

B: Carga de control, kg/día.

Q: Caudal promedio del vertimiento, l/s.

CV: Concentración en el vertimiento, mg/l.

0.0864: Factor de conversión

- ✓ Carga contaminante punto 1: entrada.

*Ecuación 3. Carga contaminante entrada PTAR.*

$$B = (24.06 \text{ L/s}) * \left(230 \frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) * (0.0864) = 478.12 \text{ kg/día}$$

*Fuente: tomado del RAS, 2017; modificado por autora, 2019.*

- ✓ Carga contaminante punto 2: salida.

*Ecuación 4. Carga contaminante punto 2.*

$$B = (21.41 \text{ L/s}) * \left(57 \frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) * (0.0864) = 105.43 \text{ kg/día}$$

*Fuente: tomado del RAS, 2017; modificado por autora, 2019.*

Con base en lo anterior, se realiza la comparación con la resolución 0631/2015, capítulo V correspondiente a la sección de “AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (ARD), Y DE LAS AGUAS RESIDUALES (ARD – ARnD) DE LOS PRESTADORES DEL

SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO A CUERPOS DE AGUAS  
 SUPERFICIALES, CON UNA CARGA MENOR O IGUAL A 625,00 kg/DÍA DBO5”.

La comparación se realiza con los parámetros obtenidos en la entrada y salida, con los límites que exige la norma para el vertimiento a cuerpos de agua después de ser tratados.

A continuación, se realiza una comparación de los parámetros obtenidos en este proyecto, con la Resolución 0631/2015, para identificar si cumple con la normatividad vigente; también una comparación con el estudio realizado por WSP/PB, en el año 2016, y un muestreo realizado en el año 2014 por el Laboratorio Environmental Services de la Sociedad Colombiana S.A., acreditado por el IDEAM,

Tabla 20. Comparación de parámetros con Resolución 0631/2015. Punto 1: entrada

Parámetro	unidades	Punto 1: entrada	Punto 2: salida	Resolución 0631/2015
<b>Temperatura promedio</b>	°C	27.70	26.80	-
<b>pH</b>	Unidades de pH	7.70	7.95	6-9
<b>Conductividad</b>	µs/cm	1.57	0.91	-
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/L DBO <sub>5</sub>	230	57	90
<b>DQO</b>	mg/L DQO	420	160	180
<b>Grasas y Aceites</b>	mg/L	10.3	2.63	20
<b>Sólidos suspendidos totales (SST)</b>	mg/L	63.6	22.46	90
<b>Sólidos sedimentables</b>	ml/L	2.40	0.36	5

Fuente: tomado de Resolución 0631/2015, modificado por autora, 2019

- **Temperatura y pH.**

Como se pudo observar la temperatura varió entre 23 y 31° para afluente y efluente, lo cual es acorde con las condiciones ambientales de la zona, la cual se encuentra a una altitud de 75 msnm. En cuanto a la importancia de la temperatura, se tiene en cuenta que es uno de los principales factores que influyen en la degradación de la materia orgánica, ya que los microorganismos no regulan su temperatura interna, lo que hace que la temperatura externa determine la de ellos. Los valores de pH obtenidos se encuentran en un intervalo cercano a la neutralidad; estos valores se encuentran entre 7.38 y 8.3 unidades. El pH es un factor que puede también afectar la actividad y crecimiento de los microorganismos, limitando la degradación de la materia orgánica.

- **Conductividad.**

De acuerdo con Von Sperling: “la conductividad se define como la capacidad del agua para permitir el flujo de la corriente eléctrica; conductividades altas se asocian con la presencia de sales disueltas las cuales tienden a disociarse en iones positivos y negativos, algunos iones pueden aumentar la conductividad. El agua con alta concentración de sales puede ser perjudicial si se usan para riego de cultivos, impidiendo la asimilación de nutrientes por parte de las plantas y la actividad microbiana del suelo”.

- **Demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>).**

Según (Microlab industrial, 2015):

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), es el método más tradicional que mide la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos al proliferar en el agua residual

al alimentarse de la materia orgánica. Esto es un excelente indicador cuando se quiere evaluar el impacto en la fauna acuática de cuerpos receptores y también cuando el agua se presta como foco de infección, ya que algunos compuestos de carbono tienen diferente valor como sustratos para el crecimiento de los microorganismos. Así mismo, el agotamiento del oxígeno, junto con condiciones ricas en nutrientes, se denomina eutrofización, esta condición del agua natural puede llevar a la muerte de la vida animal. Sin embargo, se debe tener en cuenta que, en la salida, la concentración de DQO se elimina de forma efectiva, con una eficiencia del 61.90 %.

Por otra parte, la DQO es la demanda química de oxígeno del agua; en otras palabras, es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica y convertirla en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . entre más alto sea el valor de la DQO, nos indica que el agua presenta mayor contaminación. El valor de la DQO en la salida de la planta es de  $160 \text{ mgO}_2/\text{l}$ , esto quiere decir que la oxidación del material orgánico, biodegradable y no biodegradable, no se lleva de manera completa o adecuada, aunque se cumpla con el límite, este valor se puede incrementar si no se monitorea, si no se hacen mantenimientos y no se mejora la operación de la PTAR.

En términos de biodegradabilidad, la relación  $\text{DBO}_5/\text{DQO}$  para el afluente es de 0.5 y para el efluente de 0.35, lo que indica que más del 50% de los compuestos presentes en el agua residual son susceptibles de ser degradados a través de los microorganismos, aspecto positivo para el sistema lagunar.

Otro indicador de su buen funcionamiento es la presencia de animales como peces y caimanes dentro de la laguna; esto se afirma, porque durante las visitas realizadas a la planta, se pudo evidenciar la presencia de dichos animales, el cual su hábitat es la laguna, esto indica que las condiciones de la laguna son adecuadas para ellos, como lo son el pH, la temperatura, la presencia de algas y microorganismos, y oxígeno.

- **Grasas y aceites.**

Según la Resolución 0631 de 2015: “las grasas y aceites son aquellas sustancias de naturaleza lipídica que, al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico y químico, por lo cual se deben eliminar en los primeros pasos del tratamiento”. Este problema puede afectar a sistemas lagunares, ya que pueden producir la acidificación del agua junto con bajos niveles de oxígeno disuelto, además interfiere con la penetración de la luz solar. Sin embargo, en la PTAR de Tibú, el % de grasas y aceites no es alto, sin embargo, la principal fuente de aportación de estas es de origen doméstico.

- **Sólidos suspendidos totales.**

Según Von Sperling: “los sólidos en general son un indicador de contaminación debido a su capacidad de crear depósitos de lodos en el fondo de cuerpos de agua, incrementando la DBO, hasta el punto de poder crear condiciones anaerobias en este, también son conocidos por no permitir el paso de la radiación solar en los cuerpos de agua, lo cual no permite llevar a cabo procesos fotosintéticos por parte del fitoplancton. Es por ello que los sólidos en

suspensión son uno de los principales objetivos a eliminar por parte de los sistemas de tratamiento de agua residual. En la caracterización se evidenció que la carga de SST no sobrepasa los límites que da la normatividad. Sin embargo, se tendrán en cuenta recomendaciones necesarias para implementar actividades de operación y mantenimiento de planta.

- **Sólidos sedimentables (SSED).**

Los sólidos sedimentables se definen con la cantidad de material de una muestra que se sedimenta en cierta unidad de tiempo (en este caso, 1 hora), estos sólidos están un poco relacionados con los sólidos suspendidos ya que son una fracción perteneciente de estos, por lo tanto, se puede deducir que los sólidos sedimentables son una aproximación de los sólidos suspendidos. Los SSED obtenidos en el efluente es de 0.36 mL/L, un indicador bastante favorable en cuanto a la remoción de estos sólidos por parte de la PTAR.

Los resultados obtenidos en la salida de la PTAR, al compararse con la Resolución 0631/2015, indican que ninguno incumple con la norma, esto quiere decir que la laguna facultativa lleva a cabo los procesos de remoción de la carga contaminante de manera eficiente.

- ✓ **Comparación con parámetros fisicoquímicos determinados por WSP/PB, 2014 y 2016.**

Debido a que, en el año 2016, una empresa de consultoría realizó un diagnóstico enfocado al sistema de acueducto de Tibú, en donde también tuvo en cuenta algo relacionado con la



PTAR del municipio. En donde realizaron la determinación de algunos parámetros que exige la norma, en la entrada y salida de la planta; debido a que son estudios relativamente recientes, es por esta razón que se tienen en cuenta como comparativo para este proyecto. Así como también se tiene en cuenta un muestreo realizado por este mismo estudio de consultoría, en donde las muestras fueron analizadas en un laboratorio certificado por el IDEAM, en el año 2014, sin embargo, para este año se realizó la determinación de los parámetros para 4 puntos de vertimiento del sistema de alcantarillado, los cuales son los siguientes:

Tabla 21. Puntos de muestreo agua residual, Tibú, año 2014.

Punto de Monitoreo	Matriz	Coordenadas	
		Norte	Oeste
<b>Vertimiento No1</b>	Agua residual	8°37'59,1"	72°44'28,3"
<b>Vertimiento No 3</b>		8°37'51,5"	72°44'18,4"
<b>Vertimiento la Esperanza</b>		8°39'16,7"	72°44'35,0"
<b>Laguna de oxidación</b>		8°37'15,2"	72°42'57,1"

Fuente: (adoptado de WSP/PB, 2016).

Debido a lo anterior, se realiza comparación para la entrada a la laguna con los parámetros obtenidos en el año 2014, ya que solo existen datos para este punto.

Tabla 22. Comparación de parámetros con WSP/WP año 2016 y 2014 para punto 1: entrada

Parámetro	unidades	Entrada		
		WSP/PB, 2016	WSP/PB, 2014	
<b>DBO5</b>	mg/L DBO5	230	250.25	350
<b>DQO</b>	mg/L DQO	420	530	482

<b>Grasas y Aceites</b>	mg/L	10.3	No hay dato	1.85
<b>Sólidos suspendidos totales</b>	mg/L	63.6	48.25	92
<b>pH</b>	Unidades de pH	7.95	No hay dato	6.46
<b>Sólidos sedimentables</b>	ml/L	0.36	No hay dato	0.56
<b>Nitrógeno amoniacal</b>	mg/L N-NH3	9.5	14.87	28.8
<b>Fósforo total</b>	Mg/l	5.2	No hay dato	0.16

Fuente: (modificada por autora, 2019).

Tabla 23. Comparación de parámetros con WSP/WP año 2016 para punto 2: salida.

Parámetro	unidades	Punto 2	
		Salida	WSP/PB, 2016
<b>DBO5</b>	mg/L DBO5	57	158.75
<b>DQO</b>	mg/L DQO	160	253
<b>Grasas y Aceites</b>	mg/L	2.63	No hay dato
<b>Sólidos suspendidos totales</b>	mg/L	22.46	50
<b>pH</b>	Unidades de pH	7.95	No hay dato
<b>Sólidos sedimentables</b>	ml/L	0.36	No hay dato
<b>Nitrógeno amoniacal</b>	mg/L N-NH3	9.5	9.3
<b>Fósforo total</b>	Mg/l	3.3	No hay dato

Fuente: (modificada por autora, 2019).

Esta comparación con los estudios realizados por la empresa consultora WSP/PB, en el año 2016; permite afirmar que los parámetros comparados, se encuentran en un rango cercano, el único que se encuentra un poco lejano, es la DQO en la salida, sin embargo. Esto puede ser debido a que, en ese año, la segunda celda de la laguna, no se encontraba

en funcionamiento, porque se estaban realizando ajustes y construcción de esta. Por ende, la laguna presentaba una sobrecarga en un área relativamente pequeña para la PTAR, ya que el caudal suele ser alto.

#### **7.1.10. Identificación de falencias y prioridades en la PTAR.**

La identificación de las falencias y prioridades que requiere la PTAR para su funcionamiento óptimo se realizó con base en el diagnóstico técnico, operativo y administrativo, lo cual refleja el estado actual de la planta. En el diagnóstico anterior, se evidenció un cumplimiento significativo por parte de la PTAR, sin embargo, se determinaron las falencias o carencias de la planta, las cuales son necesarias para un Sistema de Tratamiento de Agua Residual. Por ello a continuación se relacionan 5 falencias en la planta, ordenadas según su prioridad.

*Tabla 24. Identificación de falencias en la PTAR*

Ítem	Falencia identificada	Observaciones
1	La planta no cuenta con sistema de pretratamiento: rejillas o cribado	Es necesario implementar un sistema de rejillas o cribado, ya que esto entorpece el sistema de tratamiento actual, causando daños a la instrumentación de la planta y una sobrecarga de material sólido grueso en el sistema lagunar.
2	La planta no cuenta con sistema de aforo de caudal.	No existe un sistema de aforo que permita realizar la medición de caudal diario de la planta, el aforo de caudal es primordial ya que

		<p>permite realizar caracterizaciones optimas de seguimiento que permita identificar el cumplimiento de la PTAR con respecto a la normativa, así mismo, es necesario conocer el caudal de entrada y salida para no obtener problemas con respecto al sobredimensionamiento de unidades, gastos económicos, mal funcionamiento de la planta y multas económicas por parte de la Autoridad Ambiental competente.</p>
3	Presencia de cortocircuitos	<p>El diseño hidráulico actual de la planta y la identificación de zonas muertas en los extremos de la laguna a través de la observación y la presencia de olores dan lugar a cortocircuitos y por ende, en la disminución del volumen útil de la laguna, lo cual afecta la eficiencia de remoción de carga contaminante.</p>
4	La planta no cuenta con operario	<p>Es fundamental que la planta cuente con un operario, que garantice el estado y funcionamiento óptimo de la planta.</p>
5	Falta de mantenimiento preventivo y	<p>Es necesario que se realice limpieza a las unidades de la PTAR cada vez que lo requiera. Así como el mantenimiento</p>

	limpieza a la PTAR cada vez que lo requiera	preventivo para conservar el buen estado de la planta, asegurando funcionamiento y alargando su vida útil.
6	La autoridad ambiental competente (CORPONOR) no realiza control a la PTAR	Corponor como autoridad ambiental no ha realizado ningún control en cuanto al cumplimiento de los parámetros de vertimiento de la PTAR. Aunque es una falencia externa, repercute en gran medida ya que la empresa de servicios públicos no ve la necesidad de garantizar un funcionamiento óptimo de la planta.

