

**DISEÑO CONCEPTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE PESCA, BOYACÁ**

**JUAN FELIPE CÁCERES ESPINOSA**

**ADRIANA VICTORIA MARTINEZ DUARTE**

**Proyecto integral de grado para obtener el título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**Orientador**

**DIANA MARCELA CUESTA PARRA**

**Ingeniero Ambiental**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMERICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**BOGOTÁ D.C.**

**2022**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

Nombre

Firma presidente del jurado

---

Nombre

Firma del jurado

---

Nombre

Firma del jurado

Bogotá D.C. 13 de junio de 2022

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

**Presidente de la Universidad y Rector del Claustro**

**Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA**

**Consejero Institucional**

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCIA-PEÑA**

**Vicerrectora Académica y de Investigaciones**

**Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN**

**Vicerrector Administrativo y Financiero**

**Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO**

**Secretario General**

**Dr. JOSÉ LUIS MACÍAS RODRÍGUEZ**

**Decana Facultad de Ingeniería**

**Ing. NALINY PATRICIA GUERRA PRIETO**

**Directora Programa Ingeniería Química**

**Ing. NUBIA LILIANA BECERRA OSPINA**

## **DEDICATORIA**

A mis padres y a mis abuelos por aportarme el apoyo en el camino del aprendizaje académico y el acompañamiento en mi proceso de crecimiento personal, su paciencia, amor y compromiso me impulsan a continuar con mis estudios mejorando cada día más.

Creo en Dios y en la fortaleza que me ha dado en cada una de las situaciones que he vivido durante este camino lleno de aprendizaje y lecciones, el amor y la entrega son los pilares de cada paso que doy en acompañamiento de mi familia.

**Adriana Victoria Martínez Duarte**

## **DEDICATORIA**

A mis padres por el apoyo y las oportunidades que me brindaron en esta etapa de mi vida de aprendizaje y formación personal, su amor y cariño incondicional, que fueron pilares importantes para cada día dar lo mejor de mí y poder conseguir este importante logro.

**Juan Felipe Cáceres Espinosa**

## **AGRADECIMIENTOS**

Para la realización del presente trabajo de grado se agradece encarecidamente por el apoyo prestado por parte de la docente Diana Marcela Cuesta Parra que trabajo en conjunto con los autores del presente documento para desarrollar el proceso experimental y diseño conceptual con la asesoría en plantas de aguas residuales y normativa ambiental junto con los conocimientos y corrección pertinentes en cada sesión de trabajo realizada.

Por otro lado, se agradece a la Alcaldía Municipal de Pesca Boyacá y a la oficina de servicios públicos por la apertura a la documentación sobre vertimientos, mapas, normativa y canales de recolección de aguas como a los propietarios de los terrenos donde se encuentran ubicados los puntos de muestreo que fueron claves para las muestras de agua residual.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

|  | pág. |
|--|------|
| RESUMEN  | 13   |
| INTRODUCCIÓN   | 14   |
| OBJETIVOS  | 15   |
| 1. MARCO TEÓRICO   | 16   |
| 1.1. Historia del tratamiento de las aguas residuales                        | 16   |
| 1.2. Plantas de agua residual  | 17   |
| 1.3. Compuestos inorgánicos  |      |
| <b>¡Error! Marcador no definido.</b>   |      |
| 1.4. Tratamiento biológico   | 18   |
| 1.4.1. <i>Tratamiento biológico de las aguas residuales</i>                  | 18   |
| 1.4.2. <i>Métodos de tratamiento</i>   | 19   |
| 1.4.3. <i>Función de los microorganismos en el tratamiento biológico</i>     | 19   |
| 1.4.4. <i>Cinética del crecimiento biológico</i>                             | 20   |
| 1.4.5. <i>Metabolismo Aerobio</i>  | 20   |
| 1.5. Tratamiento con lodos activados   | 21   |
| 1.6. Tratamiento convencional para aguas residuales con lodos activados      | 23   |
| 1.6.1. <i>Pretratamiento</i>   | 23   |
| 1.6.2. <i>Tratamiento secundario</i>   | 24   |
| 1.6.3. <i>Tratamiento terciario</i>  | 24   |
| 2. MARCO NORMATIVO   | 25   |
| 2.1. Resolución 631 de 2015  | 25   |
| 2.2. Resolución 3560 del 2015  | 26   |
| 3. EQUIPOS   | 28   |
| 3.1. Entrada o captación de agua   | 28   |
| 3.2. Equipos para tratamiento secundario                                     | 29   |
| 3.3. Sistemas de crecimiento en suspensión:                                  | 30   |
| 3.3.1. <i>Sistema de aireación</i>   | 31   |
| 3.4. Sedimentador secundario   | 32   |
| 3.4.1. <i>Criterios generales para el diseño de tanques de sedimentación</i> | 32   |
| 3.4.2. <i>Tipos de tanques de sedimentación</i>                              | 32   |



|  |    |
|--|----|
| 4. TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS                      | 35 |
| 4.1. Tipos de lodos                                    | 35 |
| 4.2. Métodos de tratamiento de lodos                   | 35 |
| 5. METODOLOGÍA   | 37 |
| 5.1. Toma de muestras de agua residual                 | 37 |
| 5.2. Diseño de biorreactor experimental                | 41 |
| 5.3. Metodología para el diseño de la PTAR             | 43 |
| 5.3.1. <i>Parámetros de diseño</i>                     | 44 |
| 5.3.2. <i>Diseño del desarenador</i>                   | 47 |
| 5.3.3. <i>Diseño de tanque de sedimentación</i>        | 52 |
| 5.3.4. <i>Diseño de biorreactor de lodos activados</i> | 53 |
| 5.4. Crecimiento Microbiano                            | 56 |
| 5.4.1. <i>Ecuación de MONOD</i>                        | 57 |
| 6. RESULTADOS  | 61 |
| 6.1. Propuesta de diseño de la PTAR                    | 63 |
| 6.2. Tanques de sedimentación                          | 63 |
| 6.3. Generalidades de sedimentación                    | 64 |
| 6.4. Espesamiento                                      | 66 |
| 6.5. Caudal de diseño                                  | 73 |
| 6.6. Diagrama de bloques de proceso (BFD)              | 75 |
| 6.7. Diagnóstico de agua residual                      | 75 |
| 6.8. Crecimiento bacteriano                            | 80 |
| 6.9. Diagrama de flujo de proceso (PFD)                | 80 |
| 7. CONCLUSIONES  | 87 |
| BIBLIOGRAFÍA   | 89 |
| ANEXOS   | 91 |

## LISTA DE FIGURAS

|   | pág. |
|---|------|
| Figura 1. Estructura de planta de agua residual.  | 18   |
| Figura 2. Ciclo de metabolismo aerobio.   | 21   |
| Figura 3. Tratamiento con lodos activados.  | 22   |
| Figura 4. Estructura convencional de una PTAR.  | 23   |
| Figura 5. Rejilla de cribado para captación de agua en PTAR.  | 28   |
| Figura 6. Desarenador de tipo vórtice.  | 29   |
| Figura 7. Sedimentador de una PTAR convencional.  | 34   |
| Figura 8. Procesos principales de tratamiento y disposición de lodos.   | 36   |
| Figura 9. Localización de los puntos de muestreo.   | 38   |
| Figura 10. Toma de muestra compuesta inicial de los vertimientos en el municipio de Pesca.                          | 40   |
| Figura 11. Desarenador Tipo Vortex o de vórtice.  | 49   |
| Figura 12. Esquema de etapas en un tanque de sedimentación convencional.  | 65   |
| Figura 13. Diagrama inicial del biodigestor para prueba experimental.   | 67   |
| Figura 14. Biorreactor de lodos activados para tratamiento de aguas residuales.                                     | 69   |
| Figura 15. Turbidímetro empleado para pruebas de turbidez.  | 70   |
| Figura 16. Muestras para segundo análisis fisicoquímico.  | 71   |
| Figura 17. Cono Imhoff para agua cruda.   | 72   |
| Figura 18. Cono Imhoff para agua tratada.   | 72   |
| Figura 19. Diagrama de bloques de la propuesta de diseño conceptual para la PTAR del casco urbano de Pesca (Boyacá) | 75   |
| Figura 20. Gráfica de turbidez de agua cruda.   | 78   |
| Figura 21. Gráfica de turbidez de la muestra tratada.   | 79   |
| Figura 22. Diagrama de flujo para el diseño de la PTAR de Pesca Boyacá.   | 81   |
| Figura 23. Prueba de laboratorio de agua residual no. 1 por Cyanam s.a.s  | 92   |
| Figura 24. Prueba de laboratorio de agua residual no. 1 por Cyanam s.a.s  | 93   |
| Figura 25. Prueba de laboratorio de agua residual no. 1 por Cyanam s.a.s  | 94   |

## LISTA DE TABLAS

|   | pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos y valores máximos permisibles<br>Resolución 631 de 2015.   | 25   |
| Tabla 2. Objetivos de calidad de cuenca.  | 26   |
| Tabla 3. Especificaciones de punto de muestreo.   | 38   |
| Tabla 4. Métodos utilizados en la caracterización fisicoquímica.  | 41   |
| Tabla 5. Objetivos y requerimientos de las etapas de la PTAR.   | 43   |
| Tabla 6. Características de diseño de rejillas de limpieza manual   | 45   |
| Tabla 7. Parámetros de diseño del desarenador tipo vórtice.   | 48   |
| Tabla 8. Valores de diseño de desarenador aireado con desengrasado.   | 50   |
| Tabla 9. Criterios de diseño de lodos activados.  | 59   |
| Tabla 10. Proyección poblacional para 2022 – 2035 en Pesca Boyacá.  | 62   |
| Tabla 11. Resultados de caudal de aire requerido.   | 67   |
| Tabla 12. Métodos utilizados en la caracterización fisicoquímica.<br>Resultados análisis fisicoquímicos.                                      | 73   |
| Tabla 13. Valores de caudal de diseño obtenidos y corregidos.   | 74   |
| Tabla 14. Resultados análisis fisicoquímicos de la muestra de agua cruda.   | 76   |
| Tabla 15. Comparación de resultados Fisicoquímicos con normatividad<br>y estudios anteriores.   | 77   |
| Tabla 16. Resultados análisis fisicoquímicos de segundo diagnostico para<br>agua cruda y tratada.   | 82   |
| Tabla 17. Comparación resultados análisis fisicoquímicos de segundo<br>diagnostico para agua cruda y tratada con las normatividades vigentes. | 83   |
| Tabla 18. Dimensionamiento cribado o rejillas.  | 84   |
| Tabla 19. Dimensionamiento desarenador.   | 85   |
| Tabla 20. Dimensionamiento lodos activados.   | 85   |
| Tabla 21. Dimensionamiento tanque de sedimentación.   | 86   |

## LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

**PTAR:** Planta de tratamiento de agua residual.

**DBO:** Demanda biológica de oxígeno.

**DQO:** Demanda química de oxígeno.

**pH:** Potencial de oxígeno.

**S<sub>0</sub>:** Concentración de materia orgánica a la entrada.

**μ:** Velocidad de crecimiento microbiano.

**μ<sub>max</sub>:** velocidad máxima de crecimiento.

**K<sub>s</sub>:** Constante de velocidad microbiana.

**QR:** Caudal de recirculación de lodo (m<sup>3</sup>/día)

**Q:** Caudal de agua residual (m<sup>3</sup>/día)

**V:** Volumen

**t:** Tiempo de retención

**Q:** Caudal

**L:** Largo

**a:** ancho

**h:** alto

## **RESUMEN**

En el presente trabajo, se expuso la propuesta de diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para el municipio de Pesca Boyacá, inicialmente fue necesario realizar un diagnóstico fisicoquímico del agua residual por medio de una muestra compuesta, donde se realizaron pruebas para la determinación de parámetros como DBO, DQO, sólidos totales y dureza donde se encontró que los valores de DBO y DQO fueron de 165 mgO<sub>2</sub>/L y 339 mgO<sub>2</sub>/L respectivamente, posteriormente fue realizada una comparación de los valores obtenidos previamente con los encontrados en la Resolución 631 del 2015, Resolución 3560 del 2015 y estudios previos presentados por la alcaldía del municipio, donde se evidencia que cada uno de los parámetros obtenidos en el reporte no cumplen con la normatividad, a excepción del pH que está dentro del rango permisible con un valor de 7,2.

Con la finalidad de cumplir con los objetivos de calidad de cuenca dispuestos en la resolución 3560 del 2015, se evaluó la eficiencia de un tratamiento biológico de lodos activados con el efluente encontrado en el municipio de Pesca en tres de los vertimientos principales que desembocan en el río Chicamocha, para esto fue necesario realizar los cálculos pertinentes para el dimensionamiento del biorreactor y caudal de oxígeno necesario, dicho tratamiento fue realizado durante un lapso de 10 semanas, para evaluar la eficiencia de este, se tomaron pruebas fisicoquímicas, tales como: DBO, DQO, sólidos suspendidos volátiles, sólidos sedimentables, las muestras para estos análisis fueron recolectadas al momento de ingresar al biorreactor y 18 horas después. Se obtuvieron reducciones en cada uno de los parámetros estudiados, siendo los más significativos la reducción en los niveles de DBO y DQO con valores de 18 mgO<sub>2</sub>/L y 42 mgO<sub>2</sub>/L respectivamente.