*Fuente: (autora, 2019)*

## **7.2.FASE II. Propuesta de alternativas.**

Para poder identificar y proponer cada una de las propuestas que busquen mejorar la PTAR, se debe tener en cuenta, datos como: proyección de población, caudal de diseño y parámetros de diseño de las unidades a proponer.

### **7.2.1. Caudal de diseño**

Según la resolución 0330 de 2017, para el dimensionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, deberán tenerse en cuenta los caudales indicados en la siguiente tabla.

Tabla 25. Caudales de diseño para el tratamiento de aguas residuales

Caudal	Descripción	Aplicación
Caudal medio de diseño	Caudal medio diario de capacidad de la PTAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caudal medio de referencia</li> <li>- Caudal de diseño de unidades de tanques sépticos</li> <li>- Sistemas lagunares</li> </ul>
Caudal máximo horario	Máximo volumen en una hora, identificado en los registros estudiados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensionamiento de sistemas de bombeo, procesos físicos (desarenadores, cribados, trampas de grasa y sedimentadores primarios y secundarios)</li> <li>- Desarrollo de estrategias operativas</li> <li>- Conductos de interconexión de unidades de proceso</li> </ul>
Caudal máximo diario	Máximo volumen en un día, identificado en los registros estudiados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensionamiento de tanques de regulación</li> <li>- Dimensionamiento de sistemas de bombeo de lodos</li> <li>- Dimensionamiento de dosificación química</li> </ul>
Caudal máximo mensual	Caudal promedio diario para el mes con el mayor volumen mensual identificado en los registros estudiados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensionamiento de bioreactores.</li> <li>- Dimensionamiento del almacenamiento de químicos</li> </ul>

Fuente: (Resolución 0330 de 2017, sección 1).

Según la resolución 0330 de 2017, para el diseño de la PTAR se deberán utilizar datos históricos de factores máximos de su cuenca, de PTAR similares en tamaño y condiciones, o en su defecto, emplear los siguientes factores pico.

Tabla 26. Factores pico para caudales de tratamiento de aguas residuales

Rango de caudales (l/s)	Factor máximo horario	Factor máximo diario	Factor máximo mensual
0 - 10	4	3	1,7
Los valores de los factores máximos horario, diario y mensual para caudales entre 10 y 90 l/s se interpolarán linealmente			
90	2,9	2,1	1,5
Los valores de los factores máximos horario, diario y mensual para caudales entre 90 l/s y 700 l/s se interpolarán linealmente.			
Mayor a 700	2	1,5	1,2

Fuente: (resolución 0330 de 2017, sección 1).

### 7.2.2. Información básica de población.

El municipio de Tibú con código DANE 54810, según el último Censo del DANE del año 2005, contaba con una población en la cabecera municipal de 11.711 habitantes, y en la zona rural de 18.348 habitantes para un total de 30.059 habitantes.

Tabla 27. Población total conciliada municipio de Tibú censo año 2005

Total (100%)			Cabecera (24,97%)			Resto (75,03%)		
Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
30.059	15.776	14.283	11.711	5.798	5.913	18.348	9.978	8.370
100%	52,48	47,51	100%	49,50	52,70	100%	54,38	45,62

Fuente: (DANE,2005).

#### ✓ Datos censos DANE

Para el municipio de Tibú los censos históricos con información corresponden a los años 1985, 1993, y 2005. Los datos de los censos realizados por el DANE para el municipio de Tibú se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 28. Datos censo DANE.

Año	Habitantes		
	Cabecera	Resto	Total
1951			
1964			
1973			
1985	9.497	26.165	35.662
1993	10.961	23.689	34.650
2005	11.711	18.348	30.059

Fuente: (DANE,2005), modificado por autora

### 7.2.2.1. Proyecciones DANE

La población estimada al año 2020 del municipio de Tibú, según proyecciones del DANE, se presenta a continuación en la Tabla 27.

Tabla 29. Proyecciones DANE-2006-2020 del caso urbano del municipio de Tibú.

Año Censo	Población Urbana (habitantes)
2006	12.037
2007	12.185
2008	12.347
2009	12.502
2010	12.663
2011	12.831
2012	13.005
2013	13.190
2014	13.378
2015	13.566
2016	13.763
2017	13.955
2018	14.141
2019	14.325
2020	14.490

*Fuente: (DANE, 2005).*

### 7.2.3. Métodos para la estimación de la población futura.

El cálculo o estimación de la población futura a ser atendida por los sistemas de acueducto y alcantarillado se realiza utilizando los modelos geométrico, aritmético y exponencial, mediante las metodologías presentadas en el RAS 2000 (Titulo B, tabla B.2.1 “Métodos de cálculo permitidos según el nivel de complejidad del sistema para la proyección de la población”).



Tabla 30. Métodos e cálculo permitidos según el Nivel de Complejidad del Sistema.

Método por emplear	Nivel de Complejidad del Sistema			
	Bajo	Medio	Medio Alto	Alto
Aritmético, Geométrico y Exponencial	X	X		
Aritmético, Geométrico, Exponencial y otros			X	X
Por componentes (demográfico)			X	X
Detallar por zonas y detallar por densidades			X	X

Fuente: (Titulo B, RAS-2000).

El cálculo o estimación de la población futura requerida para determinar el caudal de la PTAR se realiza utilizando los modelos matemáticos aritmético, geométrico y exponencial, mediante las metodologías de cálculo presentadas en el Título B del RAS 2000 (tabla B.2.1). Para la estimación de la población proyectada al final del periodo de diseño es necesario contar con información de datos demográficos, especialmente los censos de población del DANE, los censos disponibles de suscriptores del servicio de alcantarillado y otras entidades como el SISBEN. Igualmente se requiere conocer las zonas actuales de población y las zonas de expansión futuras, así como las distribuciones espaciales de la población según los diferentes usos del suelo, tipos de consumidores y distribución espacial de la demanda. Las metodologías de cálculo de proyección de población por cada modelo matemático se muestran a continuación.

Para estos métodos establecidos en la normatividad, es necesario contar con información de datos demográficos, especialmente los censos de población del DANE o los censos disponibles de suscriptores de alcantarillado y otras entidades como el SISBEN.

Los métodos de cálculo empleados en la estimación de la población futura para el municipio de Tibú, presentados en el numeral anterior (Titulo B, B.2.2 del RAS 2000), tuvieron en cuenta lo siguiente.

- ✓ La información tomada correspondió a los censos realizados en Colombia para los años 1985, 1993 y 2005, e información del SISBEN y de EMTIBÚ para el año 2019 como se observa en la siguiente Tabla.

*Tabla 31. Censos realizados.*

AÑO	HABITANTES
1985	9.497
1993	10.961
2005	11.711
2019	18.020

*Fuente: (DANE, 2005).*

- ✓ Se calcularon las tasas de crecimiento para diferentes rangos intercensales con el método aritmético, método geométrico y el método exponencial tomando siempre como año final el año 2019 así: (1985-2019; 1993-2019; 2005-2019). Las metodologías de cálculo de proyección de población por cada modelo matemático se muestran a continuación.

#### **7.2.3.1. Método aritmético.**

Según el RAS 2000, este método supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. Se caracteriza porque la población aumenta a una tasa constante de crecimiento aritmético, es decir que a la población del último censo se le adiciona un número fijo de habitantes para cada periodo en el futuro, es recomendado para poblaciones pequeñas de poco desarrollo o con áreas de crecimiento casi nulas. La ecuación para calcular la población proyectada es el siguiente:

*Ecuación 5. Cálculo población proyectada, método aritmético*

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ei}}{T_{uc} - T_{ei}} \times (T_f - T_{uc})$$

*Fuente: (RAS 2000)*

En donde:

Pf: Población (habitantes) correspondientes al año para el que se requiera proyectar la población.

Puc: Población (habitantes) correspondiente al último año censado con información.

Pci: Población (habitantes) correspondiente al censo inicial con información.

Tci: Año correspondiente al censo inicial con información

Tf: Año al cual se quiere proyectar la información.

Para el análisis por este método se realizó la comparación entre los datos obtenidos en las proyecciones calculadas por la autora vs los datos de la proyección realizada por el DANE calculados hasta el año 2019. Los periodos intercensales y las tasas de crecimiento obtenidas por el método aritmético se presentan en la siguiente tabla.

*Tabla 32. Método Aritmético, Periodos intercensales y tasas*

Periodo Intercensal	Tasa de crecimiento (hab/año)
1985 – 2005	183
1993 – 2005	62.50
2005-2019	300.82
Promedio*	182.11

*Fuente: (autora, 2019).*

El rango intercensal promedio, correspondiente al periodo intercensal 1985 – 2005 con una tasa de crecimiento aritmética, la población proyectada por este método para el año 2019 fue de 15566 habitantes.

### 7.2.3.2.Método geométrico

Este método es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genere un apreciable desarrollo y que posean áreas de expansión que puedan ser dotadas con servicios públicos sin mayor inconveniente. El crecimiento es geométrico si el aumento de la población es proporcional al tamaño de esta. La ecuación que se emplea es la siguiente:

*Ecuación 6. Cálculo población proyectada, método geométrico.*

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

*Fuente: (RAS 2000).*

En donde r es la tasa de crecimiento anual en forma decimal y las demás variables se definen igual que para el método anterior, esta tasa de crecimiento se calcula de la siguiente manera:

*Ecuación 7. Cálculo tasa de crecimiento anual, método geométrico*

$$r = \left( \frac{P_{cu}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc} - T_{ci})}} - 1$$

*Fuente: (RAS 2000).*

En el análisis de población por el método geométrico se tomó el promedio de las tasas de los diferentes censos. La tasa geométrica para el cálculo es de 0,0080, que resultó para la proyección hasta el año 2044 de los datos proyectados del DANE hasta el 2020.

Los periodos intercensales y las tasas de crecimiento obtenidos por el método geométrico se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 33. Método geométrico, periodos intercensales y tasas.

Periodo Intercensal	Tasa de crecimiento (%)
1985-2019	0.0153
1993-2019	0.0143
2005-2019	0.0240
Promedio*	0.0178
Departamento	0.0087

Fuente: (autora, 2019).

La población proyectada para el año 2044 con la tasa del 0,0178 geométrica, fue de 24198 habitantes, la cual se proyecta por encima de la línea de tendencia de las proyecciones realizadas por el DANE.

#### 7.2.3.3. Método exponencial.

La utilización de este método requiere conocer por lo menos tres censos para poder determinar el promedio de la tasa de crecimiento de población. Se recomienda su aplicación a poblaciones que muestren un desarrollo apreciable y posean abundantes áreas de expansión. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 8. Cálculo de proyección de población, método exponencial.

$$P_f = P_{ci} \times e^{k \times (T_f - T_{ci})}$$

Fuente: (RAS, 2000).

En donde k es la tasa de crecimiento de la población, la cual se calcula como el promedio de las tasas para cada par de censos, así:

*Ecuación 9. Tasa de crecimiento de población para el método exponencial.*

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

En donde:

Pcp: población del censo posterior.

Pca: población del censo anterior.

Tcp: año correspondiente al censo posterior.

Tca: año correspondiente al censo anterior.

En este método el promedio de la tasa de crecimiento se realizó excluyendo los datos negativos y los datos con un crecimiento o decrecimiento desmesurado (Guía RAS-001). El último periodo intercensal corresponde al último dato de censo realizado por el DANE en el año 2005, y el dato de proyección realizado por el DANE para el año 2019 se considera un dato oficial (Guía RAS-001).

#### **7.2.4. Resultado de la estimación de la población futura.**

Los resultados obtenidos para la determinación de la población por los métodos Aritmético, Geométrico y Exponencial se presentan en la Tabla adjunta.

Tabla 34.Métodos de cálculo de población.

AÑO	MÉTODO DE CÁLCULO			DATOS CENSO
	ARITMÉTICO	GEOMÉTRICO	EXPONENCIAL	DANE
2006	13199	12666	12889	12037
2007	13381	12884	13088	12185
2008	13563	13106	13290	12347
2009	13745	13331	13495	12502
2010	13927	13560	13703	12663
2011	14109	13793	13914	12831
2012	14292	14030	14128	13005
2013	14474	14271	14346	13190
2014	14656	14517	14567	13378
2015	14838	14766	14792	13566
2016	15020	15020	15020	13763
2017	15202	15278	15252	13955
2018	15384	15541	15487	14141
2019	15566	15808	15725	14325
2020	15748	16080	15968	14490
2021	15931	16356	16214	-
2022	16113	16637	16464	-
2023	16295	16923	16718	-
2024	16477	17214	16976	-
2025	16659	17510	17237	-
2026	16841	17811	17503	-
2027	17023	18117	17773	-
2028	17205	18429	18047	-
2029	17387	18745	18325	-
2030	17569	19068	18608	-
2031	17752	19395	18895	-
2032	17934	19729	19186	-
2033	18116	20068	19482	-
2034	18298	20413	19782	-
2035	18480	20764	20087	-
2036	18662	21121	20397	-
2037	18844	21484	20711	-
2038	19026	21853	21031	-
2039	19208	22229	21355	-
2040	19391	22611	21684	-
2041	19573	23000	22018	-
2042	19755	23395	22358	-

<b>2043</b>	19937	23794	22704	-
<b>2044</b>	20119	24198	23051	-

*Fuente: (autora, 2019).*

Para determinar el crecimiento poblacional en el casco urbano de Tibú se adoptó la proyección de población por el método exponencial calculada por la autora y aprobada por el director del proyecto. Para su cálculo se emplearon los datos presentados por el DANE para los censos de 1985, 1993 y 2005 y adicionalmente se consideraron los usuarios actuales de año 2019 para establecer la población final del año horizonte del proyecto (año 2044).

El cálculo de la población por el método Exponencial favorece al Municipio que presenta todas las características, como lo son:

El municipio muestra actividades económicas bien definidas como lo son: la explotación de recursos naturales (petróleo, gras, carbón), agropecuaria y de comercio, posee áreas adecuadas para la expansión del municipio en el mediano o largo plazo que puedan ser dotadas con servicios públicos fácilmente por encontrarse al costado sur del municipio sector donde puede existir disponibilidad del servicio de acueducto y alcantarillado por cota y el crecimiento de la población puede ser proporcional al tamaño del casco urbano.

En la siguiente tabla, se presentan los criterios adoptados para el cálculo de la población de Tibú.

*Tabla 35. Criterios para proyección de población.*

Municipio	Nivel de Complejidad	Método de Proyección	Tasa de crecimiento	Población Flotante (%)*
Tibú	Medio alto	Exponencial	1.53	15

*Nota: el porcentaje de población flotante está referido a la población de la cabecera municipal.*

*Fuente: (autora, 2019).*



### **7.2.5. . Población flotante**

En la cabecera Municipal de Tibú existen rasgos históricos, borrados por la violencia. Tibú forma parte de las 23 Zonas veredales transitorias de normalización (ZVTN) establecidas en los acuerdos de paz de la Habana. Es una región privilegiada, la riqueza petrolera es laborada por la Empresa Colombiana de Petróleos, ECOPETROL y su producción en la actualidad ha disminuido de manera vertiginosa.

En la estimación de la población flotante se partió de diferente información como la presentada en la Resolución No. 0431 de 30 de octubre de 2015 por la cual se dictan normas sobre calendario académico para los Establecimientos Educativos Oficiales y No Oficiales de Educación Formal de los municipios no certificados en los Niveles y Ciclos de Educación Preescolar, Básica y Media y se establecen los parámetros y lineamientos a tener en cuenta en las actividades que realizan los Directivos Docentes, Docentes y Estudiantes para el año lectivo 2019 en el Departamento de Norte de Santander. En el Artículo 6 – Receso Estudiantil se indica que los estudiantes tendrán receso de doce semanas calendario durante el año escolar distribuidas.

Según la WSP/PB, 2016 la población flotante para el municipio de Tibú corresponde al 15%, promedio de escenario alto y bajo. Por ello para el año 2044 la población flotante se estima en 3458 habitantes que corresponde al 15 % de la población para el mismo año que es 23.051.

### **7.2.6. Población de diseño.**

Se establece que la población total o de diseño del casco urbano del municipio de Tibú corresponderá al valor de la población proyectada por el Método Exponencial, incrementada en un 15% (población flotante).

Según lo anterior la población proyectada al año 2044 será de 23.051 habitantes más 3.458 habitantes (valor de población flotante), para un total de 26.509 habitantes en la cabecera municipal.

#### **7.2.7. Periodo de diseño**

Según la resolución 0330 de 2017, capítulo 1, afirma que, para todos los componentes de sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, se adopta como periodo de diseño 25 años.

Recordando que el periodo de diseño es aquel al cual se proyectan los diseños de la PTAR.

#### **7.2.8. Estimación de la dotación.**

La dotación es el consumo de agua diario que sirve para el cálculo de los caudales de diseño, por lo general el sistema de abastecimiento o el sistema de vertimiento público deberá ser siempre que sea posible, una cantidad suficiente y de la mejor calidad desde el punto de vista físico, químico y bacteriológico.

##### **7.2.8.1. Dotación neta máxima**

La dotación neta per cápita de aportes unitarios de cada habitante, se escoge de acuerdo con la dotación máxima del sistema, representada como la cantidad máxima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante, teniendo en cuenta que aquí no se consideran pérdidas dentro del sistema.

Según la resolución 0330 de 2017, capítulo 1, artículo 43; se determinará teniendo en cuenta la siguiente tabla.

Tabla 36. Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida.

<b>ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA</b>	<b>DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)</b>
> 2000 m.s.n.m	120
1000 – 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Fuente: (resolución 0330 de 2017. Cap. 1. art 43).

De acuerdo con la metodología expuesta en el libro “Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados” se puede tomar un dato de consumo neto, haciendo uso de la sumatoria del valor del uso y consumo de agua, pero para el efecto de la evaluación de la PTAR se tomó el dato de dotación neta por normatividad con un valor de 140 L/Hab\*Dia.

### **Cálculo de las pérdidas.**

Las pérdidas de agua son un parámetro para el cálculo de las dotaciones brutas respecto a las pérdidas en la aducción o agua cruda, en la planta de tratamiento para su operación y mantenimiento, pérdidas en la conducción y distribución así como las pérdidas técnicas en el sistema por efecto de reparaciones y daños que se puedan presentar, pero debido al alto valor de estas pérdidas y teniendo en cuenta el Artículo 6° de la Resolución 1795 de la CRA, todos los sistemas están comprometidos a realizar esfuerzos para disminuirlas al máximo pues el nivel máximo de agua no contabilizada que se aceptará para el cálculo de los costos de la prestación del servicio será del 25%.

Finalmente, en el párrafo en el artículo 44 de la resolución 0330 establece que:” ...el porcentaje de pérdidas técnicas máximas engloba el total de perdidas esperadas en todos los componentes del sistema (como conducciones, aducción y redes), así como las necesidades de la planta de tratamiento de agua potable, y no deberá superar el 25%.”

### 7.2.8.2. Cálculo de la dotación bruta.

El artículo 44 de la resolución 0330 de 2017, define que la Dotación Bruta, es la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante considerando para su cálculo el porcentaje de pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto, para su cálculo la Norma RAS 2000 y la resolución, establece la siguiente ecuación:

*Ecuación 10. Dotación bruta del sistema*

$$DB = DN / (1 - \%P)$$

Dónde:

DN: Dotación Neta del Sistema, expresada en L/ (hab día).

DB: Dotación Bruta del Sistema, expresada en L/ (hab día).

%P: Porcentaje de Perdidas del Sistema, expresado en tanto por uno (% de pérdidas no debe ser superior al 25%).

Se asume el porcentaje de perdidas máximo.

Entonces:

$$DB = \frac{140 \frac{l}{hab * dia}}{1 - 25\%} = 186.66 \frac{L}{hab} * dia$$

### 7.2.9. Estimación real de las contribuciones de aguas residuales.

La estimación de las contribuciones de aguas residuales, se calcularon teniendo en cuenta el artículo 134 de la resolución 0330 de 2017, del cual se derivan los valores de aportes estimados para las contribuciones domésticas, institucionales, comerciales, industriales y otros aportes adicionales no relacionados al consumo como son las conexiones erradas e infiltraciones. El diseño del proceso de tratamiento de aguas residuales se basa en el caudal máximo semanal para

el periodo de diseño. El diseño hidráulico de la planta debe hacerse para el caudal máximo horario. El aporte doméstico de aguas residuales denominado QD, depende de la dotación per cápita, la población, la densidad demográfica y el coeficiente de retorno, el cálculo de este aporte está dado por la siguiente expresión:

*Ecuación 11. Caudal de diseño de aportes domésticos*

$$QD = C * P * R / 86400$$

Dónde:

QD: Caudal de diseño de aportes domésticos, expresado en L/s

C: Dotación neta de diseño corregida, expresada en l/hab día

P: Población en hab.

R: Coeficiente de Retorno de Aguas Residuales, adimensional (se toma un valor de 0.85)

Entonces, se realiza la estimación para las condiciones iniciales del sistema, en este caso para el año 2019, con un total de 16474 habitantes, este cálculo se basa en el número de habitantes proyectados por el DANE, que es de 14325 habitantes, más el 15% de población flotante. y la proyección final de 25 años, para un total de 26914 habitantes.

$$QD_{real2019} = 24.06 \text{ l/s}$$

$$QD_{proyectado2019} = 140 \frac{l}{hab * dia} * 16474 * 0.85\% / 86400 = 22.68 \text{ l/s}$$

$$QD_{2044} = 140 \frac{l}{hab * dia} * 26509 * 0.85\% / 86400 = 36.05 \text{ l/s}$$

✓ Caudal de aguas industriales (QI)

Para el municipio de Tibú no hay evidencia de industria y el PBOT, tampoco lo evidencia. Sin embargo, se prevé un consumo de agua en dado caso de que exista una industria.

La contribución de las aguas residuales por parte de la industria se establece con la siguiente tabla:

*Tabla 37. Contribución industrial.*

Nivel de complejidad del sistema	Contribución industrial (L/s-ha ind)
Bajo	0,4
Medio	0,6
Medio alto	0,8
Alto	1,0-1,5

*Fuente: (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título D).*

Para el cálculo del aporte industrial de aguas residuales suponemos un área industrial de 0.5 ha

$Q_i = \text{Contribución industrial} * \text{área industrial}$

$$Q_i = (0.8 \text{ L/s} * \text{ha}) * (0.5 \text{ ha}) = 0.4 \text{ L/s}$$

✓ Caudal de aguas comerciales (QC)

El municipio de Tibú, cuenta con 138 usuarios comerciales, los cuales ocupan un área total de 2,34 ha.

*Tabla 38. Contribución comercial*

Nivel de complejidad del sistema	Contribución comercial (L/s-ha com)
Cualquier	0,4 - 0,5

*Fuente: (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título D).*

Entonces:

$Q_C = \text{Contribución comercial} * \text{área comercial}$

$$Q_C = (0.5 \text{ L/s} * \text{ha}) * (2.34 \text{ ha}) = 1.17 \text{ L/s}$$

- ✓ Caudal de aguas institucionales (QIN):

El aporte institucional en Tibú, está dado por colegios y puesto de salud.

*Tabla 39. Contribución Institucional mínima en zonas residenciales.*

<b>NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA</b>	<b>CONTRIBUCION COMERCIAL</b>
Cualquier	0,4 – 0,5

*Fuente: (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título D).*

$$QIN = \text{área institucional} * \text{contribución institucional}$$

$$QIN = 1.78 \text{ ha} * 0.5 = 0.89 \text{ L/s}$$

- ✓ Caudal medio de aguas residuales (QMD)

El caudal medio de las aguas residuales es la suma de los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales.

*Ecuación 12. Caudal medio de aguas residuales*

$$QMD = QD + QI + QC + QIN$$

$$QMD_{2019} = 24.06 \text{ L/s} + 0,4 \text{ L/s} + 1.17 \text{ L/s} + 0,89 \text{ L/s}$$

$$QMD = 26.52 \text{ L/s}$$

$$QMD_{2044} = 36,05 \text{ L/s} + 0,4 \text{ L/s} + 1.17 \text{ L/s} + 0,89 \text{ L/s}$$

$$QMD = 38.51 \text{ L/s}$$

✓ Caudal conexiones erradas (QCE)

Deben considerarse los aportes de aguas lluvias al sistema de alcantarillado sanitario, provenientes de malas conexiones de bajantes de tejados y patios, QCE.

En caso de que el área del proyecto no disponga de un sistema de recolección y evacuación de aguas lluvias, deben considerarse aportes máximos de drenaje pluvial domiciliario a la red sanitaria, de acuerdo con la tabla D,3,6. Del RAS 2000.

*Tabla 40. Aportes máximos por conexiones erradas con sistema pluvial*

<b>Nivel de complejidad del sistema</b>	<b>Aporte (L / s-ha)</b>
Bajo y medio	0,2
Medio alto y alto	0,1

*Fuente: (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título D).*

✓ Caudal por infiltración (QINF)

La infiltración de aguas subsuperficiales a las redes de sistemas de alcantarillado sanitario, principalmente freáticas es inevitable. Se presenta a través de fisuras en los colectores, en juntas ejecutadas deficientemente, en la unión de colectores con pozos de inspección y demás estructuras, y en éstos cuando no son completamente impermeables.

Para el caso del sistema de alcantarillado de Tibú, el aporte puede establecerse con base en los valores de la tabla D,3,7 del RAS 2000, en donde el valor inferior del rango dado corresponde a condiciones constructivas más apropiadas, mayor estanqueidad de colectores y estructuras complementarias y menor amenaza sísmica.

La categorización de la infiltración en alta, media y baja se relaciona con las características topográficas, de suelos, niveles freáticos y precipitación.



Tabla 41. Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales

Nivel de complejidad del sistema	Infiltración alta (L / s-ha)	Infiltración media (L / s-ha)	Infiltración baja (L / s-ha)
Bajo y medio	0,15 - 0,4	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2
Medio alto y alto *	0,15 - 0,4	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2

Fuente: (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título D).

En el municipio de Tibú teniendo en cuenta que los suelos son limo-arcillosos se adopta un valor de infiltración de 0,2 L/s-ha, que es universal para todos los escenarios “alto, medio y bajo” el cual es sugerido por el RAS 2000.

✓ Caudal máximo horario (Qmh)

Ecuación 13. Estimación caudal máximo horario

$$QMH = F * QMD$$

El factor de mayoración puede calcularse de diferentes maneras por medio del número de habitantes o del caudal medio diario (RAS 2000. Título D). En general el valor de F debe ser mayor o igual a 1,4.