Es necesario complementar el tratamiento biológico tanto con un pretratamiento para así obtener un sistema más completo, por ende, fueron seleccionados los siguientes equipos para la PTAR, los cuales fueron: rejillas y desarenadores, reactor de lodos activados, del mismo modo, se realizó el dimensionamiento de cada uno de los equipos respectivamente.

### **Palabras clave**

Lodos activados, aireación, agua residual, bacterias aerobias, Boyacá, diseño, diagnóstico.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la calidad de vida de las personas obedece al desarrollo industrial que aporta al mejoramiento de diversos recursos, de los cuales el ser humano puede hacer uso para su cotidianidad y desarrollo diario, es conocido que en diferentes partes de Colombia se encuentran inconsistencias en cuanto a la disponibilidad de energías limpias y recursos naturales como el agua. En el municipio de pesca Boyacá residen personas de todas las edades los cuales se han visto afectados por la falta de una planta de tratamiento de aguas residuales, en días lluviosos se genera una coloración turbia en el agua que llega a los domicilios afectando tareas domésticas e incluso la que es destinada para el consumo humano y preparación de alimentos.

Es importante el garantizar que las aguas vertidas en las fuentes hídricas cumplan con la normatividades vigentes, en este caso la resolución 631 del 2015 en el cual se establecen los parámetros y valores máximos permisibles en vertimientos a cuerpos de aguas superficiales, así mismo la resolución 3560 del 2015 el cual nos indica los objetivos de calidad de la cuenca de interés, de no cumplirse estas normatividades, la fauna y flora, así mismo las aguas destinadas para uso doméstico y consumo humano se verían directamente afectadas.

Con el fin de optar al título de ingenieros químicos es realizado el presente documento en el cual se lleva a cabo la propuesta de un diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de pesca Boyacá, ya que se obtendrá una adecuada disposición de las aguas residuales generadas, lo cual representará una mejora en la calidad de vida de los habitantes de dicho municipio. Para el desarrollo de dicha propuesta inicialmente es llevado a cabo una caracterización fisicoquímica del agua encontrada en 3 de los 8 vertimientos existentes en el municipio, esto con la finalidad de tener una idea del estado actual de este recurso natural, posteriormente es realizado un montaje de un biorreactor de lodos activados a escala de laboratorio con para evaluar la eficiencia de este método con el efluente encontrado en el municipio y así mismo poder seleccionar el sistema de tratamiento de aguas residual adecuado y que cumpla con los objetivos de calidad de la cuenca.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar conceptualmente la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) provenientes de los vertimientos existentes en el casco urbano de Pesca, Boyacá.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Identificar las características fisicoquímicas del agua residual de la zona urbana de Pesca, Boyacá.
2. Evaluar el sistema biológico de lodos activados para el tratamiento del agua residual a través de un biorreactor a escala de laboratorio.
3. Realizar un diseño conceptual para el tratamiento de aguas residuales en la zona urbana de Pesca Boyacá.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Historia del tratamiento de las aguas residuales

El desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas residuales se hizo más evidente en el siglo XX. Estos sistemas fueron considerados por mucho tiempo como un riesgo potencial para la salud y molestos en aglomeraciones urbanas. Los antiguos griegos (300 A.C. a 500 D.C.) utilizaban letrinas públicas que drenaban hacia alcantarillas que transportaban las aguas residuales y pluviales hacia un colector en las afueras de la ciudad. De ahí, el agua residual era conducida hacia campos agrícolas por canaletas de ladrillo para ser utilizada en el riego y la fertilización de cultivos y huertas [1].

El periodo comprendido entre los años 450 y 1750 D.C. fue así conocido como la “era de la obscuridad sanitaria” (Wolfe, 1999). Durante este periodo, la principal forma de disposición de residuos fue simplemente su colocación en las calles, frecuentemente vaciando los recipientes desde las ventanas del segundo nivel. Alrededor del año 1800, un sistema colector apareció en muchas ciudades, y fue impulsado por los mismos habitantes que ya no soportaban los malos olores. Para entonces, surgieron planes para un sistema general de alcantarillado [1].

En los Estados Unidos de América y el Reino Unido se les dio uso a estos organismos al ser aplicados para limpiar el agua en los llamados filtros biológicos, que eran sistemas con biopelículas sobre rocas provenientes del lecho de ríos. En los Estados Unidos el primer filtro fue instalado en 1901, en Madison, Wisconsin. El proceso de lodos activados fue descubierto en el Reino Unido, a raíz de experimentos llevados a cabo para el tratamiento de agua en un reactor de llenado y vaciado que produjo un efluente altamente tratado. Creyendo que el lodo había sido activado, al igual que el carbón activado, el proceso fue llamado “lodos activados” [1].

La razón por la cual se requieren cinco días para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se debe a que este era el tiempo máximo requerido en los ríos del Reino Unido, antes de llegar al mar. Con el rápido crecimiento de las ciudades fue muy evidente que los ríos no podrían ser capaces de soportar mayores cargas orgánicas. Como respuesta, se incrementaron los requisitos para el tratamiento de aguas residuales para alcanzar mejores eficiencias de eliminación de materia orgánica. Para reducir la demanda de oxígeno en los ríos, así como para eliminar los efectos nocivos del amonio, fue introducida la nitrificación. Esto



propició que en Estados Unidos, Europa y Sudáfrica se construyeran algunas plantas con filtros percoladores de baja carga para eliminar materia orgánica y amonio [1].

## **1.2. Plantas de agua residual**

La construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales y sistemas de alcantarillado inició hace 150 años justamente por la presencia de organismos patógenos. Esto fue más o menos olvidado hasta mediados del siglo XX cuando la desinfección de los efluentes fue introducida. Esto se originó en parte por causa de los compuestos carcinogénicos generados durante la cloración de las aguas residuales [2]. a partir de la figura 1 se puede evidenciar un diseño de una PTAR o planta de tratamiento de agua residual en la actualidad.

Las aguas residuales se originan en los hogares, instituciones, oficinas e industrias, y pueden ser diluidas con agua de lluvia, aguas subterráneas y aguas superficiales. No tratar las aguas residuales antes de su descarga en los cuerpos receptores tiene como consecuencia efectos dañinos sobre la salud humana y el ambiente, como la generación de olores, el agotamiento del oxígeno disuelto y la liberación de nutrientes, contaminantes tóxicos y patógenos [2].

Si bien la eliminación de la fuente de contaminación debe ser promovida, el tratamiento de aguas residuales mediante procesos físicos, químicos o biológicos Es necesario para reducir al mínimo los impactos potenciales de las descargas de aguas residuales y para favorecer la recuperación de productos finales valiosos, tales como el agua misma, nutrientes y biosólidos. El tratamiento de las aguas residuales se puede lograr mediante la combinación de una variedad de procesos físicos (por ejemplo, cribado, sedimentación, filtración), químicos (como la coagulación y oxidación), térmicos (por ejemplo, secado, incineración) y biológicos (en sistemas de biomasa suspendida o fija) [2].

## Figura 1.

*Estructura de planta de agua residual.*



*Nota.* La figura muestra la estructura de la planta de agua residual. Tomado de: F. Néstor, "¿Por qué es importante construir la planta de tratamiento de Canoas?" 2019. El Tiempo. Available:

<https://www.eltiempo.com/bogota/importancia-de-la-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-ptar-de-canoas-359876>

### 1.3.Tratamiento biológico

El tratamiento biológico de las aguas residuales se basa en la función natural de las bacterias para cerrar los ciclos elementales (por ejemplo, de C, N y P) en la tierra. En una planta de tratamiento de aguas residuales se utilizan las bacterias que naturalmente proliferan en el medio ambiente. Mediante la ingeniería del sistema, los requerimientos naturales para alcanzar la bioconversión, como la aireación y la cantidad necesaria de biomasa, pueden ser satisfechos. Además, el diseño de los procesos biológicos se basa en la creación y explotación de nichos ecológico para seleccionar microorganismos mejor es adaptados que puedan reproducirse bajo esas condiciones ambientales [2].

#### 1.3.1. *Tratamiento biológico de las aguas residuales*

Si las aguas residuales tomadas resultan ser biodegradables pueden ser eliminadas por tratamientos biológicos, se deben comprender muy bien los fenómenos biológicos que se dan, los diversos tipos de microorganismos que lo realizan utilizan patrones metabólicos para la degradación de las aguas residuales, también se debe tener en cuenta cuales factores afectan el

crecimiento biológico y la cinética de tratamiento que siguen para la degradación de los desechos [3].

Los tratamientos biológicos para aguas residuales se realizan con el objetivo de remover los sólidos coloidales, no sedimentables y los sólidos disueltos, estabilizando la materia orgánica. Para las aguas municipales se quiere reducir el contenido orgánico o los nutrientes como el nitrógeno y el fósforo [3].

### ***1.3.2. Métodos de tratamiento***

Existen varios tipos de tratamientos dependiendo la calidad de agua residual a tratar, en algunos casos es común que se combinen entre ellos para obtener una mejor eficiencia del proceso ya que el agua residual puede contener compuestos de toda naturaleza.

- **Métodos físicos**

Se llevan a cabo cambios por medio de la aplicación de fuerzas físicas, las unidades básicas son cribado, mezclado, adsorción, transferencia de gas, flotación, sedimentación y filtración [3].

- **Métodos químicos**

Tratamientos en los cuales la remoción de contaminantes se realiza por medio de adición de reactivos donde ocurren reacciones químicas, como el ajuste de pH, coagulación y desinfección [3].

- **Métodos biológicos**

La remoción de los contaminantes se realiza por medio de oxidación biológica de la materia orgánica, y su principal uso es la remoción de los compuestos orgánicos biodegradables, como la técnica de lodos activados [3].

### ***1.3.3. Función de los microorganismos en el tratamiento biológico***

Los microorganismos actúan en la remoción de la DBO carbonácea, la coagulación de los sólidos no sedimentables y disueltos como también en la estabilización de la materia orgánica, los organismos que intervienen son principalmente bacterias [4].

Las bacterias usan la materia orgánica coloidal y disuelta para alimentarse y llevar a cabo las funciones metabólicas como crecimiento y reproducción generando productos como varios

tipos de gases y materia orgánica y células en forma de biomasa. Es necesario entender los siguientes puntos por la complejidad de funcionamiento interno de estos:

- Las necesidades nutricionales de los microorganismos
- Los factores ambientales que afectan el crecimiento microbiano
- El metabolismo de los microorganismos
- La relación entre el crecimiento biológico y la utilización del sustrato

Las bacterias se utilizan para convertir la materia orgánica carbonosa coloidal y disuelta en diferentes gases y biomasa. Dado que esta biomasa tiene un peso específico ligeramente superior al del agua, se puede eliminar por sedimentación [4].

Debido a que la biomasa que es de naturaleza orgánica, aparecerá como parte de la medida de la DBO del efluente. Si no se separan las células, el único tratamiento que se habrá llevado a cabo es el asociado con la conversión bacteriana de una fracción de la materia orgánica presente originalmente en diversos productos gaseosos finales [4].

#### **Microorganismos importantes en el tratamiento:**

- Microorganismos procariotas como eubacterias y arqueobacterias.
- Simplemente bacterias.
- Grupo de los eucariotas en las aguas residuales como hongos, protozoos y algas.

#### ***1.3.4. Cinética del crecimiento biológico***

Un factor importante es el ambiente como crecen los microorganismos y las condiciones ambientales a las que están expuestos para su desarrollo. Para asegurar su crecimiento se debe proporcionar un tiempo prudente en el sistema para que se la reproducción. Dicho tiempo depende de la tasa de crecimiento, la cual está relacionada con la velocidad del metabolismo o que utiliza el sustrato [4].

#### ***1.3.5. Metabolismo Aerobio***

La descomposición de la materia orgánica se divide en tres fases principales:

- Hidrólisis de las moléculas complejas en monómeros
- Descomposición de monómeros en intermediarios comunes
- Ciclo de Krebs y cadena respiratoria [4].