Se utilizará la fórmula de Tchobanoglous con el fin de hallar el valor de F.

$$F = 3,7/QMD^{0.0733}$$

Donde:

F = Factor de mayoración (adimensional).

QMD = Caudal medio diario (l/s)

$$F_{2019} = \frac{3,7}{26.52^{0.0733}} = 2.90$$

$$F_{2044} = \frac{3,7}{38.51^{0.0733}} = 2.83$$

$$Q_{MH2044} = 2.83 * 38.51 \text{ l/s} = 108.98 \text{ L/s}$$

✓ Caudal de diseño:

El caudal de diseño de cada tramo de la red de colectores se obtiene sumando al caudal máximo horario del día máximo, QMH, los aportes por infiltraciones y conexiones erradas.

$$QD = QMH + QINF + QCEf$$

$$QD = 108.98 \text{ l/s} + 0.1 \text{ l/s} + 0.2 \text{ l/s} = 109.28 \text{ l/s}$$

#### **7.2.10. Identificación de cortocircuitos hidráulicos**

✓ **Tiempo de retención hidráulica.**

$$TRH = V/Q$$

$$TRH \text{ actual} = (24.06 \text{ l/s} / 38815000 \text{ l}) / 86400 \text{ s} = 18.67 \text{ días}$$

Las proyecciones de mejora están calculadas para una vida útil de 25 años como lo estipula la Resolución 0330 de 2017, en el año 2044, el tiempo de retención esperado para la laguna es de 4 días, lo que conllevará a el ajuste de las unidades existentes en el tren de tratamiento, ya sea ampliación, inclusión de unidades o construir una nueva planta si así lo requieren en un futuro.

✓ **zonas muertas de la laguna facultativa.**

Para la identificación de las zonas muertas que provoquen cortos circuitos dentro del sistema de tratamiento se tiene en cuenta la ubicación del afluente y efluente, como varios factores

evaluados en las visitas técnicas a la planta. A continuación, se evidencia la ubicación de los puntos de entrada y salida de la laguna:

*Ilustración 18. Ubicación afluente y efluente PTAR.*



*Fuente: (tomado de Google earth, modificado por autora, 2020)*

En la imagen anterior se puede evidenciar que la ubicación de las entradas y salida de la PTAR pueden estar provocando cortocircuito, ya que interfieren en el régimen de flujo, porque cada módulo de la laguna cuenta con una única entrada, provocando el estancamiento de agua en las orillas, lo cual contribuyen a la disminución de eficiencia de remoción de carga, el volumen de trabajo de esta, así como el área superficial y malos olores. Además de que en la inspección física se identificaron algunas zonas con coloración distinta, sin embargo, es probable que la

planta contara con una sobrecarga para la fecha en que se realizó el muestreo, ya que se presentaron precipitaciones para esa semana.

### **7.2.11. Planteamiento de alternativas.**

Teniendo en cuenta que la PTAR debe tener un sistema de pretratamiento de forma obligatoria, dicho sistema será adaptado a las dos alternativas propuestas. Por ende, se realizó el diseño preliminar del sistema, el cual debe implementarse junto con la alternativa que se ajuste al mejoramiento de la planta. A continuación, se plantea el sistema de pretratamiento propuesto, y las 2 propuestas de mejora para la PTAR-Tibú.

#### **7.2.11.1. Diseño sistema de pretratamiento.**

**Se plantea el diseño de un sistema de rejillas medias de limpieza manual:** para retención de material sólido grueso y medio, que garantice que estos no lleguen a las siguientes unidades de tratamiento.

**Rejillas:** se colocarán aguas arriba de la PTAR, para evitar que se obstruya por algún material grueso que trae el agua residual sin tratar. Su diseño busca prevenir la acumulación de material pesado aguas arriba.

Los aspectos definidos para las rejillas se obtuvieron basados en la resolución 0330 de 2017, los cuales son los siguientes:

Espaciamiento entre barrotes: 4 cm

Ancho de las barras: 1.5 cm

Velocidad máxima para caudal máximo: 1,2 m/s

Velocidad para caudal mínimo: 0,3 m/s

Perdidas (m): <0,75

Para el diseño de la rejilla se manejaron las siguientes formulas:

- Área libre ( $A_L$ )

$$A_L = Q/V$$

Q= caudal máximo horario

V= velocidad reja obstruida

$$A_L = 0.10898 \text{ m}^3/\text{s} / 0.6 \text{ m/s} = 0.18 \text{ m}^2$$

Debido a que la forma del canal de entrada tiene forma rectangular se utiliza la formula básica descrita a continuación:

$$A = b * h$$

$$h = 0.18 / 0.6 = 0.30 \text{ m}$$

- Cálculo de la suma de las separaciones entre barras.

$$b = \left(\frac{bg}{e} - 1\right) (S + e) + e$$

b= ancho del canal en cm

bg= suma de las separaciones entre barras, cm

e= separación entre barras, cm

S= espesor de las barras, cm

Despegando bg de la ecuación

$$B_g = 44.72 \text{ cm o } 0.4472 \text{ m}$$

- Área libre de sección de barras

$$\text{Hipotenusa} = h / \text{seno } \Theta^\circ$$

$$H = 0.30 / \text{seno } 45^\circ$$

$$H = 0.36 \text{ m}$$

- Área de espacios

$$A_E = H * b_g$$

$$A_E = 0.36 \text{ m} * 0.4472 \text{ m} = 0.15 \text{ m}^2$$

A continuación, se calcula la velocidad que fluye a través de los espacios de la rejilla:

$$V = Q / A$$

$$V = 0.10898 \text{ m}^3/\text{s} / 0.15 \text{ m}^2$$

$$V = 0.68 \text{ m/s}$$

Se calcula el número de barras necesarias para las rejillas

$$N^\circ = (b_g / e) - 1$$

$$N^\circ = (44.72 / 4) - 1$$

$$N^\circ = 10 \text{ barras}$$

Finalmente se procede a calcular la velocidad a través de las rejillas y las pérdidas al pasar sobre estas.

- Pérdida de carga

$$h_v = \frac{v^2}{2g} = \frac{(0.68 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2} = 0.023 \text{ m}$$

Donde:

$h_v$  = energía de velocidad de aproximación (m)

$V$  = velocidad de aproximación (m/s)

G= gravedad (m/s<sup>2</sup>)

- **Perdida en rejillas:** Según Kirschmer, la pérdida de energía en una rejilla limpia puede calcularse mediante la ecuación:

*Ecuación 14. Perdida de energía*

$$K = \beta \left(\frac{w}{b}\right)^{\frac{4}{3}} h_v \sin \theta$$

Donde:

K: Perdida de energía.

$\beta$ : Factor de forma de las barras.

w: ancho máximo de la sección transversal de las barras, en la dirección del flujo (m)

b: Espaciamiento o separación mínima entre las barras.

$h_v$ : Altura o energía de la velocidad del flujo de aproximación.

$\theta$ : Ángulo de la rejilla con la horizontal.

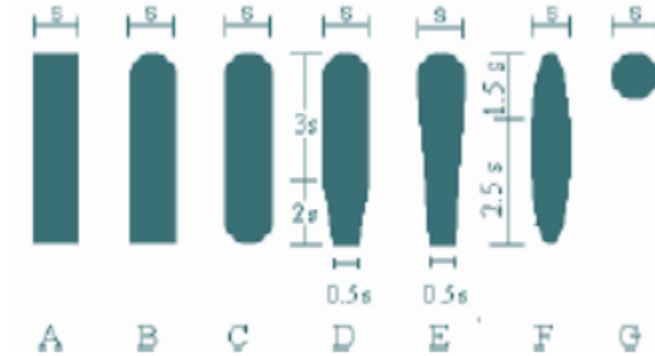
donde  $\beta$  debe obtenerse de la siguiente tabla, en conjunto con la ilustración.

*Tabla 42. Coeficiente de pérdida para rejillas*

Sección transversal							
Forma	A	B	C	D	E	F	G
$\beta$	2.42	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79

*Fuente: (Resolución 0330 de 2017).*

Ilustración 19. diferentes formas de rejillas



Fuente: (Resolución 0330 de 2017).

$$K = 1.67 \left( \frac{0.015 \text{ m}}{0.04 \text{ m}} \right)^{\frac{4}{3}} 0.023 \text{ m} * \sin 45^\circ = 0.012 \text{ m}$$

- **Diseño de canaleta Parshall:** el objetivo de la canaleta Parshall es el de servir como estructura de aforo, es decir, medir el caudal de agua residual que ingresa diariamente a la PTAR, para llevar un mejor control del proceso de tratamiento.

El aforador Parshall es un aparato calibrado para medir el agua en los canales abiertos. Es de forma abierta y tiene una sección convergente, una garganta y una sección divergente.

La determinación de las dimensiones de la canaleta Parshall, se basan siguiendo la Metodología aplicada por Sergio Rolim Mendoza, los cuales se encuentran en el libro “Sistema de Lagunas de Estabilización”, de editorial Mc Graw Hill y ACODAL. Todo el procedimiento y las fórmulas utilizadas se consignaron en las memorias de cálculo en el **anexo 5**.



- **Mantenimiento:** los lineamientos de operación, mantenimiento y limpieza deben ser definidos finalmente por la empresa prestadora del servicio, basados en la Resolución 0330 de 2017, y documentos pertinentes, elaborando un manual de operación, mantenimiento y limpieza, para uso del operario.

Se debe asignar un operario fijo en la planta, que cumpla un horario, y que realice las actividades de operación, mantenimiento y limpieza en las unidades de la planta, asegurando un correcto funcionamiento.

Calidad visual determinada por el operador: determinación de aparición de espumas y flotantes en distintos puntos de las lagunas y acumulación de grasas. Realizar la remoción de ellas por 1 vez a la semana.

Coloración de la laguna de maduración: Color verde brillante (menos intenso que en la facultativa).

Mantenimiento de lagunas para eliminación de fangos en las partes profundas de las mismas, evitando la acumulación de sedimentos, eliminación de plantas acuáticas y otros posibles soportes para larvas y la eliminación de materias flotantes mediante una red.

Seguimiento por parte del operario a la sedimentación de los agregados de algas o el fango por medio de la remoción de estos, evitando que el viento los arrastre hasta las orillas, esto por medio de la limpieza de los excesos de material sobrenadante que arrastra el viento.

Se propone que se realice un seguimiento y control de los microorganismos en las lagunas, para asegurar una degradación eficiente de la materia. Se propone la implementación de formatos, que incorpore un control diario, semanal y quincenal, en donde se registren los datos en los formatos adoptados según (WHO/EMRO, 1987) y (ACODAL).

#### **7.2.11.2. Alternativa I.**

Esta propuesta está enfocada en el mejoramiento físico de la laguna facultativa existente y el mejoramiento de su eficiencia de remoción de carga contaminante por medio de la implementación de un sistema lagunar anaerobio primario.

**Implementación de laguna anaerobia:** ubicada antes de la laguna facultativa, con el fin de que reduzca en cierto % la carga orgánica que pasa a la laguna facultativa, se propone el diseño de mínimo dos unidades en paralelo que permita la operación en una de las unidades mientras se remueve el lodo en la otra.

Para el diseño de la laguna anaerobia, se tiene en cuenta los parámetros de diseño que especifica el RAS 2017 y Rolim (2000).

Criterios de dimensionamiento:

Profundidad debe estar entre 2,5 a 5 m

La carga orgánica volumétrica debe estar entre 100 a 500 gDBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>/día.

Tiempo de retención hidráulica debe estar entre 1 a 3 días.

- Acumulación de lodos

Se debe calcular el volumen de acumulación de lodos en la laguna y tenerlo en cuenta para el diseño. El valor de diseño para tal propósito es de 40 L/hab/año. El periodo de desenlode recomendado está entre 5 y 10 años. Se debe proveer un volumen extra para dicha acumulación.

Volumen requerido:

*Ecuación 15.. Cálculo de volumen requerido para acumulación de lodos en laguna anaerobia*

$$V = 40 \frac{L}{hab} * 5 años * 26509 hab * \frac{1m^3}{1000 L} = 5301.8 m^3$$

*Fuente: Tomado de RAS 2017, modificado por autores, 2018.*

Volumen de la laguna:

$$V = Q * t = 109.28 \frac{l}{s} * 3 dias * 86400 \frac{s}{1 dia} = 28.325m^3$$

Área requerida:

$$A = \frac{V}{H} = \frac{28.325 m^3}{5m} = 5.665 m^2$$

Considerando una relación largo ancho de 1 a 2 obtenemos unas dimensiones aproximadas de 53.3\*106.6 m, con una profundidad total de 5 m, teniendo en cuenta el espacio para deslode.

### **Geomembrana para impermeabilizar.**

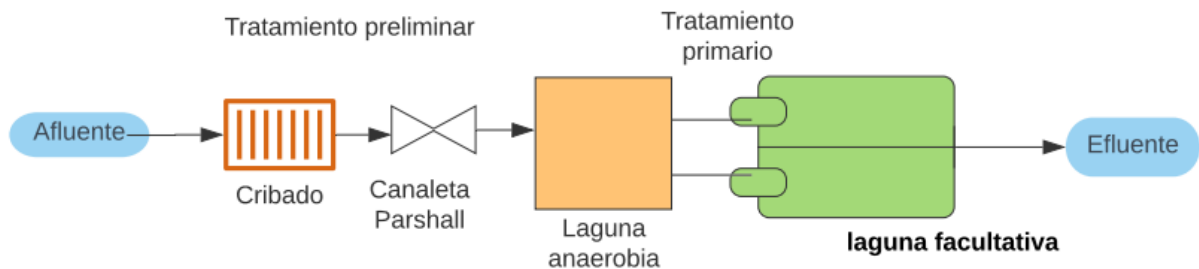
Se propone la implementación de una geomembrana SYNTEX, de lámina flexible, elaborada en HDPE (polietileno de alta densidad), utilizada como barrera impermeable para controlar la migración de fluidos.