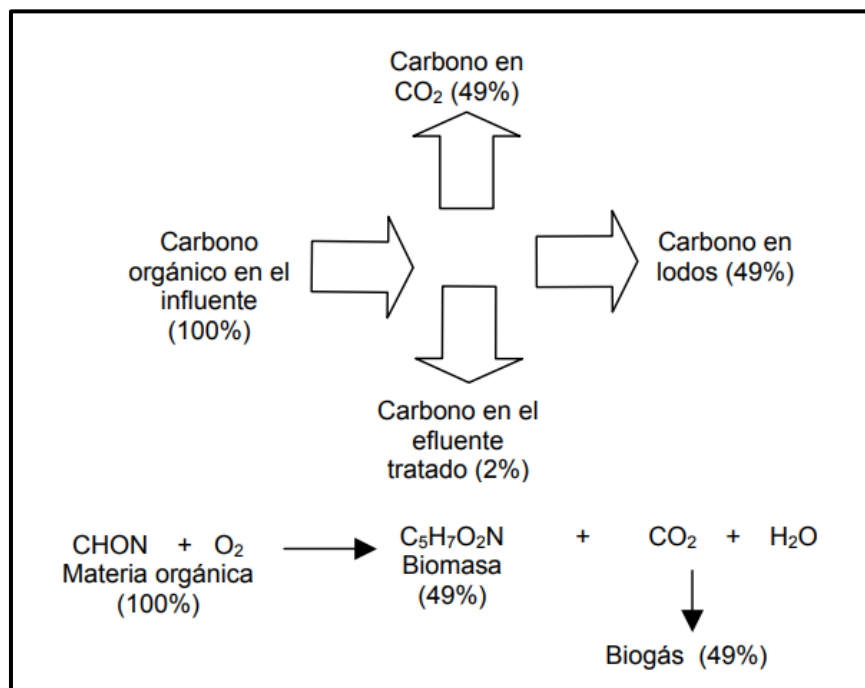
## Tipos de tratamientos aerobios:

- Tipo extensivo de lagunas.
- Procesos de biomasa en suspensión con lodos activados.
- Procesos de biopelícula con filtros y biodiscos [4].

En la Figura 2, se ilustran las etapas de las bacterias aerobias junto con la reacción biológica que ocurre en dicho proceso, la misma se basa en la unión de la materia orgánica con el oxígeno que las bacterias captan y como efecto ocurre la aparición de la biomasa que se precipita eliminándose de la mezcla.

**Figura 2.**

*Ciclo aerobio de las bacterias.*



**Nota.** Ciclo de las bacterias de organismo aerobio. Tomado de: Documentación IDEAM de tratamiento biológico de aguas residuales.

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloII/5Microbiologiadelodosactivados.pdf>

En la figura 2 se presentan las fases para el metabolismo aerobio, está bien desarrollada y es la más conocida por su eficiencia.

### 1.4. Tratamiento con lodos activados

El sistema de lodos activados es un proceso de tratamiento de aguas residuales que se

fundamenta en la utilización de microorganismos (sobre todo bacterias heterótrofas facultativas), que crecen en el agua residual, convirtiendo la materia orgánica disuelta en productos más simples como nuevas bacterias, dióxido de carbono y agua. Es un tratamiento secundario o biológico en una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) y es el comúnmente más utilizado tanto municipal como industrialmente [4].

### **Figura 3.**

*Tratamiento con lodos activados.*



*Nota.* La imagen muestra el tratamiento con lodos activados. Tomado de: Romero Rojas, J. A. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería. Autor: Ing. Carlos Toledo. Gerente Técnico en ISA.

### **Los componentes de un sistema de lodos activados son:**

- El reactor o el tanque de aireación: es donde los microorganismos se mantienen en suspensión y aireados. Es la parte fundamental de un sistema de lodos activados, su diseño y operación dependen de numerosas variables como la carga orgánica, la temperatura o la presencia de sustancias tóxicas.
- Fuente de aireación: permite airear y transferir el oxígeno al sistema. Puede ser un soplador con difusores, aireación mecánica o a través de la inyección de oxígeno puro.
- Sistema de separación de sólidos (tanque de sedimentación): se utiliza para separar los sólidos biológicos del agua tratada.
- Sistema de tuberías y bombas: sirve para recircular los sólidos biológicos (microorganismos y sólidos inertes) del sedimentador al reactor biológico. Este proceso también se le conoce como la “recirculación de lodos activados”.

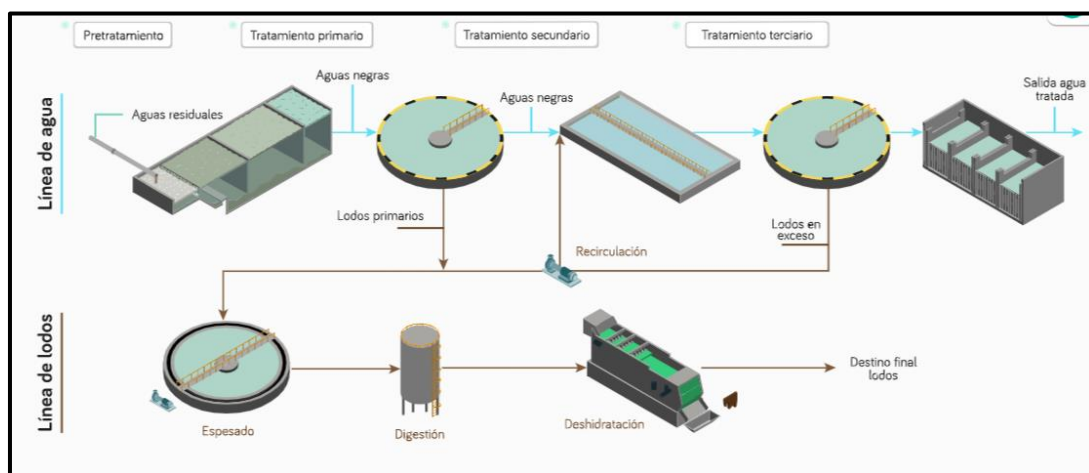
- Tubería de desecho: se desechan lodos biológicos del sistema que quedan en exceso. A este proceso también se denomina “purga de lodos” [4].

## 1.5. Tratamiento convencional para aguas residuales con lodos activados

Durante el proceso de tratamiento de agua residual planteado en la presente propuesta de diseño, se tiene en cuenta las diferentes etapas que son requeridas para lograr el objetivo. En la Figura 4 se ilustran las etapas principales que conforman a una PTAR para su correcto funcionamiento junto con la recirculación de lodos que es importante para purgar el sistema.

**Figura 4.**

*Estructura convencional de una PTAR.*



**Nota.** La imagen muestra las etapas convencionales de una PTAR. Tomado de. V. VirtualPlant, “Tratamiento secundario de aguas residuales por medio de lodos activados”. Virtual Pro, Sep. 23, 2021, [Online]. <https://www.virtualpro.co/biblioteca/tratamiento-secundario-de-aguas-residuales-por-medio-de-lodos-activados>.

### 1.5.1. Pretratamiento

Este tratamiento preliminar tiene como objetivo remover del agua residual aquellos constituyentes que puedan causar dificultades de operación y aumento del mantenimiento en los procesos posteriores como grasas, sólidos gruesos, medios y finos, arenas de cierto tamaño y peso específico, finalmente, como resultado se obtienen las llamadas aguas negras que pasan a la siguiente etapa [2].

### ***1.5.2. Tratamiento secundario***

Es usado principalmente para remoción de DBO (el cual hace referencia a demanda biológica de oxígeno, este representa la cantidad de oxígeno que los microorganismos consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas presentes en el agua) y de los sólidos suspendidos, adicionalmente se incluyen procesos biológicos y ocurre en dos equipos diferentes, de este tratamiento se obtiene una salida de lodos en exceso que se recircula para el aprovechamiento de la materia orgánica y la eficiencia del tratamiento, debido a que en la segunda etapa la carga de microorganismos es mayor se debe tratar antes de desechar. [5] [6].

Este tratamiento secundario se considera el más robusto en el proceso, se divide en diferentes etapas como lo son:

- **Etapa inicial:** Ingresa el agua efluente del primer clarificador en donde se realiza la separación físico-química de las partículas en suspensión que no fueron retenidas en el pretratamiento [6].
- **Etapa de aireación:** El agua ingresa a una zona o cuenca de aireación que contiene un cultivo microbiano disperso en forma de flóculos, en la cuenca se realiza una aireación continua para aportar el oxígeno necesario que requieran los microorganismos los cuales degradan la materia orgánica presente en el agua residual [6].
- **Etapa de sedimentación:** Se pasa a un sedimentador secundario donde se decanta la biomasa generada, parte de las células sedimentadas se recirculan para mantener en el biorreactor la concentración de las células deseadas mientras que el exceso generado de biomasa, se envía a la línea de lodos [6].
- **Etapa final:** El agua sobrenadante separada de la biomasa, se convierte en el efluente, del proceso y luego se envía a una zona de filtrado y tratamiento terciario llamado cloración [6].

### ***1.5.3. Tratamiento terciario***

Este tratamiento se conoce como la cloración y atiende la necesidad de remover nutrientes para prevenir la eutrofización de las fuentes receptoras o de mejorar la calidad del efluente secundario con el fin de adecuar el agua para su uso [5]. Es la etapa final donde el agua de salida ya se encuentra tratada.



## 2. MARCO NORMATIVO

### 2.1. Resolución 631 de 2015

La resolución establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deben cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. En el capítulo V, artículo 8 se muestran los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas procedentes de actividades industriales, comerciales o de servicio. Estos parámetros se muestran en la **Tabla 4**.

**Tabla 1.**

*Parámetros fisicoquímicos y valores máximos permisibles Resolución 631 de 2015.*

| PARÁMETRO                                | UNIDADES            | ARD 1       | ARD 2              |
|--|---------------------|-------------|--------------------|
| <b>GENERALES</b>                         |                     |             |                    |
| pH                                       | Unidades de pH      | 6,00 a 9,00 | 6,00 a 9,00        |
| DQO                                      | mg/L O <sub>2</sub> | 200,00      | 180,00             |
| DBO                                      | mg/L O <sub>2</sub> |             | 90,00              |
| Sólidos Suspendidos Totales (sst)        | mg/L O <sub>2</sub> | 100,00      | 90,00              |
| Sólidos Sedimentales (ssed)              | ml/L                | 5,00        | 5,00               |
| Grasas y Aceites                         | mg/L                | 20,00       | 20,00              |
| Sustancias Activas al Azul de Metileno   | mg/L                |             | Análisis y reporte |
| <b>HIDROCARBUROS</b>                     |                     |             |                    |
| Hidrocarburos Totales (htp)              | mg/L                |             | Análisis y reporte |
| <b>COMPUESTOS DE FÓSFOROS</b>            |                     |             |                    |
| Ortofosfatos (p-po <sub>4</sub> )        | mg/L                |             | Análisis y reporte |
| Fosforo total                            | mg/L                |             | Análisis y reporte |
| <b>COMPUESTOS DE NITROGENO</b>           |                     |             |                    |
| Nitratos (n-no <sub>3</sub> )            | mg/L                |             | Análisis y reporte |
| Nitritos (n-no <sub>2</sub> )            | mg/L                |             | Análisis y reporte |
| Nitrogeno amoniacal (n-nh <sub>3</sub> ) | mg/L                |             | Análisis y reporte |
| Nitrogeno total                          | mg/L                |             | Análisis y reporte |

|                                   |           |                 |
|-----------------------------------|-----------|-----------------|
| <b>Temperatura</b>                | °C        | <40             |
| <b>Caudal</b>                     | L/s       | No Especificado |
| <b>Coliformes Termotolerantes</b> | NMP/100ML | No Especificado |

*Nota.* La tabla está representando los datos regidos por la norma. Tomado de. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Resolución 631 de 2015. En línea. Avaluable: <https://fenavi.org/wp-content/uploads/2018/05/Resolucion-631-2015.pdf>.

- Para los parámetros que no exigen valor máximo, se debe realizar un análisis y reporte, para tener un control de los mismos.

## 2.2. Resolución 3560 del 2015

La cual establece los objetivos de calidad de la cuenca alta y baja del río Chicamocha, a lograr en el periodo de 2016-2025. dicho estudio fue realizado por la corporación autónoma regional de Boyacá, en el cual los usuarios que generen vertimientos y descarguen sus aguas residuales en los tramos abarcados en esta resolución deberán cumplir con los objetivos de calidad de cuenca que posteriormente serán descritos en la tabla 5.

**Tabla 2.**

*Objetivos de calidad de cuenca*

| CUENCA MEDIA DEL RIO CHICAMOCHA                      |                    |  |                     |   |         |
|--|--------------------|--|---------------------|---|---------|
| Tramo  | Coordenadas        | Usos del recurso                           | Objetivo de calidad | Parámetro   | Valor   |
|  |                    |  |                     | pH(Unidades)  | 4,5-9,0 |
|  |                    |  |                     | Coliformes totales(NMP/100ml)   | 5000**  |
|  |                    |  |                     | Coliformes Fecales (NMP/100ml)  | 1000**  |
|  |                    |  |                     | Materiales flotantes y película visible de grasas y aceites flotantes | Ausente |
| <b>Tramo 4 Desde Vado castro hasta puente Pinzón</b> | 1.134.166 E        | Agrícola. Estético. Dilución y Asimilación | Agricola            | Coliformes Termoflotantes(NMP/ml)                                     | 100     |
|  | 1.129.810 N        |  |                     | DBO(mg/l)   | <10     |
|  | (5" 46' 7,596* N   |  |                     | DQO(mg/l)   | 30      |
|  | 72" 51' 58,570* W) |  |                     | OD(mg/l)  | 2       |
|  | -                  |  |                     |   |         |
| 1.158.071 E  |                    |  |                     |   |         |
| 1.191.066 N  |                    |  |                     |   |         |
| (6" 19' 19,280* N                                    |                    |  |                     |   |         |
| 72" N  |                    |  |                     |   |         |
| 38' 56,570* W)                                       |                    |  |                     |   |         |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Sólidos suspendidos<br/>Totales(mg/l)</b> | 50-100    |
| <b>Fosfatos(mg/l P-PO4)</b>                  | 2         |
| <b>Olor</b>                                  | Aceptable |
| <b>Nitratos(N)</b>                           | <50       |
| <b>Nitritos(N)</b>                           | 0,1       |

**Nota.** La tabla expone los valores de los parámetros estipulados para pruebas fisicoquímicas en el agua. Corpoboyacá, 2019."Ordenamiento del recurso hídrico." Tomado de <https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2019/09/presentacion-porh-chicamocho.pdf>.

### 3. EQUIPOS

#### 3.1. Entrada o captación de agua

El primer paso en una planta de tratamiento de agua residual se basa en remover el material grueso del agua mediante el paso por una criba o rejilla, el sistema de rejilla es el más común para remover contaminantes gruesos como basura, puede ser rejilla manual o mecánica. A continuación, se observa en la figura 4 una imagen de unas rejillas que son utilizadas para remoción de material grueso a la entrada de la PTAR. En la figura 5, se observa una imagen cercana a como luce el sistema de cribado en la etapa de captación de agua residual, estas rejillas que se observan pueden variar en tamaños y diseños según el diseño que se realice.

#### **Figura 5.**

*Rejilla de cribado para captación de agua en PTAR.*



**Nota.** La imagen muestra el diseño de las rejillas en el sistema de cribado de la PTAR. Tomado de. Conocimientos básicos sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Módulo I) (). Available: <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i>.

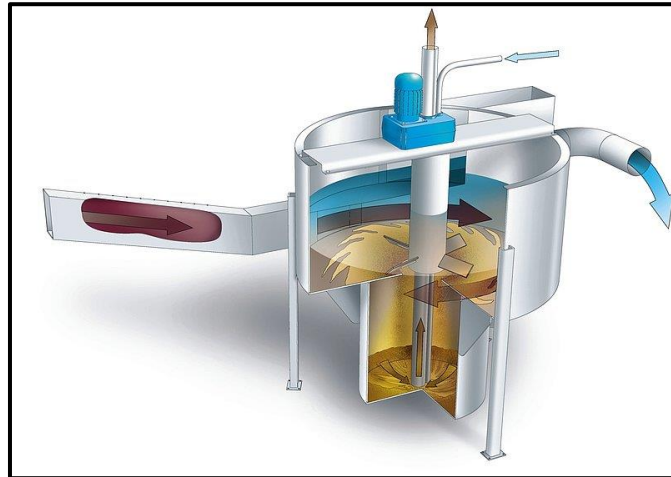
Posteriormente se encuentra ubicado el desarenador que es una estructura que tiene como objetivo eliminar grava, arenas, barro, partículas más o menos finas por sedimentación de origen inorgánico para evitar la producción de sedimentaciones en los canales y conductos posteriores, protegiendo los equipos de abrasión y evitar sobrecarga de sólidos en la zona de tratamiento biológico. [7]

El desarenador tipo Vortex se ilustra en la figura 6, se observa su estructura y parte del funcionamiento interno, como la dirección en la que gira el agua y los accesorios que incentivan

la remoción de grava, arena, entre otros. Es de gran importancia ubicar la entrada de la corriente de agua como la dirección de giro para conocer cuál es el mecanismo de trabajo del equipo.

**Figura 6.**

*Desarenador de tipo vórtice.*



*Nota.* La imagen muestra el diseño de un desarenador tipo Vortex. Tomado de. HUBER Desarenador de vórtice VORMAX (). Tomado de: <https://www.huber-technology.cl/es/productos/tratamiento-de-arenas/desarenadores-circular/desarenador-tipo-vortex-vormax.html>.

### 3.2. Equipos para tratamiento secundario

Para llevar a cabo el tratamiento secundario se emplean diferentes equipos para las etapas anteriormente descritas que se clasifican en zona de aireación y zona de sedimentación.

La zona de aireación tiene como objetivo permitir al proceso la digestión aerobia por parte de los microorganismos del reactor empleado, el sistema está compuesto por una serie de difusores tipo domo dispuestos en malla en el fondo del reactor y a lo largo de una tubería de acero inoxidable, capaz de transferir el flujo a través de burbujas finas según los requerimientos del proceso, se busca aumentar la transferencia de oxígeno en los afluentes tratados. [8]

La transferencia de oxígeno se favorece a los afluentes cuando el caudal es pequeño, es decir el diseño debe ir de la mano con un valor adecuado para el proceso y así ahorrar gastos

energéticos innecesarios y permitir la optimización del proceso, sino que también es una correcta puesta en marcha que soluciona problemas de contaminación [8].

En esta etapa se utiliza un biorreactor donde se encuentran las siguientes partes:

- **Difusores:** Son los elementos finales utilizados para transferir oxígeno al lodo activado en una planta de tratamiento biológico, dichos elementos producen burbujas al transportar el aire y así aumentar la mezcla con los microorganismos aumentando el proceso de digestión aerobia de los mismos, resulta de gran importancia debido a que los microorganismos están encargados de digerir la materia orgánica encontrada en el agua residual [8].
- **Lagunas de estabilización:** Están constituidas por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra, generalmente tiene forma rectangular o cuadrada [8].

La eficiencia de la depuración del agua residual en lagunas de estabilización depende ampliamente de las condiciones climáticas de la zona, temperatura, radiación solar, frecuencia, fuerza de los vientos locales y factores que afectan directamente a la biología del sistema. Las lagunas de estabilización trabajan con concentraciones reducidas de biomasa que ejerce su acción a lo largo de periodos prolongados. La eliminación de la materia orgánica en las lagunas de estabilización es el resultado de una serie compleja de procesos físicos, químicos y biológicos, entre los cuales se pueden destacar dos grandes grupos:

- Sedimentación de los sólidos en suspensión, que suelen representar una parte importante (40-60 % como DBO5) de la materia orgánica contenida en el agua residual, produciendo una eliminación del 75-80 % de la DBO5 del efluente.
- Transformaciones biológicas que determinan la oxidación de la materia orgánica contenida en el agua residual [8].

### 3.3. Sistemas de crecimiento en suspensión

Los sistemas de crecimiento en suspensión pueden ser muy variados, según las características en que se lleven a cabo los procesos aerobios:

- **Aireación prolongada:** Este sistema consiste en prolongar la aireación hasta 24 horas, lo cual da estabilidad al proceso, pero aumenta el costo de operación. El tiempo de retención en los tanques finales es alrededor de dos veces que el de una planta convencional. La sencillez de este proceso promueve su uso en instalaciones pequeñas [8].

- **Estabilización por contacto:** Este proceso también es llamado biosorción y consiste en que los lodos biológicos sufren una aireación prolongada. El proceso es ideal para residuos con una alta proporción de contaminantes orgánicos en forma de partículas, debido a que depende de la absorción de éstos por parte de los lodos estabilizados durante un periodo de contacto pequeño (de 20 a 40 minutos). Puesto que no existen tanques primarios, no se producen lodos primarios y la estabilización de los lodos residuales aerobios se ha llevado a cabo básicamente por la digestión aerobia. Los altos costos energéticos limitan el uso de estos procesos a plantas pequeñas, con caudales menores a 4000 m<sup>3</sup> /día [8].
- **Lodos activados convencionales:** Esta es la aplicación de uso más extensivo de crecimiento en suspensión, donde los microorganismos se mantienen en suspensión durante 4 u 8 horas en un tanque de aireación. (Reactores biológicos) por medio de mezcladores mecánicos o aire difuso [8].

Su concentración en el tanque se mantiene por el retorno continuo de flóculos biológicos sedimentados que provienen de un tanque de sedimentación secundario y luego se dirigen al tanque de aireación. Al igual que los tanques primarios, los tanques finales pueden ser rectangulares o circulares y en ocasiones cuadrados, pero proporcionan tiempos de retención más largos y regímenes de derrame más bajos [8].

De los flóculos biológicos que se sedimentan en los tanques finales (también llamados clarificadores secundarios) entre el 20 y 40% se devuelven al tanque de aireación, el resto (llamado lodos activados por residuos) debe recibir un tratamiento adicional [8].

En plantas pequeñas, estos lodos activados por residuos son devueltos a los tanques primarios para ser sedimentar con los lodos primarios. En plantas más grandes los lodos activados por residuos se espesan en los tanques finales por sedimentación gravitatoria o mediante flotación con aire disuelto antes de su digestión con los lodos activados [8].

### ***3.3.1. Sistema de aireación***

Es el proceso mediante el cual el agua se pone en contacto íntimo con el aire, para modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella. Su principal función en los procesos biológicos consiste en proporcionar oxígeno y mezclarlo con el agua residual, la cual está dirigida hacia la: transferencia de oxígeno disuelto, remoción de sustancias volátiles productoras de olores y sabores desagradables, dióxido de carbono, hidruro de azufre, hierro, magnesio, metano, cloro, amoníaco, y compuestos orgánicos volátiles [9].

Los procesos de tratamientos biológicos aerobios, como el de lodos activados, requieren de concentraciones de determinadas cantidades de oxígeno disuelto, (generalmente de 0,2 a 2,0 mg/L) con el fin de asegurar un suministro adecuado de oxígeno para el consumo de los microorganismos responsables del tratamiento [9].

### **3.4. Sedimentador secundario**

El equipo está diseñado para remover materia orgánica soluble que permanece en la mezcla, se encuentran varios tipos de sedimentación como:

- **Sedimentación primaria:** para remover sólidos sedimentables y material flotante de aguas residuales crudas, reduciendo el contenido de sólidos suspendidos.
- **Sedimentación intermedia:** para remover sólidos y crecimientos biológicos preformados en reactores biológicos intermedios como los filtros percoladores de primera etapa.
- **Sedimentadores secundarios:** para remover la biomasa y sólidos suspendidos de reactores biológicos secundarios, como los procesos de lodos activados y los filtros percoladores.
- **Sedimentadores terciarios:** para remover sólidos suspendidos y floculados, o precipitados químicamente en plantas de tratamiento de aguas residuales [10].

#### ***3.4.1. Criterios generales para el diseño de tanques de sedimentación***

- Proveer adecuada y rápida recolección del lodo sedimentado, así como de la espuma.
- Minimizar las corrientes de salida, limitando las cargas de rebose sobre el vertedero. El efluente debe salir sin alterar el contenido del tanque.
- Proveer profundidad suficiente para almacenar lodo y permitir su espaciamiento adecuado. Borde libre mayor de 30 cm.
- Reducir efectos del viento mediante pantallas y vertederos [10].

#### ***3.4.2. Tipos de tanques de sedimentación***

- **Tanques de flujo horizontal:** son rectangulares en planta, con el fondo inclinado hacia una tolva de extracción de lodos en el extremo de entrada.
- **Tanques de flujo radial:** son circulares en planta, con el fondo inclinado hacia un pozo central; el afluente ingresa por el centro, en un nivel inferior al del vertedero perimetral de salida, existiendo un flujo tanto radial como ascensional, de velocidad decreciente entre la entrada y la salida.



- **Tanques de flujo ascensional:** pueden ser cuadrados o circulares en planta, constituidos como una pirámide o invertido, con el fondo fuertemente hacia un pozo central; el afluente entra por el centro y fluye hacia abajo, para luego moverse radial y ascensionalmente hacia el vertedero de salida [10].

Los tanques de sedimentación también se clasifican según el método de recolección y extracción de lodos.

- Tanques de flujo horizontal con recolección manual y remoción mediante vaciado del tanque.
- Tanques de flujo horizontal con recolección mecánica y remoción mediante vaciado del tanque.
- Tanques de flujo ascensional con recolección mediante asentamiento en una tolva profunda y extracción mediante presión provista por una cabeza diferencial.
- Tanques de flujo horizontal y de flujo radial con recolección mecánica y extracción mediante presión provista por una cabeza diferencial [10].

El tanque de sedimentación de la PTAR para el casco urbano del municipio de Pesca (Boyacá) es de tipo flujo horizontal con recolección manual y remoción mediante vaciado del tanque.