### **Mantenimiento:**

Geomembrana: al estar expuestos a deterioros por parte de animales, debido a la presencia de caimanes, y además la escorrentía provocada por lluvias, se debe detectar señales de erosión, desarrollo de grietas y agujeros causados. Al encontrar cualquiera de estas señas, se debe rellenar las mismas con tierra y de ser posible con arcilla, emparejando el terreno y compactándolo.

- **PFD alternativa I.**

*Ilustración 20. Diagrama de flujo alternativa I.*



*Fuente: (autora,2020).*

### **7.2.11.3. Alternativa 2.**

#### **Optimización de laguna facultativa existente:**

Debido a que la planta cumple con la normatividad de vertimiento, se plantea esta propuesta con el fin de optimizar el funcionamiento actual de la PTAR, ya que se evidenció que la laguna es susceptible a presentar problemas de cortocircuitos, por diferentes motivos, tanto técnicos como operativos, por ello a continuación se plantea la implementación de mamparas al sistema lagunar, los cuales permitirá la mezcla uniforme del afluente, evitando la formación de agua estancada o zonas muertas. Como las lagunas facultativas requieren de mayor área que cualquier otro sistema lagunar, en ellas es posible instalar mamparas o deflectores con flujo horizontal. Según Los investigadores Kilani y Ogunrombi (1984); Muttamara y Puetpaiboon (1996; 1997); Shilton y Harrison (2003) y Shilton y Mara (2005) recomiendan la utilización de mamparas ya que según se obtienen los siguientes resultados: aumento de la eficiencia en la remoción de contaminantes, mejora de la hidráulica dentro del estanque porque se establece un flujo pistón y se eliminan zonas muertas.

Kilani y Ogunrombi (1984) reportaron que las lagunas de estabilización con mamparas instaladas tienen mejores eficiencias de tratamiento que aquellas que no las tienen. Estos autores, junto con las experiencias de Polpraset y Agarwalla, (1994), indican que el mejoramiento se debe principalmente a la reducción del número de dispersión y a que se favorece el crecimiento de una biopelícula que junto con la biomasa suspendida contribuye fuertemente a la degradación de la materia orgánica. En general, dado que las

lagunas de estabilización tienen bajas velocidades de flujo y están sujetas a altas tasas de carga orgánica el crecimiento de la biopelícula se tiene en el fondo y las paredes del tanque.

Por tal razón esta alternativa se basa en la incorporación de mamparas, las cuales permitirán mejorar el diseño mediante la optimización a manera de incrementar la eficiencia del tratamiento y minimizar costos, se tiene en cuenta este tipo de solución ya que la laguna cuenta con dos módulos, en donde cada uno de ellos tiene la entrada del afluente en los extremos de la división de la laguna, lo cual favorece la posición de las mamparas. Las características de la laguna teniendo en cuenta la incorporación de las mamparas se indicarán a continuación:

Tabla 43. características generales de mamparas a implementar en la PTAR-Tibú

Característica	Descripción	Observaciones
Material concreto	Se construirán en concreto, ya que permite soportar las presiones hidráulicas, tiempo de vida útil más prolongado.	Se necesitará realizar estudios adicionales de topografía, trabajo de adecuación del terreno, además del diseño de construcción por un ingeniero civil.
Numero de mamparas= 10. 5 para cada módulo.	Se determinaron 5 mamparas para cada módulo, teniendo en cuenta el largo de la laguna, con una distancia de separación de 40 m entre cada una. Además, que la ubicación del afluente y efluente se encuentran sobre una misma dirección, el número de	Chernicharo, Soares y Zerbini (2003); Shilton y Mara (2005), y Abbas <i>et al.</i> (2006) afirman que se obtiene mayor eficiencia hidráulica y mejor tratamiento del agua residual con mamparas a 70% de la longitud. Luego Banda (2007), y Winfrey, Stronsnider, Nairn y Strevett (2010) concluyeron que se

	mamparas es correspondiente a un número impar.	obtienen mejores resultados al utilizar mayor número de deflectores.
39 metros de longitud	El ancho de cada módulo de la laguna es de aproximadamente 56 metros, se consideró una longitud del 70% para cada mampara.	Según Cortés <i>et al.</i> (2014a; 2014b), la longitud de la mampara se considerará al 70% de la longitud

Fuente: (autora,2020).

Adicional a lo planteado anteriormente, se indica a continuación el mantenimiento para las unidades de la planta.

### **Mantenimiento.**

Tabla 44. Mantenimiento tuberías de distribución

ACTIVIDADES	FRECUENCIAS	REQUERIMIENTOS
Inspección del estado de las tuberías de la planta para evitar obstrucciones en el sistema.	Diario	Operador
Retirar los sólidos que obstruyan el paso del agua residual.	Diario	Palas, rastrillos
Mantenimiento y limpieza de tuberías	Mensual	Tirabuzón

Verificar el estado de las compuertas de acceso a la planta de tratamiento.	Semanal	Operador
---	---------	----------

*Fuente: (CONAGUA, 2015. Modificado por autora, 2020).*

*Tabla 45. Mantenimiento a rejillas manuales.*

ACTIVIDADES	FRECUENCIAS	REQUERIMIENTOS
Limpieza manual de rejas y rejillas retirando el material suspendido.	Diario	Operador
Llevar los sólidos, basuras y material retirado a los lechos de secado.	Diario	Palas, rastrillos, baldes, carretillas
Disponer los sólidos una vez secados para ser retirados por la empresa de aseo.	Semanal	EMTIBÚ, servicio de aseo
Pintada de rejas y rejillas y accesorios.	Semestral	Anticorrosivo, pintura, brochas, cepillos para retirar óxido

*Fuente: (CONAGUA, 2015. Modificado por autora, 2020).*



Tabla 46. Mantenimiento de laguna de estabilización.

ACTIVIDADES	FRECUENCIAS	REQUERIMIENTOS
Inspección del estado y funcionamiento del sistema lagunar	Diario	Operador
Remoción y retiro de natas, espumas, lodos y material flotante y disponerlos.	Diario	Cucharones de mango largo, cuchara grande de malla metálica con mango largo, Mangueras a Chorro, Carretillas, palas.
Remover y retirar la vegetación	Diario	Rastrillos y cribas
Verificar en nivel de las lagunas.	Diario	Operador
Mantener los bordes, caminos de acceso y zonas adyacentes a la planta de tratamiento libres de maleza	Diario	Podadoras, machetes, rastrillos, palas, picas.
Podar los taludes internos y externos.	Mensual	Podadoras
Verificación del grado de sedimentación de las lagunas.	Semestral	Operador

Retiro de arena, lodos y sedimentos y depositarlos.	Anual	Maquinaria (retroexcavadora), palas, baldes, carretillas.
---	-------	---

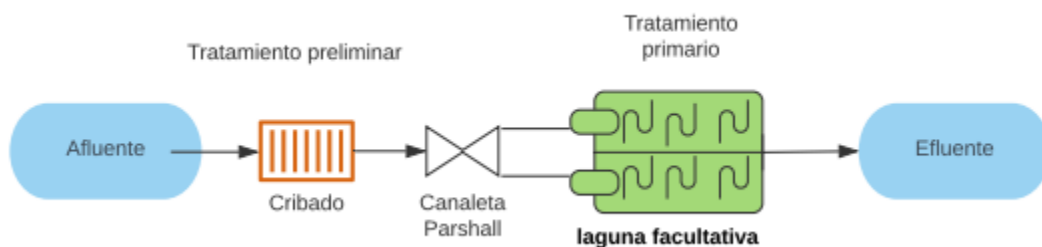
Fuente: (CONAGUA, 2015. Modificado por autora, 2020).

### Mantenimiento correctivo.

Este mantenimiento consiste en la reparación inmediata de cualquier daño que sufran los componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales, lo cual ocasiona situaciones de emergencia que afectan el funcionamiento de la planta, por lo cual es sumamente necesario el mantenimiento preventivo para evitar estas fallas o daños en el sistema, en ocasiones se presentan los imprevistos donde y cuando eso suceda se debe contar por las herramientas y el personal especializado para la reparación inmediata.

- **PFD alternativa II.**

Ilustración 21. Diagrama flujo, alternativa II



Fuente: (autora,2020)

**7.2.12. Evaluación económica de inversión y costos operativos.**

*Tabla 47. Evaluación económica alternativa I.*

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Localización y replanteo</b>	1	\$1.500.000	\$1.500.000
<b>Excavación</b>	5071 m <sup>3</sup>	\$18.240 * m <sup>3</sup>	\$92,495,040.00
<b>Descapote y limpieza</b>	5071 m <sup>3</sup>	\$16.620 * m <sup>3</sup>	\$84,280,020.00
<b>Geomembrana SYNTEX para impermeabilizar, laguna anaerobia.</b>	1690 m <sup>2</sup>	\$15,427 * m <sup>2</sup>	\$36,071,630
<b>Implementación de rejillas medias, limpieza manual</b>	1 rejilla en acero inoxidable	\$1.320.804	\$1.320.804
<b>Implementación de canaleta Parshall prefabricada</b>	1	\$1.930.000	\$1.930.000

<b>Estudios topográficos y personal profesional para obra civil.</b>	3 profesionales	\$2.500.000	\$7.500.000
<b>TOTAL</b>			\$212.846.690

*Fuente: (autora,2020)*

*Tabla 48. Evaluación económica alternativa II.*

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Implementación de rejillas medias, limpieza manual</b>	1 rejilla en acero inoxidable	\$5,320,804	\$5,320,804
<b>Implementación de canaleta Parshall prefabricada</b>	1	\$1.930.000	\$1.930.000
	3 profesionales	\$2.500.000	\$7.500.000
<b>Construcción de mamparas en concreto. (valor</b>	5 muros x módulo	\$30.000.000	\$30.000.000

<b>aproximado, sin tener en cuenta los estudios civiles).</b>			
<b>Mano de obra</b>	<b>Retiro de geomembrana actual, nivelación del terreno, implementación de geomembrana</b>	\$12.000.000	\$12.000.000
<b>TOTAL</b>			\$56.750.804.00

*Fuente: (autora,2020)*

### 7.2.13. Elaboración de criterios de evaluación.

#### Criterios de Evaluación

*Tabla 49. Criterios de Evaluación.*

<b>Criterio</b>	<b>Explicación</b>
<b>Costo de inversión</b>	El costo aproximado de inversión al implementarse cada una de las propuestas.
<b>Área</b>	Delimita el número de opciones a escoger, se tiene en cuenta el área de la planta de tratamiento que ya está construida-, de esta manera se debe realizar un diseño que permita que la

	planta continúe con su flujo de los trenes de tratamiento, ya que no existe la posibilidad de desmejorar la planta existente.
<b>Operación y mantenimiento</b>	El mantenimiento según cada alternativa es muy importante ya que esto hará que funciones de la manera más eficiente, este criterio se evaluó teniendo en cuenta la complejidad que implique cada una.
<b>Complejidad del sistema</b>	Este criterio de basa en el tipo de proceso a implementar, ya que cada unidad requiere de un cuidado especial, aportando cierta complejidad tanto en diseño como en operación.

*Fuente: (Autora, 2020).*

#### **7.2.14. Elaboración de matriz de alternativas.**

El AHP (Proceso de análisis jerárquico) es un método que ayuda a la toma de decisiones interviniendo con diferentes criterios discerniendo entre estos y así obtener una solución que satisfaga la mejor posible alternativa a evaluar.

El AHP utiliza comparaciones entre pares de elementos, construyendo matrices a partir de estas comparaciones, y usando elementos del álgebra matricial para establecer prioridades entre los elementos de un nivel, con respecto a un elemento del nivel inmediatamente superior. (Universidad Tecnológica de Pereira, 2008).

Las comparaciones pareadas ejecutadas por el método AHP utilizan una escala de 1-9 que permite calificar las preferencias relativas de los elementos a evaluar. A continuación, se presenta la tabla 1 que refleja una calificación numérica para cada expresión verbal. (Hurtado,T. y Bruno,G. 2005)

Tabla 50. Escala de preferencias.

<b>Escala Numérica</b>	<b>Escala Verbal</b>	<b>Explicación</b>
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen de igual manera a la propiedad o criterio
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen que un elemento es moderadamente más importante frente al otro
5	Fuerte importancia de un elemento frente al otro	Un elemento domina al otro con grado mayor de orden de magnitud
9	Extrema importancia de un elemento frente al otro	Un elemento domina con el máximo grado de orden de magnitud posible

Fuente: (Moreno. J, 2002)

La manera de realizar estas comparaciones en forma ordenada es a través de la matriz de comparaciones a pares. Esta es una matriz que agrupa a criterios del mismo nivel de tal manera que se pueden comparar unos con respecto de otros y determinar la importancia relativa de cada uno.

Los elementos de la jerarquía que pueden ser comparados son: los criterios generales, los subcriterios dentro de cada criterio general y las alternativas (cuando sea posible, según el número de ellas).

Entonces las comparaciones pueden ser de:

Importancia: cuando se comparan criterios. Se busca determinar cuánto más importante es un criterio X respecto de otro criterio Y; ejemplo, el criterio costo es nueve veces más importante que el de mantenimiento.