### **Tanque secundario de sedimentación**

El tanque secundario es importante debido a la carga grande de sólidos y a la naturaleza esponjosa del floculo biológico de los lodos activados. Los tanques de sedimentación secundaria son generalmente circulares, pero se han construido en formas rectangulares, cuadradas, hexagonales y octogonales. El mecanismo de remoción más utilizado es el de tipo cadena y paletas metálicas preferiblemente de plástico, el cual permite una remoción continúa de sólidos [11].

Para tanques circulares con tolvas, se recomienda una pendiente de fondo de 1/12, si se realiza el mecanismo de remoción de sólidos en suelo plano se propone minimizar la carga superficial en aproximadamente 7 m/d [11]. La profundidad óptima de un tanque de sedimentación secundaria depende de diversas variables; una de ellas es aumentar la profundidad para mejorar la eficiencia, pero un tanque poco profundo también puede operar con igual de eficiencia que un tanque profundo si se mantiene un manto de lodo poco profundo. Igualmente se debe tener en cuenta que un manto de lodos grueso mejora la concentración de sólidos de lodo y disminuye los requerimientos de recirculación y tratamiento posterior de ellos [11].

La estructura de entrada del sedimentador secundario debe diseñarse para velocidades de flujo menores de 0.6 m/s, con el fin de minimizar la rotura del floculo biológico. La carga de rebose sobre el vertedero de salida es generalmente menor de 2.2 l/sm, sin embargo, muchos autores reconocen que dicha carga puede ser bastante mayor [11].

**Figura 7.**

*Sedimentador de una PTAR convencional.*



*Nota.* La imagen muestra el tanque de sedimentación utilizado para el tratamiento del Agua. Tomado de. [tratamientodelagua.com.mx/teoría-de-sedimentación/](http://tratamientodelagua.com.mx/teoría-de-sedimentación/).

## **4. TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS**

En los tanques de sedimentación se producen grandes cantidades de lodos ricos en agua, la deshidratación y disposición final de los mismos puede representar un alto costo del tratamiento de agua.

### **4.1. Tipos de lodos**

Los lodos que se producen en los procesos de tratamiento de aguas son principalmente los siguientes:

- Lodo primario proveniente de la sedimentación de aguas residuales.
- Lodo secundario proveniente del tratamiento biológico de aguas residuales.
- Lodos digeridos provenientes de los dos anteriores, separados o mezclados.
- Lodos provenientes de la coagulación y sedimentación de aguas.
- Lodos provenientes de plantas de ablandamiento.
- Lodos provenientes de desarenadores y rejillas [11].

Los lodos empleados en el presente diseño conceptual son de tipo biológico y están constituidos por bacterias endémicas que crecen y se desarrollan en proceso de tratamiento de aguas residuales, la empresa se encuentra ubicada en Tocancipá y el lodo del presente proyecto contiene bacterias de tipo licobacter, superbacter y microbacter.

### **4.2. Métodos de tratamiento de lodos**

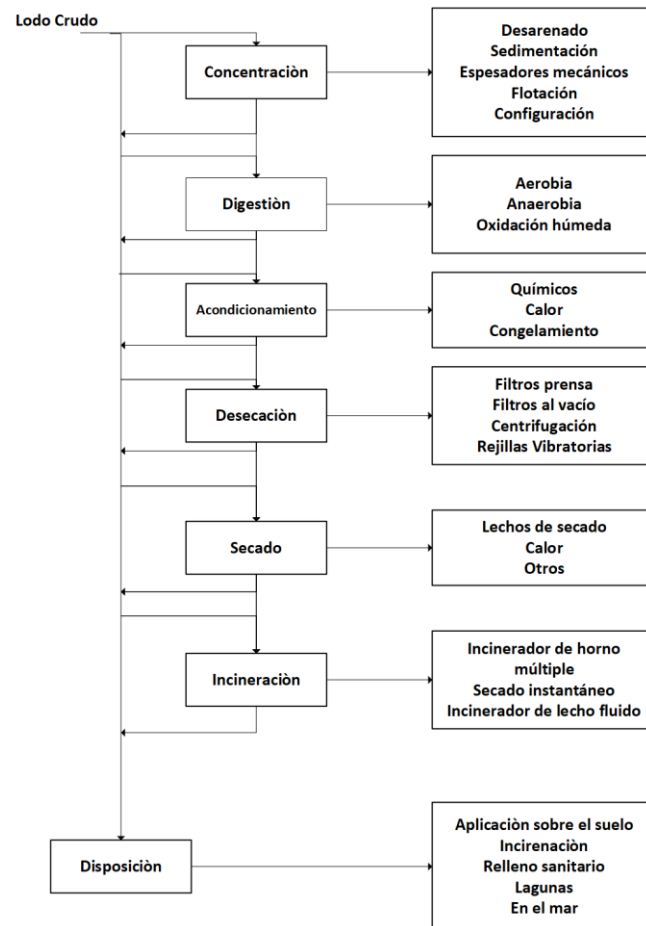
El tratamiento y disposición eficiente de los lodos de una planta de tratamiento de aguas residuales requiere conocer las características de los sólidos y del lodo por procesar, así como la aptitud de los diferentes sistemas de procesamiento y la facilidad de acceso a las diferentes opciones de disposición final [11]. En la figura 8, a continuación, se resumen las etapas o operaciones con cada uno de las funciones a cumplir en la PTAR, es de gran importancia conocer cuál es el objetivo de las operaciones unitarias para ubicar y seleccionar los equipos de manera correcta.

Los procesos enunciados en la figura 8 abarcan el tratamiento de aguas residuales y la disposición de lodos, como se observa hay varias técnicas para cada una de las etapas, y escoger la más conveniente es el objetivo en el diseño conceptual de la PTAR.

Teniendo en cuenta las condiciones ambientales, el tipo de población, los recursos hídricos, la ubicación del proyecto, entre otros, hay técnicas que favorecen más que otras las etapas de tratamiento.

**Figura 8.**

*Procesos principales de tratamiento y disposición de lodos.*



*Nota.* La figura muestra los procesos principales de tratamiento y disposición de lodos. Tomado de. J. Romero, Tratamiento De Aguas Residuales. Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999.

El método seleccionado para el tratamiento de lodos en la PTAR del municipio de Pesca Boyacá se constituye por etapa de concentración, digestión aerobia, desecación y finalizando con disposición por incineración.

## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1. Toma de muestras de agua residual**

La toma de muestras se realizó en tres puntos de vertimientos dentro del casco urbano de Pesca Boyacá conocidos como La Catedral, Estación de Servicio y Divino Niño, ubicados en la parte central del municipio en la zona urbana, es muestreo realizado es de tipo compuesto.

#### **Localización**

Pesca es un municipio colombiano ubicado en la cordillera oriental al oriente de la capital del departamento de Boyacá, hidrográficamente se encuentra entre la cuenca del río Chicamocha y la sub- cuenca del río pesca. [12]

Se encuentra situado a unos 108 km de la ciudad de Tunja, con una altitud media de 1540 a 4000 m.s.n.m, presenta actualmente una población aproximada de 9000 habitantes.

#### **Elección de los vertimientos**

Se considero prudente la elección de 3 de los 10 vertimientos presentes en el municipio, para realizar la caracterización fisicoquímica del efluente y del mismo modo para la evaluación del sistema biológico de lodos activados, esta elección se realizo con la finalidad de abarcar la mayor cantidad del efluente presente en el municipio con una menor cantidad de puntos de toma de muestra, agilizando tiempos de muestreo sin afectar los resultados del estudio.

#### **Localización de fuentes hídricas**

A continuación, se ilustra por medio de un mapa del municipio de Pesca la ubicación espacial de los tres vertimientos que corresponden a Estación de servicio, Catedral y Divino Niño, como se puede ver en la figura 10 los puntos se encuentran dentro del casco urbano. En la Figura 9, se observa el mapa de vista superior del municipio de Pesca Boyacá, su croquis y su apariencia en forma y ubicación.

En la figura 9, se ubican los puntos seleccionados de muestreo para el presente proyecto, abarcando la zona del casco urbano del municipio como se puede ver en el mapa y los puntos marcados que diferencian cada uno de los vertimientos de agua residual.

## Figura 9.

*Localización de los puntos de muestreo.*



*Nota.* La imagen muestra la vista superior del municipio de Pesca y la ubicación de los vertimientos. Tomado de Google earth. Available: <https://www.google.com/intl/es/earth/>

### **Especificaciones de puntos de muestreo**

A continuación, se encuentran las especificaciones de los puntos de muestreo para cada uno de los vertimientos escogidos para el presente proyecto, las características de muestro son relevantes para el diseño ya que definen aspectos ambientales, ubicación, parámetros de diseño de equipos, entre otros.

**Tabla 3.***Especificaciones de punto de muestreo*

| VERTIMIENTO                 | COORDENADAS     |                 |                  |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
|                             | Longitud (W)    | Latitud (N)     | Altura (M.S.N.M) |
| <b>Divino Niño</b>          | W 73° 3' 13,35° | N 5° 33' 21,59° | 2623,1           |
| <b>Catedral</b>             | W 73° 3' 15,99° | N 5° 33' 35,76° | 2619,7           |
| <b>Estación de Servicio</b> | W 73° 3' 7,10°  | N 5° 33' 43,66° | 2614,77          |

*Nota.* Especificaciones de los puntos de muestreo como coordenadas de longitud, latitud y altura. Tomado de: Caracterización de aguas residuales centro poblado del municipio de Pesca Boyacá realizado por Hidrolab S.A.S

**Toma de muestra en campo (In situ)**

En el punto de recolección se toma la prueba de pH con un **potenciómetro multiparámetro Orion 4-star plus de Thermo Scientific**. El cual fue calibrado antes de cada medición con el fin de tener claras las condiciones iniciales de las muestras que fueron tratadas en el biorreactor.

**Figura 10.**

*Toma de muestra compuesta inicial de los vertimientos en el municipio de Pesca.*



**Nota.** Imagen de muestras de agua residual cruda en vertimiento.

Posteriormente se realizó un muestreo compuesto, el cual consistió en la toma de muestras individuales para los tres vertimientos seleccionados teniendo para cada una de las muestras se tienen volúmenes iguales, las cuales posteriormente fueron mezcladas y almacenadas en un mismo recipiente. Las botellas con las muestras compuestas de los tres vertimientos se trasladaron al laboratorio escogido para el análisis y diagnóstico inicial, donde se realizaron pruebas de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales y dureza.

De acuerdo con los resultados entregados por el laboratorio CYAMAN S.A.S los métodos utilizados para la caracterización fisicoquímica del agua se encuentran en la tabla 3.



**Tabla 4.**

*Métodos utilizados en la caracterización fisicoquímica.*

| <b>Variable</b>                            | <b>Metodo/Técnica</b>   |
|--|---|
| <b>pH</b>                                  | S.M. 4500 H –B Método electrométrico                              |
| <b>Demanda química de Oxígeno (DQO)</b>    | S.M. 5220 C. Reflujo cerrado – Titulación                         |
| <b>Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO)</b> | SM 5210 B Incubación 5 Días.<br>SM 4500 O.G Electrodo de Membrana |
| <b>Sólidos suspendidos</b>                 | S.M. 2540 D Sólidos Suspendidos Totales Secados 103 °C – 105 °C   |
| <b>Sólidos totales</b>                     | S.M. 2540 B - Secados 103 °C – 105 °C                             |
| <b>Dureza total</b>                        | S.M. 2340 - C Método Volumétrico con EDTA                         |

*Nota.* La tabla muestra los métodos utilizados para las pruebas realizadas de caracterización fisicoquímica.

## **5.2. Diseño de biorreactor experimental**

El procedimiento más utilizado para tratar las aguas residuales es el de lodos activados (RLA) al cual también se le conoce como tratamiento secundario. El proceso de RLA consiste en un tratamiento biológico en donde la materia orgánica es degradada por microorganismos aerobios al estar ambos en contacto bajo condiciones óptimas de aireación.

Un proceso de RLA requiere de un reactor llamado tanque de aireación, un sedimentador secundario y un sistema de recirculación de lodos (Rittmann y McCarty 2001). Debido a que la biomasa se queda dentro del reactor, ésta proporciona un control del tiempo de residencia de los microorganismos en el reactor y la desinfección del efluente, este proyecto tiene como objetivo evidenciar la eficiencia del tratamiento con lodos activados para llevar a cabo el tratamiento de aguas residuales domésticas. Se emplea un biorreactor convencional de lodos activados (RLA), el sistema se instala en el municipio de Pesca Boyacá por un tiempo de 10 semanas.

El módulo de aireación funciona para proporcionar el oxígeno a los microorganismos y poder llevar a cabo la mezcla del reactor. El sistema RLA estuvo compuesto por una zona de aireación y una de sedimentación.

### **Dimensionamiento de biorreactor**

En primer lugar, se tiene en cuenta que el biorreactor será ensamblado con láminas cuadradas de acrílico para crear un cubo y este dividirlo con un deflector que cumplirá la función de separar la zona de aireación y la zona de sedimentación obteniendo dos lados rectangulares de diferente tamaño.

### **Expresiones matemáticas**

#### **Área: (Ec.1)**

$$A = L * a$$

#### **Donde:**

L: largo (m)

a: ancho (m)

#### **Volumen: (Ec.2)**

$$V = L * a * h$$

#### **Donde:**

L: largo (m)

a: ancho (m)

h: alto (m)

#### **Cálculo de caudal: (Ec.3)**

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

#### **Donde:**

Q: caudal (L/h)

V: volumen (L)

t: tiempo (h)

Tomado de. Giraldo Valencia. F. and I. C. Restrepo Marulanda, 2003). "Arranque Y Operación De Un Reactor Experimental De Lodos Activados Para El Tratamiento De Aguas Residuales Urbanas." Universidad Nacional De Colombia.

### 5.3. Metodología para el diseño de la PTAR

Seleccionar los tratamientos apropiados para el tratamiento de aguas residuales contempla la identificación de la mejor alternativa que garantice la remoción de los contaminantes.

Dicha identificación requiere de un análisis de las ventajas y desventajas de las tecnologías posibles. Además, se deben considerar variables como: caudal de diseño, costo del sistema en la etapa de inversión, costo de operación y mantenimiento, área requerida para su construcción, complejidad de la tecnología, producción de olores, generación de lodos y gases.

Se realiza una búsqueda bibliográfica centrada en información de aguas residuales, plantas instauradas en el municipio de Boyacá, sistemas de aireación, clasificación y costos de equipos, ventajas y desventajas, entre otros y así lograr un diseño efectivo y óptimo para el proceso planteado.

A continuación, se encuentran las zonas que se tienen en cuenta para el diseño de la planta:

**Tabla 5.**

*Objetivos y requerimientos de las etapas de la PTAR*

| ETAPA                         | OBJETIVO   | REQUERIMIENTOS                 |
|-------------------------------|--|--------------------------------|
| <b>PRETRATAMIENTO</b>         | Preparar el afluente de aguas residuales para posteriores tratamientos mediante eliminación de contaminantes que pueden causar daños en equipos.   | Etapa de cribado<br>Desarenado |
| <b>TRATAMIENTO SECUNDARIO</b> | Cumplir con el objetivo de la separación de la biomasa del agua residual por medio del efecto de lodos activados dentro del tanque de sedimentación, este proceso es aerobio por lo que se suministra oxígeno con difusores. | Aireación<br>Sedimentación     |
| <b>RECIRCULACIÓN DE LODOS</b> | Se reduce el gasto energético y de insumos al recircular los lodos activados, de esta forma la   | Digestión<br>Deshidratación    |

|                          |  |                         |
|--------------------------|--|-------------------------|
|                          | materia prima utilizada es menor.  |                         |
| <b>DISPOSICIÓN FINAL</b> | La salida se compone de agua tratada que puede tener usos domésticos ya que la biomasa fue removida y la salida de sedimentación se dispone como desechos del proceso. | Salida de sedimentación |

*Nota.* La tabla muestra una breve descripción de los objetivos y requerimientos para las etapas de la PTAR.

### 5.3.1. *Parámetros de diseño*

**Ecuación para el cálculo del caudal de diseño: (Ec.4)**

$$Q_D = \frac{C * P * R}{86400}$$

Fuente: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título D. Pág. 51.

Donde:

$Q_D$  = caudal de diseño.

C = Consumo percapita.

P = Población servida.

R = Coeficiente de retorno.

- **Características de las rejillas**

A continuación, se presentan las características de diseño de las rejillas de limpieza manual según el RAS 2000, donde se encuentran los parámetros de diseño específicos para los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales.

**Tabla 6.**

*Características de diseño de rejillas de limpieza manual.*

| Características               | De limpieza manual |
|-------------------------------|--------------------|
| Ancho de las barras           | 0,005 – 0,015 m    |
| Profundidad de las barras     | 0,025 – 0,075 m    |
| Abertura de las barras        | 0,025 – 0,05 m     |
| Pendiente con la vertical     | 30° - 45°          |
| Velocidad de acercamiento     | 18 – 36 m/h        |
| Pérdida de energía permisible | 0,15 m             |

*Nota.* La tabla muestra las características de diseño para las rejillas de limpieza manual. Tomado de RAS 2000. Título B. En línea. Available. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>

**Ecuación de pérdida de energía en rejillas: (Ec.8)**

$$h_L = \beta \left( \frac{d_b}{C} \right)^{\frac{4}{3}} h_v \text{sen}\theta$$

donde:

$h_L$  = pérdida hidráulica (m)

$\beta$  = 1.79 para barras circulares

$d_b$  = espesor de la barra (m)

$C$  = abertura de barras (m)

$h_v$  = altura o energía de velocidad de flujo de aproximación (m)

$\theta$  = ángulo de la rejilla horizontal

Calculando:

**(Ec. 9)**

$$h_v = \frac{V^2}{2 * g}$$

**donde:**

$V^2$  = velocidad de acercamiento (m)

$g$  = gravedad (m/h<sup>2</sup>)

- **Área del canal: (Ec. 10)**

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

donde:

$A$  = área de canal (m<sup>2</sup>)

$Q$  = Caudal (L/h)

$V$  = Velocidad de acercamiento (m/h)

- **Altura de la lámina de agua: (Ec. 11)**

$$Al = \frac{A}{Ac}$$

donde:

$A$  = área de canal (m<sup>2</sup>)

$Al$  = Altura de la lámina de agua (m)

$Ac$  = Ancho del canal (m)

- **Altura del canal: (Ec. 12)**

$$hc = Al + Hs$$

donde:

$hc$  = Altura del canal (m)

$Al$  = Altura de la lámina de agua (m)

$Hs$  = Altura de seguridad (m)

- **Longitud de la rejilla: (Ec. 13)**

$$L = \frac{hc}{\text{Sen}\theta}$$

donde:

L = longitud de la reja (m)

hc = Altura del canal (m)

$\theta$  = ángulo de inclinación

- **Numero de barras requeridas: (Ec. 14)**

$$n * w + (n - 1) * b = Ac$$

donde:

b = espaciamiento entre barras (m)

W = ancho del canal (m)

n = número de barras

Ac= Ancho del canal (m)

### **5.3.2. *Diseño del desarenador***

Para caudales menores a 50 L/s es recomendado que los desarenadores sean limpiados manualmente, la velocidad mínima del agua debe estar en un rango entre 0,2 m/s y 0,4 m/s, la tasa de desbordamiento superficial debe estar entre 700 y 1600 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día, así mismo la velocidad de sedimentación puede variar en un rango de 30 m/h y 60m/h, y tiempos de retención hidráulicos entre 20 segundos y 3 minutos. [13]

A continuación, se muestran las características geométricas y recomendadas del tipo de desarenador que se desee diseñar.

**Tabla 7.***Parámetros de diseño del desarenador tipo vórtice.*

| Parámetro                   | Desarenador de flujo horizontal | Desarenador aireado | Desarenador tipo vórtice |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------|--------------------------|
| profundidad (m)             | 2 - 5                           | 2 - 5               | 2,5 - 5                  |
| Longitud (m)                | ---                             | 8 - 20              | ---                      |
| Ancho (m)                   | ---                             | 2,5 - 7             | ---                      |
| Relación Largo: Ancho       | 2,5: 1 - 5: 1                   | 3:1 - 5:1           | ---                      |
| Relación Ancho: Profundidad | 1: 1 - 5: 1                     | 1:1 - 5:1           | ---                      |
| Diámetro (m)                |                                 |                     |                          |
| Cámara superior             | ---                             | ---                 | 1 - 7                    |
| Cámara inferior             |                                 |                     | 1 - 2                    |

*Nota.* La tabla muestra los parámetros de diseño para los desarenadores de tipo vórtice. Tomado de Ras 2000 título E. En línea. Available: [https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/01071\\_0\\_ras\\_titulo\\_e\\_.pdf](https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/01071_0_ras_titulo_e_.pdf)

Según la tabla 10, para los cálculos posteriores, fueron seleccionados los parámetros del desarenador de tipo vórtice.

- **Desarenador Tipo Vortex**

El Desarenador tipo Vortex es utilizado para remover y limpiar la arena presente en el agua. Los componentes principales de Desarenador tipo Vortex son:

- Estanque circular con fondo cónico
- Agitador lento
- Bomba de extracción de arenas

El estanque puede ser fabricado de acero o concreto. El agua ingresa al estanque circular donde es sometida a un vórtice inducido por las paletas del agitador, esto genera una corriente secundaria transversal que provoca la concentración de arenas en el centro del fondo del estanque. Finalmente, estas arenas son removidas mediante la bomba de extracción de arenas.

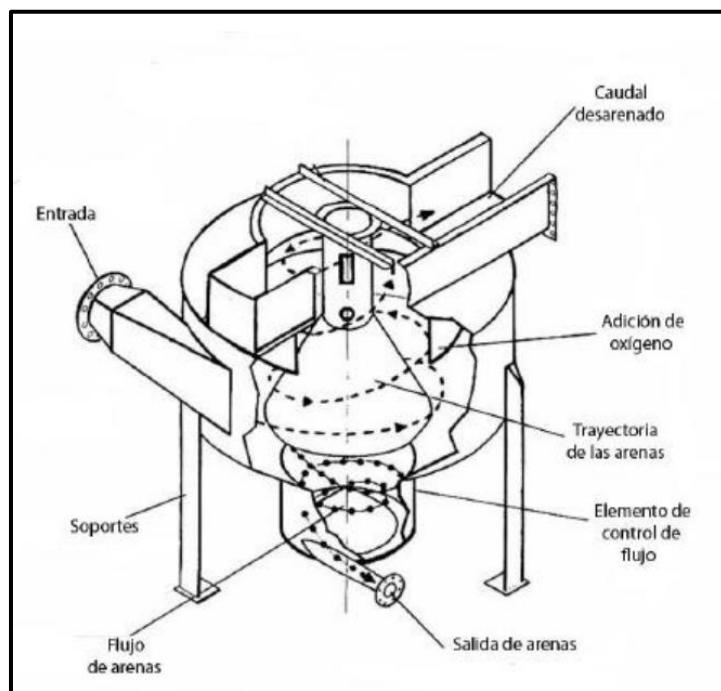


El Desarenador tipo vortex es la forma más sencilla y eficiente para separar arenas del agua a tratar. [13]

En la figura 11, se observan las partes de un desarenador tipo Vortex, dichos componentes son importantes en el diseño ya que indican entrada del equipo, accesorio de entrada de caudal de desarenado, entrada de oxígeno, elementos de control de flujo, salida de arenas y grava, entre otras funciones.

**Figura 11.**

*Desarenador Tipo Vortex o de vórtice.*



*Nota.* La figura muestra la representación de un desarenador de tipo vórtice. Tomado de Análisis y diseño del tratamiento secundario. En línea. Available: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/hammeken\\_a\\_am/capitulo5.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo5.pdf)

A continuación, en la Tabla 9, se observan los parámetros de diseño para el desarenador aireado que se planea utilizar en el diseño de la PTAR, con valores de caudal máximo, tiempo de retención, relación de longitud, entre otros.

**Tabla 8.***Valores de diseño de desarenador aireado con desengrasado.*

| Parámetro                                      | Valor                   |                    |
|--|-------------------------|--------------------|
| VASC a caudal máximo                           | ≤ 25 m/h                |                    |
| Tiempo de retención (t) a caudal máximo        | ≥ 0,083 h               |                    |
| Calado (h)                                     | 0,033 a 0,083 h         |                    |
| Relación longitud: anchura (L:B)               | 3:1 a 5:1               |                    |
| Caudal específico de aire                      | 12 m <sup>3</sup> /(hm) |                    |
| Capacidad de la bomba de succión de arena-agua | Red separativa          | 5 L/m <sup>3</sup> |
|  | Red unitaria            | 50 /m <sup>3</sup> |

*Nota.* La tabla muestra los valores de diseño para los desarenadores aireados. Tomado de Diseño y modelamiento de plantas de tratamiento de aguas, Universidad de América.

- **Área del desarenador (Ec. 14)**

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

Donde:

A = área desarenador (m)

Q = Caudal(L/h)

V= Velocidad mínima del agua (m/h)

- **Volumen de agua conducido en ese tiempo (Ec. 15)**

$$v = Q * t$$

Donde:

v= Volumen (L)

= caudal de diseño (L/h)

t= tiempo retención (h)

- **Altura necesaria (Ec. 16)**

$$h = \frac{v}{A}$$

Donde:

v= Volumen desarenador (L)

h = altura necesaria desarenador (m)

A= Área desarenador (m<sup>2</sup>)

- **Longitud necesaria (Ec. 17)**

$$L = \frac{A}{B}$$

Donde:

L= Longitud necesaria desarenador(m<sup>3</sup>)

B= ancho desarenador(m)

A= Área desarenador (m<sup>2</sup>)

- **Caudal de aire necesario (Ec. 18)**

$$Q_{aire} = G_o * L$$

Donde:

Q<sub>aire</sub>= Caudal de aire (L/h)

G<sub>o</sub>= Caudal específico de aire (L/(h\* m))

L= Longitud desarenador (m)

- **Capacidad de la bomba de succión arena-agua (Ec. 19)**

$$Q_{arena - agua} = \frac{C * Q}{1000}$$

Donde:

Q<sub>arena-agua</sub>= Capacidad de la bomba (L/h)

Q= Caudal desarenador (L/h)

C= Capacidad de la bomba de succión de arena-agua (L/m<sup>3</sup>)

### 5.3.3. *Diseño de tanque de sedimentación*

El diseño se basa en los volúmenes de lodos por tratar, la fracción líquida que saldrá, la nata que flotará y los lodos que se sedimentarán o asentarán.