Cuando se compara el mismo criterio se pone el valor de 1. Cuando se comparan dos criterios diferentes se asigna uno de los valores descritos en la tabla 51, dependiendo del nivel de importancia de uno frente al otro; los criterios que no tienen un valor asignado por la tabla se calculan, a continuación, se dará un ejemplo:

Tabla 51. Matriz AHP comparación de criterios

Matriz de comparación por pares- CRITERIOS				
	costo	área	costo de mantenimiento y operación	Complejidad del sistema
costos	1	3	1.00	5.00
área	0.33333333	1	3.00	3.00
costo de mantenimiento y operación	1	5	1	1
Complejidad del sistema	0.2	0.33333333	1	1

Fuente: (autora,2020)



Después de haber realizado las comparaciones de todos los factores, estas matrices son normalizadas, es decir, se divide cada término de la matriz sobre la suma de sus columnas, y en este caso se obtendría una matriz tal como se presenta en la tabla 52. Con esta matriz, se obtiene el vector de prioridad del criterio al promediar los valores de las filas. Este procedimiento se repite para todos los criterios y también se realiza para comparar los criterios entre sí.

Tabla 52. Matriz normalizada de criterios de evaluación

Matriz normalizada					
Criterios de evaluación	Costo	Área	Costo de mantenimiento y operación	Complejidad del sistema	Vector promedio
Costo	0.39473684	0.32142857	0.16666667	0.5	0.35
Área	0.13157895	0.10714286	0.5	0.3	0.26
Mantenimiento y operación	0.39473684	0.53571429	0.16666667	0.1	0.30
Complejidad del sistema	0.07894737	0.03571429	0.16666667	0.1	0.10

Fuente: (Autora, 2020)

Con cada vector de prioridad obtenido para los criterios, se conforma una matriz de prioridad la cual se multiplica matricialmente con el vector de prioridad obtenido al realizar la comparación entre los criterios (**Anexo 6**). El resultado, es un vector denominado vector de prioridad de las alternativas, el cual se constituye en la solución del problema, al presentar cada una de las alternativas y un porcentaje de preferencia para cada una de ellas.

Es claro, que el método propone una solución, pero quien finalmente toma la decisión es la persona o grupo encargado de hacerlo. Antes de concluir este análisis, debe calcularse el coeficiente de consistencia, el cual valida que los juicios no tengan errores entre ellos, es decir, que no se haya producido contradicciones en los mismos.

Para cada línea de la matriz de comparación por pares, determinar una suma ponderada con base a la suma del producto de cada celda por la prioridad de cada alternativa o criterio correspondiente, este cálculo se ve más claro en el **anexo 6**, para cada línea, se divide su suma ponderada por la prioridad de su alternativa o criterio correspondiente.

*Tabla 53. Matriz de selección del Modelo con ayuda del método AHP.*

Alternativa	Costos	área	Mantenimiento y operación	Complejidad del sistema	Total
Alternativa A	0.17	0.13	0.17	0.17	0.16
Alternativa B	0.83	1.17	0.83	0.83	0.92
Ponderación	0.35	0.26	0.30	0.10	

*fuentes: (autora, 2020)*

Con base en la matriz de alternativas, se obtuvo que la mejor opción es la 2, debido a cada uno de los criterios de evaluación se ajustan más a ella, ya que es la opción más económica, la cual no requiere de un área significativa, sus costos de mantenimiento y operación no son tan altos, además según la bibliografía, la implementación de mamparas ayuda significativamente a la remoción de carga contaminante, aunque la planta funciona de manera adecuada, se propone la optimización del proceso para aumentar la vida útil y la evidencia de remoción de la misma.

operación y el mantenimiento es simple, ya que sus unidades no son complejas, para finalmente contribuir a la eficiencia de remoción de cargas contaminantes.

### **7.3. Dimensionamiento con base en la alternativa seleccionada.**

En esta fase se presenta el diseño del de la alternativa seleccionada, en este caso, la alternativa II. Se dimensionó el diseño con base en los cálculos para cada unidad de tratamiento a implementar en la planta. Este diseño se realizó en AUTOCAD, los cuales se encuentran detallados en el **anexo 7 y 8**. En el anexo 7 se detalla el diseño del sistema de tratamiento preliminar (rejillas y canaleta Parshall). Y el anexo 8, se encuentra el diseño final de la optimización de la laguna existente, por medio de la implementación de mamparas.

## **8. Conclusiones**

- Se logró identificar las diferentes características actuales tanto del tren de tratamiento fisicoquímico, como de la planta completa, por medio de la recopilación de información de del año 2019 y el municipio en general y finalmente, por el diagnostico técnico, operativo y administrativo.
- Se logró determinar el caudal mínimo y máximo de la planta con el cual fue diseñado, lo que permitió el diseño de las diferentes alternativas de optimización, además de las pruebas hidráulicas, caracterizaciones fisicoquímicas y comparación con la Resolución

0631 de 2015, dando como resultado que la planta cumple con cada uno de los parámetros exigidos por la norma.

- Se logró proponer dos alternativas que buscaban optimizar la eficiencia de remoción del tratamiento, las cuales están basadas con criterios técnicos y de diseño. Adicional a ello, se planteo el sistema de tratamiento preliminar para la PTAR, el cual es de carácter obligatorio.
- Con la matriz de selección de alternativas basada en criterios, se determinó que la alternativa II, es la mas viable en este momento para el proyecto de optimización, ya que cumple con los requerimientos de costos de implementación, mantenimiento y operación, área, y criterios medio ambientales. La cual esta fundamentada en la modificación del sistema lagunas actual, por medio de la implementación de 5 mamparas a cada modulo lagunar, permitiendo erradicar zonas muertas y un aumento en la eficiencia de remoción, adicional a esto, la alternativa cuenta con el diseño del sistema preliminar del tratamiento.
- El costo de mantenimiento de la planta y sus correspondientes unidades, a la fecha ha sido bastante reducido y con la propuesta elegida, se logró continuar de la misma forma.
- El sistema de tratamiento de aguas residuales integrado por laguna facultativa, a pesar de operar de forma diferente a la planteada en su diseño, generan una remoción importante en la planta de tratamiento, siendo una opción económica de tecnología apropiada para reducir el impacto ambiental y social que representa el vertimiento de aguas residuales en un municipio.
- El mantenimiento de las diferentes unidades pertenecientes al tren de tratamiento en estudio por parte del operador debe realizarse de forma constante y llevarse con un control, permitiendo evaluar la eficiencia de remoción y operación de estas. No se debe

realizar un mantenimiento únicamente cuando se haga necesario, es decir, acciones correctivas; se debe implementar en planta las acciones preventivas que permitan generar una operación regular y eficaz de la planta.

- Como conclusión, puedo decir que fue un gran proceso de aprendizaje personal y técnico, ya que este proyecto me permitió identificar mis ventajas y desventajas frente a mi conocimiento en tratamiento de aguas residuales, así mismo, al ser una zona de conflicto armado, pasé por un número de adversidades, las cuales no fueron razón para discontinuar con este proyecto.

## **9. Recomendaciones**

- Se recomienda realizar un seguimiento continuo a cada uno de los trenes de tratamiento, por medio de análisis fisicoquímicos continuos, que garanticen el control para la remoción de la carga contaminante, permitiendo el cumplimiento de la normatividad vigente.
- Se recomienda llevar a cabo la caracterización operativa del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante la toma y análisis de muestras en la entrada y salida de la planta.
- La implementación de las alternativas de optimización contribuye a mejorar con el funcionamiento de la PTAR y a disminuir el impacto en cuanto a la contaminación que está generando la misma sobre el cuerpo de agua que está siendo vertida.

- Es importante contar con la capacitación a los operarios que están a cargo de la planta, puesto que son estos quienes a diario dirigen la misma y de ellos depende el funcionamiento de muchos de los tratamientos propuestos y existentes.
- Se espera una continuación del presente proyecto conjunto con los demás existentes dentro de la PTAR, es por esto por lo que se recomienda la continuación y compilación del mismo, comparando con los diferentes resultados y logrando una generalización que sugiera otras alternativas donde se muestre un solo resultado que permita que la entidad que quisiera patrocinar las misma para su implementación tenga mejor claridad.

### **Bibliografía**

Alcaldía de Tibú. (14 de Abril de 2000). *Plan Básico de Ordenamiento Territorial de Tibú*.

Obtenido de PBOT: Alcaldía Municipal de Tibú, Norte de Santander” <http://www.tibunortedesantander.gov.co/>.

ACODAL. (s.f.). LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS LAGUNAS DE OXIDACIÓN-GARANTIA DE LA CALIDAD DE TRATAMIENTO. En S. R. Mendonça\*, CONGRESO NACIONAL ACODAL. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/acodal42/operacion.pdf>

Aquia Química. (2018). *El agua dura... ¿Nos perjudica?* Obtenido de <https://aquaquimica.net/el-agua-dura-nos-perjudica/> Aznar Jiménez, A. (s.f. ). Universidad Carlos III de Madrid. Obtenido de España .

Barba, L. E. (2002). Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición. Universidad del Valle . Santiago de Cali, Colombia: Facultad de Ingenierías.

Blanco Hernández, A. L., Gutierrez, D., Jiménez de Blas, O. G., & Manzano, B. d. (1998). Estudio de los niveles de plomo, cadmio, zinc y arsénico, en aguas de la provincia de Salamanca. Madrid: Rev. Esp. Salud pública .

Bravo, N. (2004). Utilización de adsorbentes para la eliminación de contaminantes en aguas y. Tesis de Licenciatura. Universidad de Belgrano.

Buitrago Galindo, K. L. (2015). Evaluación de las condiciones actuales de la planta de tratamiento de aguas residuales San Mateo del municipio de Cachipay, Cundinamarca. En E. J. Ruiz Suárez, Especialización en planeación ambiental y manejo integral de los recursos naturales (pág. 11). Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granada.

Castaño, N. (2017). Paso a paso SGA. *Matriz DOFA*. Bogotá.

CELSIA. (9 de Febrero de 2017). *¿Para qué hacer un estudio de calidad de energía en tu empresa?* Obtenido de Eficiencia energética: <https://blog.celsia.com/para-que-hacer-un-estudio-de-calidad-de-energia-en-tu-empresa>

Chaparro, L. R., Cuervo, M. P., Gómez, J., & Toro, M. A. (2015). *Emisiones al ambiente en Colombia*. Obtenido de

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap13.pdf>

CIDTA. (s.f). *Lagunas facultativas*. Obtenido de

<http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/facultativas.PDF>

Correa, G. (2008). *EVALUACIÓN Y MONITOREO DEL SISTEMA DE LAGUNAS DE*

*ESTABILIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE SANTA FÉ DE ANTIOQUIA*. Obtenido de

<http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/50/1/EvalMonitStmaLagunasStfeAnt.pdf>

<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>

Chamberlin, M. y. (1978). *Lagunas de maduración*. Obtenido de

<http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/maduracion.PDF>

CIDTA. (s.f.). *Lagunas facultativas*. Obtenido de

<http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/facultativas.PDF>

Cuervo. (2003). *Tratamiento de aguas residuales: Diseño, Operación y Control*. Medellín.

Definición.de. (2010). *Definición.de*. Recuperado el 22 de Mayo de 2019, de

<https://definicion.de/agua/>

EMTIBU. (2018). *EMTIBU*. Obtenido de <http://www.emtibuesp.gov.co/alcantarillado.html>

*Equipos y laboratorio de Colombia*. (2018). Obtenido de QUÉ ES Y USOS DEL

ESPECTROFOTOMETRO:

[https://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos\\_mo.php?it=1311](https://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=1311)



Espigares, M., & Pérez, J. (2011). *Aguas Residuales*. Obtenido de Composición:

[http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)

Fred, D. (1 de Noviembre de 2014). *Análisis y Elección de Estrategias*. Obtenido de

<http://uatlanticogestionestrategica.blogspot.com/>

GesMontes. (2019). *Gesmontes*. Recuperado el 22 de Mayo de 2019, de

<https://gesmontes.es/bombas-para-pozos-de-riego/>

*Hanna Instruments*. (2019). Obtenido de Equipos Hanna:

<https://www.hannacolombia.com/buscar?searchtext=multiparametro>

IDEAM. (2007). DETERMINACIÓN DE GRASAS Y ACEITES EN AGUAS POR EL METODO SOXHLET. En M. y. Instituto de Hidrología, SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL. Colombia.

IDEAM. (09 de 10 de 2007). Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. Obtenido de

[http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma\\_Muestras\\_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428](http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428)

Geymet, A. B. (22 de Agosto de 2017). Politécnico Budapest. Obtenido de Lagunas facultativas.

Gil Correa, S. (2015). Serie autodidáctica de aguas residuales . Obtenido de Identificación y descripción de sistemas primarios para el tratamiento de aguas residuales .

HACH, M. (1999). Examination of Water and Wastewater. STANDAR METHODS.

Hidritec. (s.f.). Tratamiento de aguas residuales y disminución de DQO. Obtenido de Plantas de tratamiento de agua residual: <http://www.hidritec.com/hidritec/tratamiento-de-aguas-residuales-y-disminucionde-dqo>

iagua. (2016). La importancia de la separación de aceites y grasas en el tratamiento del agua residual urbana. España : <https://www.iagua.es/noticias/teqma/importanciaseparacion-aceites-y-grasas-tratamiento-agua-residual-urbana>.

IIBSI Technis GMBH. (2018). Compuerta.

IPCS Copper. (1998). Organización Mundial de la Salud, Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas . n.º 200 de la serie de la OMS Criterios de Salud Ambiental.

Kapucinski y Mitchell. (1981). Lagunas de maduración. Obtenido de <http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/maduracion.PDF>

Krinsky. (1977). Lagunas de maduración. Obtenido de <http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/maduracion.PDF>

Lopez. (2018). Empresas en Sotaquirá, Boyacá.