- **Área del sedimentador (Ec. 20)**

El tanque requiere un diseño con una longitud suficiente y una distribución hidráulica para asegurar que toda la superficie del tanque se utilice y que las partículas tengan el tiempo necesario para sedimentarse.

$$S = \frac{Q_p}{V_u}$$

Donde:

S = área del tanque (m<sup>2</sup>)

V<sub>u</sub> = velocidad igualitaria de sedimentación (m/h), el RAS 2000 recomienda para sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados con oxígeno valores de 40-48 m/h.

Q<sub>p</sub> = flujo afluente máximo (L/h) = Q \*3

- **Volumen del tanque (Ec. 21)**

$$V = A * Profundidad$$

Donde:

V: Volumen del tanque de sedimentación (L)

A: Área sedimentador (m<sup>2</sup>)

Profundidad: Profundidad del agua en el tanque de sedimentación (m), el RAS 2000, recomienda 3,6 – 4,6 m para sedimentación siguiendo un proceso de lodos activados con aireación.

- **Diámetro del sedimentador (Ec. 22)**

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

Donde:

A= Área del tanque de sedimentación (m<sup>2</sup>)

#### 5.3.4. *Diseño de biorreactor de lodos activados*

- **Volumen (Ec. 23)**

$$V = Q * t$$

Donde:

V = Volumen (L)

Q = Caudal (L/h)

t = Tiempo de retención (h)

- **Área del tanque de aireación (Ec. 24)**

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

Donde

A = Área del tanque (m<sup>2</sup>)

V = Volumen del tanque (L)

h = Altura (m)

- **Ancho del reactor (Ec. 25)**

$$A = L * a$$

A = Área del tanque de aireación (m<sup>2</sup>)

L = Longitud (m)

a = ancho del reactor (m)

para la determinación del ancho del reactor fue supuesto una longitud de **8m**.

- **Carga orgánica (Ec. 26)**

$$CO = DBO * Q$$

Donde:

CO = Carga orgánica (mgO<sub>2</sub>/h)

DBO = Demando biológica de oxígeno (mgO<sub>2</sub>/L)

Q = Caudal (L/h)

- **Carga Orgánica Volumétrica (Ec. 27)**

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

Donde:

COV = Carga Orgánica Volumétrica (mgO<sub>2</sub>/Ls)

Q = Caudal de Agua residual /L/s)

DBO = Demanda biológica de oxígeno (mgO<sub>2</sub>/L)

V = Volumen del tanque de aireación (L)

- **Relación de alimento/microorganismo (Ec. 28)**

$$\frac{A}{M} = \frac{Q * DBO}{V * X}$$

Donde:

A/M = Relación alimento/microorganismo (mgO<sub>2</sub>/s mgss)

Q = Caudal de agua residual (L/h)

DBO = Demando biológica de oxígeno (mgO<sub>2</sub>/L)

V = Volumen del tanque de aireación (L)

X = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación (mgSS/L)

- **Purga del lodo (Ec. 28)**

$$Q_w = \frac{V * X}{\theta_c * X_R}$$

Donde

$Q_w$  = caudal de lodo a purgar (L/h)

$V$  = Volumen con factor de seguridad del 20% (L)

$X$  = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación (mgSS/L)

$\theta_c$  = Tiempo de retención celular (días)

$X_R$  = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en recirculación (mg/L)

- **Recirculación del lodo (Ec. 29)**

$$Q_R = \frac{Q * X}{X_R - X}$$

Donde

$Q_R$  = Caudal de recirculación de lodo (L/h)

$Q$  = Caudal de agua residual (L/h)

$X$  = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación (mgSS/L)

$X_R$  = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en recirculación (mg/L)

- **Relación de recirculación (Ec. 30)**

$$R = \frac{Q_R}{Q}$$

Donde

$Q_R$  = Caudal de recirculación de lodo (L/h)

$Q$  = Caudal de agua residual (L/h)

## Requerimiento de oxígeno

Se aporta oxígeno para suministrar de aire a las células, mantenerlas en suspensión e incentivar el contacto íntimo del residuo con los lodos activados. Se opera con un sistema de aire difuso donde la corriente de oxígeno se divide por medio de burbujas y se dispersa por todo el tanque. Se equipa con un compresor que actúa como el conductor del aire y la bomba difusora que distribuye el volumen en el tanque con agua.

La concentración de oxígeno no debe ser menor a 2 mg/L por lo que se instala un oxímetro para controlar la cantidad de aire suministrado.

## Pruebas de diagnóstico de agua residual

Un buen conocimiento del fluido a tratar proporciona información confiable a la hora de diseñar y determinar la superficie del tanque y los volúmenes de nata, fracción líquida, capa de separación y lodos esposos, dichos lodos pueden variar su composición según la época del año como también las fuentes de agua residual.

Se tienen en cuenta pruebas como sólidos suspendidos totales (SS) y es importante recalcar que los medios de transporte de los lodos influyen en su composición, por otro lado, es posible conocer la capacidad de sedimentación de los lodos mediante la prueba de índice del volumen de lodos (SVI) basándose en la cantidad de sólidos suspendidos que se asientan en un tiempo dado. Los lodos con un SVI menor a 100 mL/g presentan una buena separación de sólidos, y líquidos en los tanques de sedimentación, los lodos con SVI entre 30 y 80 mL/g presentan una sedimentación y espesamiento adecuados, pero no efectivos.

(Ec. 31)

$$SVI = \frac{\text{Volumen de lodos asentados}}{\text{concentración de SS}} = \left(\frac{L}{g}\right)$$

## 5.4. Crecimiento Microbiano

Las bacterias tienden a crecer mediante subdivisión en dos células descendientes, método conocido como fisión binaria.

Las bacterias constituyen la biomasa de los lodos activados en un 95%, dichos organismos crecen en el agua residual consumiendo materia orgánica biodegradable como proteínas, carbohidratos, lípidos y más compuestos [14].



El tiempo necesario para cada división de la célula es conocido como tiempo de duplicación o generación, puede estar entre los 20 minutos y hasta varios días. Por situación ambientales se puede frenar el proceso, en algunos casos la falta de sustrato en el ambiente no permite que la generación ocurra. Para cuantificar el crecimiento de las bacterias existen dos maneras, uno, está en términos numéricos y el segundo es en términos de masa bacterias en cultivos puros [14].

### **Proceso aerobio de crecimiento en suspensión de lodos activados**

El proceso de crecimiento en suspensión con lodos activados es uno de los sistemas más comúnmente usado para el tratamiento biológico aerobio de las aguas residuales. De forma global, este es un proceso aerobio de tratamiento en el cual se oxida la materia orgánica compleja presente en las aguas residuales hasta CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> y biomasa. Se recomienda operar en un ambiente aerobio por medio de aireación mecánica o por difusores. La biomasa microbiana se agrega en forma de flóculos, los cuales sedimentan en el clarificador secundario. El proceso de lodos activados es un proceso biológico donde el “lodo activado” no es más que una mezcla de microorganismos [14].

#### **5.4.1. Ecuación de MONOD**

Es un modelo matemático para el crecimiento de microorganismos, relaciona la tasa de crecimiento microbiano y la utilización del sustrato, el presente documento se toma en cuenta debido a que se refiere a un proceso biológico con utilización de bacterias para el correcto tratamiento de aguas residuales por lodos activados.

Dada la importancia que tiene la velocidad específica de crecimiento en un proceso biotecnológico, se debe saber a qué velocidad se puede reproducir un microorganismo y como se ve afectada dicha velocidad por parámetros y variables de un cultivo. En 1940 Jacques Monod describió una ecuación donde se relaciona la velocidad específica de crecimiento con la concentración de sustrato limitante.

**(Ec. 32)**

$$\mu = \frac{\mu_{max} [S]}{K_s + [S]}$$

***Donde:***

$\mu$ : Velocidad específica de crecimiento;

$\mu_{max}$ : Máxima velocidad específica de crecimiento;

$K_s$ : Constante de Monod o de semisaturación

$S$ : Concentración de nutrientes o de sustrato limitante

Según Monod, las bacterias al desarrollarse presentan seis fases diferentes de crecimiento las cuales se conocen como:

- Fase endógena
- Fase estacionaria
- Fase declinante
- Fase exponencial
- Fase de aceleración
- Fase de aclimatación

Los parámetros de cálculo para el crecimiento de microorganismos se determinan a partir de la identificación de los microorganismos presentes en los lodos activados utilizados para el montaje del biorreactor.

Los principales microorganismos responsables de remover grandes cantidades de materia orgánica en los procesos biológicos aerobios, **son las bacterias, en su mayoría aerobias y facultativas heterótrofas.**

**Los principales géneros de microorganismos encontrados en los lodos activados se enuncian a continuación.**

- Zooglea.
- Pseudomonas
- Flavobacterium
- Alcaligenes
- Bacillus
- Achromobacter
- Corynebacterium
- Comomonas

- Brevibacterium
- Acineto Bacter
- Organismos filamentosos ( Sphrarotilus, Beggiaton)
- Bacterias autotroficas nitrificantes (Nitrosomonas, Nitrobacter)
- Bacteriaias sulfurosas (Rhodospirillaceae)

Para el diseño del tanque de lodos activados se tienen en cuenta los parámetros enunciados en la Tabla 10, como el caudal, el tiempo de retención que es importante a la hora del diseño para calcular el periodo de funcionamiento del tanque, la reducción de la DBO, la concentración de sólidos suspendidos, la tasa de recirculación y la edad de los lodos.

Los parámetros de diseño influyen en la eficiencia del proceso porque como la edad de los lodos incide en como actúan las bacterias presentes también se debe regular el caudal y el tiempo de retención, si este supera los 10 días es probable que la remoción de biomasa baje en un 20% con respecto al valor objetivo que es de 90%, y así mismo afectaría en la reducción de la DBO.

**Tabla 9.**

*Criterios de diseño de lodos activados.*

| <b>Criterios de diseño de lodos activados</b>  |                         |
|--|-------------------------|
| <b>Sistema propuesto</b>   | Convencional            |
| <b>Caudal</b>  | 15,84 m <sup>3</sup> /h |
| <b>Tiempo de retención hidráulica</b>  | 8 h                     |
| <b>Reducción de la DBO</b>   | 94%                     |
| <b>Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de sedimentación.</b> | 25                      |
| <b>Edad del lodo</b>   | 10 días                 |
| <b>Tasa de recirculación</b>   | 40%                     |

*Nota.* La tabla muestra los criterios de diseño para biorreactores o sistemas de lodos activados. Tomado de. Romero Rojas, J. A. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de

Diseño. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería. Autor: Ing. Carlos Toledo. Gerente Técnico en ISA.

### **Problemas operacionales del proceso de lodos activados**

- Un fenómeno conocido como abultamiento, en el cual el lodo del tanque de aireación no sedimenta.
- El desarrollo de espuma biológica en la superficie o espesamiento en donde se presenta abultamiento, una parte de los sólidos suspendidos del aireador se descargan en el efluente.

El ablandamiento puede ser causado por:

El crecimiento de organismos filamentosos que no sedimentan o el crecimiento de microorganismos que pueden tener grandes volúmenes de agua en su estructura celular causando que la densidad se acerque a la del agua evitando que sedimenten. Además de éstos, otros problemas son la descarga de sólidos biológicos en el efluente y el gran volumen de lodos que debe ser manejado, se puede dar la formación de espuma con el proceso de lodos activados, la cual es causada, en su mayoría, por el crecimiento excesivo de organismos *Nocardia* [14].

## 6. RESULTADOS

El municipio de Pesca, se encuentra ubicado en la parte central de Boyacá dentro de la provincia Sugamuxi, actualmente cuenta con una población de 5200 personas aproximadamente según la oficina de servicios públicos del pueblo, en dicho lugar se encuentra en funcionamiento la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) ubicada en la parte alta del municipio, está tiene una capacidad de tratamiento apta para la población del casco urbano, cuenta con punto de recepción (bocatoma), tratamiento con floculación, sedimentación, filtración y tanques de almacenamiento, cabe resaltar que no cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

El estado de aguas residuales del municipio es de gran importancia para la población debido a que estas fuentes hídricas son utilizadas para el suministro doméstico de las viviendas del pueblo y lo ideal sería garantizar un buen estado del agua que llega para la buena calidad de vida de todos. La recolección de las aguas residuales se toma del río Chicamocha que es el que provee de recurso hídrico al municipio de Pesca.