López, J. P. (2017). Informe de gestión. Obtenido de A.C.P. Emsotaquirá E.S.P. .

MinAmbiente. (s.f). Vertimientos y reuso de de aguas residuales. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recursohidrico/administracion-del-recurso-hidrico/calidad/vertimientos-y-reuso-de-aguasresiduales>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial. (2015). Resolución 0631de 2015. Bogotá D.C. .

Ministerio de Ambiente, V. y. (1984). DECRETO 1594 . En Usos del agua y residuos líquidos (pág. Artículo 75).

Ministerio de Desarrollo Económico. (2017). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000. Bogotá D.C.: Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Molina, A. M., & Tigreros Gutiérrez, J. L. (2005). Evaluación preliminar de la remoción de sólidos suspendidos en el sistema de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Arauca. Arauca: Universidad Nacional de Arauca.

Montesinos Sánchez, M.-k. G. (2014). Evaluación de los factores físicos químicos y bacteriológicos de la laguna de oxidación en Santa Lucía-Provincia del Guayas. Ecuador: Trabajo de Grado.

MOPT. (s.f. ). Aguas residuales. España:  
[http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Aguas\\_residuales\\_MOPT.pdf](http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Aguas_residuales_MOPT.pdf).

Morales Hernández, A. J., Cravioto Canalizo, B., Silva Ramiro, J., Morales Gracia, J. E., Cruz Tamaniz, R., Valerio Moreno, K. M., & Cruz Sanchez, S. (7 de Mayo de 2013). Aguas Residuales Industriales. Obtenido de <https://es.slideshare.net/PatySalazar2/aguas-residuales-industriales-20762488>

Movilla, J. A. (2012). Manual de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales. Valledupar: EMDUPAR.

Myers, R., Walpole, R., & Myers, S. (2000). Probabilidad y Estadística para Ingenieros - 6b: Ed (Spanish Edition). Paperbanck - March.

NANOCOLOR, T. (1911). MACHEREY - NAGEL. Obtenido de <http://www.mnnet.com/StartpageWaterAnalysisTesting/NANOCOLOR/Tubetests/tabid/4670/language/en-US/Default.aspx>

Natural Zone . (s.f. ). Hosting verde. Obtenido de Reintegrándote con nuestro ambiente : <http://natzone.org/index.php/nosotros/presentacion/17-frontpage-blog/diversidadbiologica/175-importancia-de-los-sedimentadores-y-criterios-para-su-diseno#>

Navarro, E. (2004). Contaminación de los ríos por metales pesados. Scientific American Latinoamérica.

North Caroline Clayton . (s.f.). Grasas y aceites: ¿Por qué es un problema? North Caroline: <https://www.townofclaytonnc.org/uploads/files/Public%20Works/Not%20Down%20the%20Drain%20Spanish%20REVISIONS.pdf>.

Once Sarmiento, D. J., & Ruiz Herrera, J. F. (2014). Evaluación de las plantas de depuración de agua residual de las comunidades de Soldados y Churuguzo, Azay, Ecuador : Trabajo de grado.

Pinzón Rojas, C. A., & González Díaz, L. (2015). Diseño de una alternativa de tratamiento de las aguas residuales por lagunas de oxidación en el casco urbano del Municipio de Pacho - Cundinamarca. Pacho : Trabajo de grado .

Ramirez, F. (29 de Marzo de 2007). El muestreo del agua. Toma y conservación de muestra. Obtenido de El agua potable:

<http://www.elaguapotable.com/El%20muestreo%20de%20los%20distintos%20tipos%20de%20agua.pdf>

RAS. (2017). Tratamiento de Aguas Residuales Municipales.

Remtavares . (2008). Los metales pesados en las aguas residuales . Madrid.

Rodríguez Pimentel, H. (13 de Marzo de 2017). Las aguas residuales y sus efectos contaminantes. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguezpimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>

Rojas, R. (25 de Septiembre de 2002). Gestión integral de tratamiento de aguas residuales . Conferencia: Sistemas de tratamiento de aguas residuales . Centro panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Romero Rojas, J. A. (1999). Aguas residuales: Teoría y principios de diseño. Bogotá D.C.: Editorial escuela colombiana de ingeniería.

Romero Rojas, J. A. (1999). Aguas residuales: Teoría y principios de diseño . Bogotá, D.C. : Editorial escuela colombiana de ingeniería .

SALLE, U. D. (2018). CENTRO TECNOLÓGICO DE AMBIENTE Y SOSTENIBILIDAD. BOGOTÁ.

Schneiter. (1984). Universidad de Salamanca. España.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2015). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales y municipales: Pretratamiento y tratamiento primario. México D.F., México: Subdirección General de agua potable, drenaje y saneamiento.

Sieracki. (1980). Lagunas de maduración. Obtenido de <http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/maduracion.PDF>

Sodimac. (2018). Obtenido de <https://www.sodimac.com.pe/sodimacpe/product/1559753/Cooler-Outdoor-5L/1559753>

Jiménez, M. I. (2 de Febrero de 2016). *Métodos de muestreo de aguas*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/mariaisabelJimenezCc/tema-3-muestreo-aguas>

LabService. (2018). *Bomba de muestreo* . Obtenido de <http://www.labservicelta.com/calibracion-acreditada/caudal/bomba-de-muestreo>

Lenntech. (2019). *TDS y conductividad eléctrica*. Obtenido de

<https://www.lenntech.es/calculadoras/tds/tdsyconductividad-electrica.htm>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015).

Rolim. (2000). *Sistemas de Lagunas de Estabilización*. Bogotá: Mc Graw Hill.

Romero, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño*. Bogotá.

SDA. (2013). *Instructivo diligenciamiento de la matriz de identificación de aspectos y*

*valoración de impactos ambientales*. Instructivo, Bogotá. Recuperado el 15 de Mayo de 2019, de

[http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/2426046/INSTRUCTIVO\\_MATRIZ\\_EI  
A.pdf](http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/2426046/INSTRUCTIVO_MATRIZ_EI_A.pdf)

Torres, I. E. (2016). *Propuesta de mejoramiento en la planta de tratamiento de agua residual en el municipio de la Calera (Cundinamarca)*. Obtenido de

<https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/13947>

WSP/PB. (2016). *INFORME DE DIAGNOSTICO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE TIBÚ* . Tibú.

Andreo. M. CONICET. DBO. S.f. Citado el (01 de Mayo de 2019.) obtenido de:

<http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/DBO.htm>.

Bejarano. E y Cortes. J. (2017). propuesta para el diseño de un sistema de tratamiento y aprovechamiento del agua residual tratada para uso agrícola en el barrio Holanda, vereda pueblo viejo Facatativá. Bogotá: Universidad de La Salle. Facultad de ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Obtenido de:

[http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20495/41131600\\_2017.pdf?sequence=1](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20495/41131600_2017.pdf?sequence=1)

Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2000). Título E. [aut. libro]

Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS 2000. 2000.

EMTIBU. (2018). Obtenido de: [www.emtibuesp.gov.co](http://www.emtibuesp.gov.co), 2019.

Glynn. H y Gary W.(1999). Segunda edición. Pearson Education. México. Ingeniería ambiental.

Holguín. J. (2018). *Propuesta de mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de la vereda Campoalegre, en el corregimiento de Montebello de Santiago de Cali*. Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de ingeniería. Obtenido de:

<https://red.uao.edu.co/handle/10614/10158>

Hurtado,T. y Bruno,G. (2005). El Proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores: aplicación en la selección del proveedor para la Empresa Gráfica Comercial M y E.S.R.L. Pregrado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas. EAP.

Lizarazo. J y Orjuela. M. (2013). *Sistemas de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Colombia*. 2013.

Lozano. W. (2012). Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. Bogotá D.C.: s.n., 2012

MADS. (2015). *Resolución 0631 de 2015*. Bogota,Colombia.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Universidad Tecnológica de Pereira. (09/2008). El proceso de análisis jerárquico (ahp) y la toma de decisiones multicriterio. ejemplo de aplicación. Scientia et Technica Año XIV. Obtenido de:  
:https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8  
&ved=0ahUKEwiS8trj8JbVAhVBJiYKHXSODD8QFghEMAQ&url=http%3A%2F%2Frevistas  
.utp.edu.co%2Findex.php%2Frevistaciencia%2Farticle%2Fdownload%2F3217%2F1849..&usg=  
AFQjCNGU1VW72Y8nVKo2M66-y8YgY-mK7



## ANEXO 1.

### 1. PROCEDIMIENTO DE CARACTERIZACIÓN

1. Rotular las botellas que se van a utilizar para el muestreo, donde se tengan los datos de campo para la cadena de custodia tales como nombre de la empresa, fecha y hora.

2. Determinación los puntos de muestreo de la línea de tratamiento: afluente y efluente.

3. Calibración de los equipos a utilizar tales como el multiparámetro siguiendo el protocolo descrito por el IDEAM.

4. Medir el caudal del efluente de la planta por el método del flotador, empleando ping pong, cinta métrica, cronometro, libreta de campo. Se determinó una distancia de medición de 12 me, tanto en la entrada, como en la salida. Se realizó por este método ya que la entrada es directa a la laguna y con un caudal muy alto, no fue posible por el método volumétrico.

Se realizó un muestreo compuesto desde las 6 am hasta las 6 pm, según se haya establecido previamente por el Ing. Julio Ramírez, de tal manera que se puedan tomar las alícuotas más representativas de cada muestra, para ello se emplearan las siguientes ecuaciones:

*Ecuación 16. Determinación del caudal.*

$$\text{Caudal (Q)} = \text{Área de la sección (A)} * \text{Velocidad (V)}$$

Las unidades de este cálculo serán en m<sup>3</sup>/s (metros cúbicos por segundo) y se pasa a L/s (litros por segundo) multiplicando el resultado por 1000.

## Anexos

5. Medir sólidos sedimentables en cada punto de muestreo, llenando el cono Inhoff a 1L con una muestra mezclada. Dejar sedimentar por 45 minutos, agitar suavemente cerca de las paredes del cono, dejar reposar por 15 minutos, leer y registrar el volumen de sólidos sedimentables (ml/L).

El límite práctico inferior de medición depende de la composición de la muestra y generalmente se encuentra en el rango de 0,1 a 1,0 ml/L. Donde exista una separación entre el material sedimentable y el flotante, no estimar el material flotante como materia sedimentable.

6. Medición de parámetros in-situ con los equipos de multiparámetro. Oprimiendo la tecla MODE para que los valores se estabilicen; y posteriormente oprimir la tecla READ; registrando datos de pH, temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos.

### 6.1. Elementos para la medición

- Multiparámetro Hanna 991301

“El HI991301 ha sido diseñado para mediciones de pH, conductividad, sólidos disueltos totales y temperatura, todo en un diseño delgado, unidad ligera y portátil.” (Hanna Instruments, 2019, p.23).

## Anexos



Se muestra en la ilustración 1. las partes que componen a un multiparámetro maraca Hanna, las cuales consisten en el zonda, el sensor de temperatura, el sensor de pH y el sensor de conductividad, mostrados a través de las flechas naranjas. Adaptado de Hanna Instruments, 2019, p.23.

7. Lavar los electrodos con abundante agua destilada.

8. Obtener la muestra compuesta de cada porción necesarios siguiendo la siguiente fórmula:

*Ecuación 17. Determinación del volumen de la muestra.*

$$V_i = V * Q_i / n * Q_p$$

Dónde:

$V_i$ : Volumen de cada porción de muestra

$V$ : Volumen total a componer (10L)

$Q_i$ : Caudal instantáneo de cada muestra

$Q_p$ : Caudal promedio durante el muestreo

$n$ : número de muestras

9. Homogenizar el contenido del balde utilizando un agitador de vidrio.

## Anexos

10. Registrar los datos obtenidos en el formato de cadena de custodia.
11. Rotular las botellas con datos que especifiquen el punto de muestreo, fecha y responsable; cubriéndolo con cinta adhesiva para evitar deterioro.
12. Purgar las botellas con muestra y proceder a llenarlas, mientras se homogeniza el contenido del balde por agitación constante.
13. Extraer la muestra del balde por medio de la llave, NO sumergir la botella.
14. Tomar la muestra de aceites y grasas ubicando la botella directamente debajo del flujo del efluente.
15. Preservación de las muestras, dependiendo del parámetro a realizar. Usar un frasco gotero y añadir 1ml, equivalente a 20 gotas del preservante adecuado.
16. Tapar cada botella y agitarla.
17. Colocar las botellas dentro de la nevera y agregar hielo o geles refrigerantes suficientes para su adecuada preservación.

Tabla 54. Requerimientos para conservación y almacenamiento de muestras

<b>Parámetros a analizar</b>	<b>Conservación</b>	<b>Máximo almacenamiento recomendado/regulatorio</b>
Aceites y grasas	HCl a pH < 2.0, refrigerar	28 días/28 días
DBO	Refrigeración	6 horas/48 horas
DQO	Analizar en cuanto sea posible o adicionar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH < 2.0, refrigerar	7 días/28 días
Conductividad eléctrica	Refrigeración	28 días/28 días

---

## Anexos

Temperatura	Analizar inmediatamente	0.25 horas/0.25 horas
pH	Analizar inmediatamente	0.25 horas/0.25 horas
Turbidez	Analizar inmediatamente, guardar en oscuridad, refrigerar	24 horas/48 horas
Sólidos	Refrigeración	7 días/ 2 – 7 días
Oxígeno disuelto	Analizar inmediatamente	0.25 horas/0.25 horas
Metales	Adicionar HNO <sub>3</sub> a pH < 2	28 días/28 días



---

**Fuente:** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)  
(IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales., 2007)

Se realizarán dos visitas de campo donde se tomarán muestras compuestas las cuales serán analizadas en el laboratorio correspondiente.

**ANEXO 2.**

*Ilustración 23. Sellos y etiquetas para botellas de muestreo*

	<b>LABORATORIO DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA</b>				
	<b>SELLO DE ALMACENAMIENTO</b>				
	Hora:	Fecha:	No. de la muestra:	Lugar de recolección:	
	Nombre Recolector:		Código:	Preservación Realizada:	
Parámetros a analizar:					

	<b>LABORATORIO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA</b>	
	<b>ETIQUETA DE ALMACENAMIENTO</b>	
Fecha:	Hora:	
Lugar de Recolección:	No. de la muestra:	
Nombre del recolector:	<b>Uso exclusivo del laboratorio</b>	
Código:		
Preservación realizada:		
<small>Recuerde que la muestra se dispondrá 8 días después de su ingreso al laboratorio de no ser renovada antes de dicho período. Debe diligenciar Formato de Almacenamiento de Muestras en la Nevera</small>		

*Fuente: (Universidad de La Salle, 2019).*



Ilustración 25. formato de campo

Formato de campo							
<b>PUNTO DE RECOLECCION:</b>							
Coordenadas: N _____ ; W _____							
Altura: _____ msnm							
Fecha: _____						Observaciones:	
Método de transporte: Se almacenan en neveras, para ser transportadas por vía terrestre.							
Tipo de muestreo: Compuesto.							
Hora	pH	SS (mg/L)	T° (°C)	Conductividad (mS/cm)	Aforo caudal (L/s)	Sólidos disueltos (ppt)	Responsable
07:00:00							
08:00:00							
09:00:00							
10:00:00							
11:00:00							
12:00:00							
13:00:00							
14:00:00							
15:00:00							
16:00:00							
17:00:00							
18:00:00							



Fuente: (autora, 2019).



### **ANEXO 3.**

#### **1. Procedimiento para las mediciones volumétricas:**

##### **1.1. Acidez: Método: Volumétrico**

**Procedimiento:** Se mide y se agrega un volumen de muestra conocido un Erlenmeyer de 250 ml, se determina el pH de la muestra con cintas de pH, posteriormente se agregan gotas del indicador siendo  $\text{pH} < 8,2$  se agrega fenolftaleína  $\text{pH} > 8,2$  se dice que no posee acidez, posteriormente se realiza una titulación con hidróxido de sodio (NaOH) al 0.1 N agregando un volumen en la muestra hasta que el color del indicador cambie de transparente a un color fucsia o rosado y se anotan el volumen de gasto y se efectúa el cálculo con la siguiente relación: (SALLE, 2019).

##### **1.2. Alcalinidad: Método: Volumétrico**

**Procedimiento:** Se mide y se agrega un volumen de muestra conocido en un Erlenmeyer de 250 ml se determina el pH de la muestra con cintas de pH, posteriormente se agregan gotas del indicador siendo  $\text{pH} > 8,2$  se agrega fenolftaleína  $\text{pH} < 11,4,2$  se dice que no posee alcalinidad, posteriormente se realiza una titulación con ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) al 0.1 N agregando un volumen en la muestra hasta que el color del indicador cambie de un color rojizo a un color amarillo y se anotan el volumen de gasto y se efectúa el cálculo con la siguiente relación: (SALLE, 2019).

Anexos

## 2. Procedimiento para DQO, DBO Y Sólidos:

### 2.1. Sólidos suspendidos totales:

#### Método: Diferencia de pesos

**Procedimiento:** Se debe preparar las cápsulas previamente, pesar el crisol y cada filtro que se utilizará, posterior a esto se mide el volumen de muestra a utilizar y se arma el sistema de filtración conformado por la bomba, los tapones y las mangueras correspondientes, se inicia la filtración y utilizando las micro pinzas se dobla el papel sin que se vean los sólidos, colocándolo en las cápsulas previamente taradas, llevándolo a la estufa a una temperatura de 105°C hasta que el papel esté seco, y se va pesando hasta obtener un peso constante, posterior a esto se calculan los SST con la siguiente relación: (SALLE, 2019).

*Ecuación 18. Cálculo de sólidos suspendidos totales (SST).*

$$SST \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{\text{Peso capsula seca (105}^{\circ}\text{C)} - \text{Peso capsula limpia}}{V \text{ muestra}} * 10^6$$

### 2.2. DQO (Demanda química de oxígeno):

#### Método: Fotométrico.

**Procedimiento:** Se agrega 2 ml de muestra en un tubo de ensayo de DQO ya previamente con los reactivos y para el blanco se añade 2ml de agua des ionizada en otro tubo de DQO y se ponen a hacer digestión en el termo reactor por 2 horas para que se efectúen las reacciones, después del calentamiento se pone el blanco en el espectrofotómetro y seguidamente se realiza la medición de esta. (HACH, 1999).

### 2.3. DBO5 (Demanda biológica de oxígeno):

**Método: Respirométrico.**

**Procedimiento:** Obtenido el valor de la DQO, se asume que esta es un 80% de la DBO, por tratarse de aguas domésticas, por ende, el resultado de esta es la DBO que se espera. Con este valor se tiene en cuenta la siguiente tabla:

*Tabla 55. Rangos para medición de DBO.*

<b>Volumen de muestra</b>	<b>Rango de medición</b>	<b>Factor</b>
432	0-40	1
365	0-80	2
250	0-200	5
164	0-400	10
97	0-800	20
43,5	0-2000	50
22,7	0-4000	100

**Fuente:** RAS, 2017

Teniendo el valor esperado de la DBO, se toma el volumen de muestra dependiendo el rango de medición que se espera, y este se añade a una botella OXITOP, a la cual se le agrega también un volumen de nutriente que previamente se prepara agregando 1 nutriente por cada 300ml de muestra, posteriormente se deja estas en la incubadora, y se mide a los 5 días posteriores al montaje. (SALLE, 2019).

### 3. Procedimiento para determinar sales:

#### 3.1. Nitrógeno amoniacal:

**Método: Fotométrico.**

**Procedimiento:** Se agrega 10 ml de muestra en una celda hach y se agrega 10 ml de agua desionizada como blanco se agrega un sobre de ammonia salicylate a cada uno de los frascos se agita vigorosamente se espera 3 minutos de reacción seguido se agrega un sobre de ammonia

Anexos

cyanurate, se vuelve a agitar se esperan 15 minutos de reacción y se espera un color verde como positivo de que existe nitrógeno amoniacal se pone el blanco y seguidamente se mide la muestra en el espectrofotómetro.

### **Procedimiento para determinar compuestos de fósforo:**

#### **Fósforo total: Método: Fotométrico.**

**Procedimiento:** Abrir el tubo test y añadir 4ml de muestra y 1 NANOFIX R2, se debe cerrar bien el tubo test con el tapón, agitarlo, introducirlo en el calefactor y ponerlo en funcionamiento, al cabo de 30-60 minutos, extraer el tubo de test del calefactor y enfriar a temperatura ambiente añadiendo 1 NANOFIX R3 y 0,2ml de R\$, mezclar y medir después de 10 minutos.

(NANOCOLOR, 1911).

### **Procedimiento para determinar grasas y aceites:**

#### **Grasas y aceites: Método: Extracción y gravimétrico.**

**Procedimiento:** Se debe tomar las muestras que se obtiene de la filtración de los sólidos suspendidos totales, y colocar en los dedales que serán puestos en el equipo SOXHLET, donde se toma el vaso belt al cual se colocan perlas de ebullición, donde se colocan en la estufa durante 2 horas y pasan al desecador por 20 minutos, tomando un peso inicial, el cual se obtiene del promedio de repetir ese proceso durante 3 veces seguidas, y se coloca en el equipo SOXHLET, donde se colocan 20ml de hexano y se programan las fases de extracción en el equipo, donde la primera dura aproximadamente 35 minutos, la segunda 25 minutos y la tercera 40 minutos. En el vaso quedan las grasas que contenía el dedal dentro de sí. El vaso se coloca 30 minutos posteriormente en la estufa y se saca 20 minutos al desecador y se toma un peso final, donde la diferencia de pesos es el valor de las grasas. (SALLE, 2018).

## Anexos

*Ecuación 19. Cálculo de grasas y aceites*

$$GYA, \text{mg} / L = \frac{(P_f - P_i)}{V} * 10^6$$

*Fuente: (IDEAM, DETERMINACIÓN DE GRASAS Y ACEITES EN AGUAS POR EL METODO SOXHLET, 2007)*

Donde:

Pf = peso final del vaso de extracción (gr).

Pi = peso inicial del vaso de extracción (gr).

V = Volumen de la muestra (ml)

#### ANEXO 4.

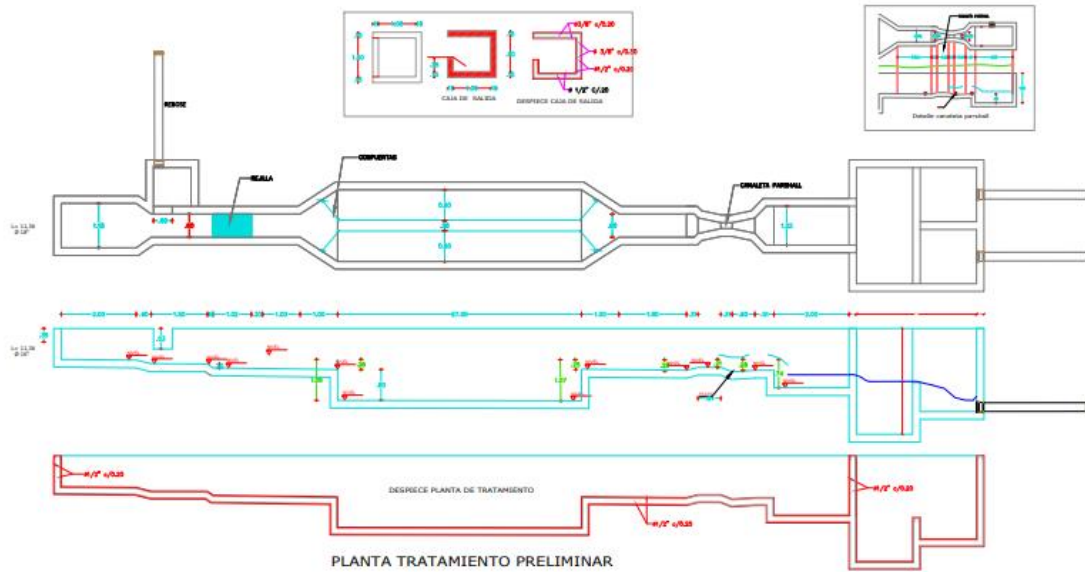
Para el desarrollo de esta actividad, se analizarán los datos de los parámetros físico-químicos de la caracterización realizada, estos valores se utilizarán para ser comparados con los valores máximos permisibles establecidos en la Resolución 0631 de 2015, Capítulo V donde se presentan los “parámetros fisicoquímicos y sus valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas – ARD y de las aguas residuales (ARD – ArnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales” (SOSTENIBLE, 2015); comparando cada uno de los resultados con los valores permisibles establecidos en la normatividad, y estableciendo así cuales de estos incumplen con la misma. Posteriormente se procederá a medir las eficiencias de cada una de las unidades del tren de tratamiento, lo cual se realizará por medio de la siguiente ecuación:

*Ecuación 20. Determinación de eficiencia en unidades*

$$\frac{\text{Valor de entrada} - \text{valor de salida}}{\text{Valor de entrada}} * 100 = \% \text{ eficiencia}$$

Dónde los valores de entrada y de salida, serán valores de los parámetros obtenidos de la caracterización realizada a cada unidad, y los cuales se especifican anteriormente.

### ANEXO 7.

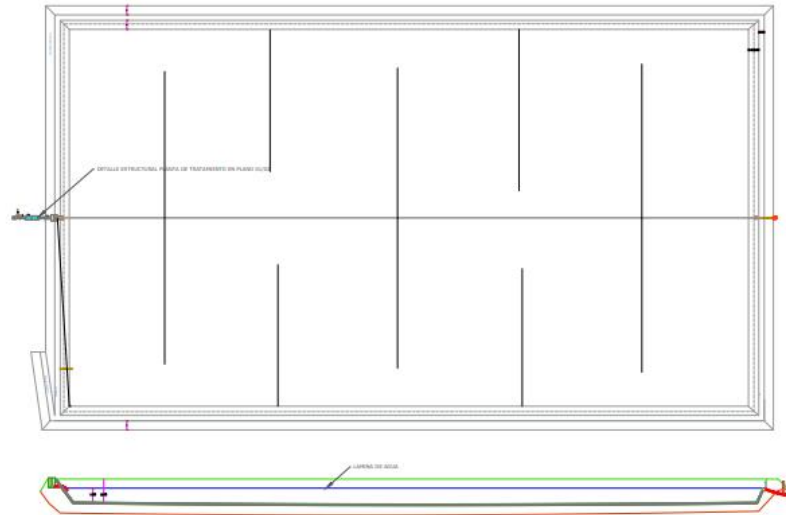



PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO  
DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUA RESIDUAL DEL MUNICIPIO DE  
TIBÚ, NORTE DE SANTANDER.

Elaboró:  
Angie  
Fernanda  
Arias  
Monsalve

Plano 1/2  
Diseño tratamiento preliminar

## ANEXO 8.



 <p>UNIVERSIDAD DE <b>LASALLE</b></p>	<p>PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL MUNICIPIO DE TIBÚ, NORTE DE SANTANDER.</p>	<p>Elaboró: Angie Fernanda Arias Monsalve</p>	<p>Plano 2/2 Diseño tratamiento preliminar</p>
--	---	---	--