Se tiene en cuenta la proyección de una población creciente en 25 años de aproximadamente el 90% de habitantes teniendo en cuenta los alrededores y la parte central del municipio. La actividad laboral de los habitantes se centra en actividades de agricultura, transporte, ganadería, producción industrial y actividad artesanal, dichas labores generan residuos tóxicos que desembocan en varias partes del río por su cercanía con los sitios de trabajo.

En cuanto a la calidad actual del agua del río se puede catalogar como media, mediante los resultados obtenidos del primer diagnóstico que la turbidez es de 60-65 NTU, el cual es valor que se excede al parámetro permitida por la normatividad vigente para vertimientos de agua 0631 de 2015. También se encuentran partículas mezcladas con el agua de río provenientes de actividades de ganadería, de agricultura y de producción artesanal como el curtido del cuero ya que Pesca Boyacá es un productor de prendas hechas en pieles de ovinos.

### **Proyección poblacional**

Según las cifras encontradas en los reportes de proyección poblacional del municipio de Pesca de los años (2018 – 2035) publicados por el DANE se enuncia a continuación la estimación de crecimiento poblacional sobre la cual se puede calcular el caudal de agua a tratar en el sitio.

En la tabla 11, se observan los reportes encontrados se toma en cuenta el valor registrado como “Cabecera municipal” ya que la delimitación del presente proyecto abarca solo el casco urbano del municipio.

**Tabla 10.**

*Proyección poblacional para 2022 – 2035 en Pesca Boyacá.*

| <b>AÑO</b>  | <b>ZONA</b>                         | <b>AUMENTO<br/>HABITANTES</b> |
|-------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| <b>2022</b> |                                     | 2390                          |
| <b>2023</b> |                                     | 2492                          |
| <b>2024</b> |                                     | 2492                          |
| <b>2025</b> |                                     | 2513                          |
| <b>2026</b> |                                     | 2551                          |
| <b>2027</b> |                                     | 2567                          |
| <b>2028</b> | Cabecera municipal<br>del municipio | 2591                          |
| <b>2029</b> |                                     | 2613                          |
| <b>2030</b> |                                     | 2647                          |
| <b>2031</b> |                                     | 2663                          |
| <b>2032</b> |                                     | 2676                          |
| <b>2033</b> |                                     | 2697                          |
| <b>2034</b> |                                     | 2722                          |
| <b>2035</b> |                                     | 2742                          |

*Nota.* La tabla muestra la Proyección poblacional para 2022 a 2035 del municipio de Pesca Boyacá según el DANE, tomado de Dane. En línea. Available:

<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>

## 6.1. Propuesta de diseño de la PTAR.

### Requerimientos de mezcla

Los requerimientos de mezcla generalmente determinan la potencia requerida de los equipos de aireación. Los equipos de aireación empleados pueden ser de tres tipos:

- **Equipos de aireación difusa o de aire comprimido:** El aire se rompe en burbujas y se dispersa a través del tanque.
- **Sistemas de turbina:** Se dosifica aire debajo de las paletas de rotación de un impulsor sumergido.
- **Sistemas de aireación superficial:** Un equipo colocado en la superficie del agua, ejecuta la transferencia de oxígeno mediante turbulencia superficial y aspersion de agua. El uso de los difusores de aire permite la homogenización del oxígeno, lo cual a su vez permite que se disuelva el oxígeno de una manera más eficiente y que además se reduzca la cantidad de microorganismos presentes en las corrientes de aire tomadas del ambiente circundante. Estos dos aspectos particulares diferencian a los difusores de los aireadores mecánicos y las turbinas, transformándolo en la mejor opción a la hora de optimizar un proceso de aireación [14].
- **Aireación difusa:** se define como la inyección de gas, aire u oxígeno, bajo presión, por la parte inferior libre del fluido. Estas inyecciones de gas lanzan a través del agua burbujas de aire provenientes de toberas o distribuidores, colocados en el fondo del tanque de aireación. El aire proveniente del fondo del tanque, es impulsado por un compresor con una presión que dependerá de la profundidad del agua en el mismo, de las pérdidas de presión en las tuberías, de la distribución y de la tasa de aplicación. En los casos de que se manejen presiones bajas (del orden de 10 psi) se usan sopladores directos o de presión positiva; que generalmente rotan a velocidad alta, para presiones altas es preferible utilizar compresores turbo [14].

Para el presente sistema se define como efectivo el uso de la aireación difusa debido a que las burbujas aumentan el contacto entre el agua residual y los lodos activados, por otro lado, se aplica para aportar a los microorganismos el oxígeno necesario.

### 6.2. Tanques de sedimentación

- **Generalidades**

Los tanques de sedimentación y espesamiento son utilizados para separar fracciones líquidas y sólidas de lodos, fueron desarrollados para la clarificación de aguas, suelen ser tanques rectangulares donde los lodos entran por la parte superior de un extremo y la fracción líquida es una corriente de salida, los lodos sedimentados se retienen en el fondo y la nata flota en la superficie [12].

Durante el tiempo de retención las partículas se sedimentan por efectos de la gravedad y los aceites y grasas flotan hasta la superficie, los sólidos son recolectados en el fondo y los líquidos tienen su salida en la parte superior de los tanques, se recomienda que el flujo de entrada sea tranquilo y quieto, de esta manera se evitan turbulencias que alteren la sedimentación, es decir que permita la mezcla entre la fase de nata y los lodos asentados, para ello se implementan deflectores en la entrada que controlan efectos turbulentos que se puedan dar [12]

Los tanques pueden estar ubicados en cualquier clima, pero su rendimiento es mejor en lugares lluviosos o templados, favorecen a la hora de ahorrar espacio debido a que reducen área requerida de los pasos a la hora del tratamiento.

- **Ubicación**

Para el correcto funcionamiento se instalan dos tanques de sedimentación en paralelo en el área escogida del municipio de Pesca Boyacá para la planta de tratamiento de aguas residuales, con el fin de permitir el ciclo entero de uso, mantenimiento y extracción de lodos, se operan entre una y cuatro semanas para luego entrar en tiempo de reposo y drenar la fracción líquida, y se usa cada uno el 50% del tiempo.

- **Extracción de lodos**

En la planta a diseñar se extraen los lodos con retroexcavadores o bombas, este factor depende de que tan espeso se encuentre el lodo.

- **Mecanismo fundamental**

Los tanques de sedimentación dependen de tres mecanismos principales que corresponden a sedimentación, espesamiento y flotación.

### **6.3. Generalidades de sedimentación**

Las partículas de sólidos suspendidos (SS) que son más pesadas que el agua, se precipitan en el fondo del tanque por efecto de la gravedad y existen tres formas de sedimentación:

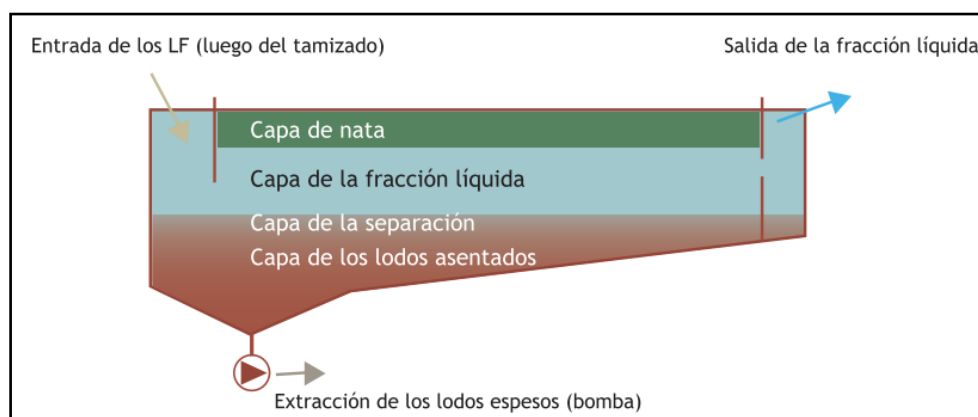


- Independiente, donde las partículas se hunden una indiferente de la otra.
- Floculante, donde el proceso se acelera al formar conjuntos de partículas.
- Impedida, donde la tasa se reduce por la alta concentración de partículas [13].

La sedimentación sucede rápidamente en dichos tanques, las partículas más densas se asientan primero que las menos densas, en la figura 12 se ilustran las capas que se forman en un tanque de sedimentación, es decir, el diseño de este equipo se puede basar en los tipos y formas de las partículas que se presentan en los lodos, pero para una estandarización del proceso se utilizan valores empíricos [13].

**Figura 12.**

*Esquema de etapas en un tanque de sedimentación convencional.*



**Nota.** La figura muestra las etapas presentes en un tanque de sedimentación. Tomado de: Dodane Pierre, H. Bassan. M (2018).: Tanques de sedimentación y espesamiento. Tecnología. Pág. 2.

• **Velocidad teórica**

Expresa la velocidad teórica de sedimentación de una partícula a medida que la gravedad vence tanto la tendencia de flotar como la resistencia del líquido a permitir su paso.

(Ec. 34)

$$V_c = \left[ \frac{4}{3} * \frac{g * (\rho_s - \rho) * d}{C_d * \rho} \right]$$

Donde:

V<sub>c</sub> = Velocidad final de sedimentación (m/h)

g = gravedad (m/h<sup>2</sup>)

$\rho_s$  = densidad de la partícula (g/L)

$\rho$  = densidad del líquido (g/L)

$C_d$  = coeficiente de resistencia al paso.

La velocidad crítica de sedimentación ( $V_c$ ) se selecciona basándose en la cantidad de sólidos se quieren decantar. Se debe investigar si el flujo es turbulento o laminar para proceder, en teoría, si el flujo es laminar todas las partículas con una velocidad mayor a  $V_c$  serán separadas. De esa manera se pueden diseñar tanques según el porcentaje de partículas que se desea separar.

El flujo es longitudinal y se diseñan lo suficientemente largos para que las partículas con velocidades iguales o mayores a  $V_c$ , tengan el tiempo necesario para asentarse antes de llegar a la salida y las partículas menos densas saldrán en el efluente [15].

#### 6.4. Espesamiento

Las partículas acumuladas en el fondo del tanque se comprimen mediante espesamiento, el cual funciona debido al peso de las partículas que se encuentran encima porque el peso exprime agua e incrementa los sólidos. El espesamiento es el resultado de la gravedad y se da cuando la concentración de SS es alta y las fuerzas entre partículas impiden su movimiento individual, se debe dejar un espacio considerable para almacenar los lodos [12].

El volumen del botellón que almacena el agua residual a tratar es de 20 L (aproximadamente) y el tiempo que debe tardar obedece al tiempo de retención de 8 horas por la edad de los lodos, entonces:

$$Q = \frac{20 \text{ L}}{18 \text{ h}} = 1,1 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

Utilizando factor de conversión se llega a otras unidades de volumen:

$$1,1 \frac{\text{L}}{\text{h}} * \left( \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} \right) \left( \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) = 0,308 \frac{\text{ml}}{\text{s}} \left( \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right) = 18,51 \frac{\text{ml}}{\text{min}}$$

$$Q = \frac{18,51 \text{ ml}}{\text{min}}$$

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

$$V = a^3$$

Donde  $a$  corresponde a un lado, entonces:

$$Q = \frac{a^3}{t}$$

$$1,1 \frac{L}{h} = \frac{a^3}{18 h}$$

$$a^3 = 18h * 1,1 \frac{L}{h}$$

$$a^3 = 20 L = 0,02 m^3$$

$$a = \sqrt[3]{0,02 m^3}$$

$$a = 0,27 m$$

Se estima en base a los cálculos realizados que cada lado del biodigestor mide 0,27 m que corresponde a **27 cm** en sistema internacional de unidades.

- **Cálculo del caudal de aire**

A continuación, en la tabla 12 se observan los valores obtenidos de variables de diseño para el caudal de aire requerido.

**Tabla 11.**

*Resultados de caudal de aire requerido.*

| <b>Resultados</b>                                     |                     |       |
|---|---------------------|-------|
| <b>Variable</b>                                       | Unidades            | Valor |
| <b>Caudal de entrada</b>                              | L/h                 | 1,1   |
| <b>Concentración de materia orgánica a la entrada</b> | mgO <sub>2</sub> /L | 109,3 |
| <b>Concentración materia orgánica a la salida</b>     | mgO <sub>2</sub> /L | 10    |

*Nota.* La tabla muestra los resultados para el caudal de aire requerido.

La concentración de materia orgánica a la salida fue supuesta, el cual fue el valor máximo permisible por el objetivo de calidad de cuenca.

$$Q_{o_2} = 1,1 \frac{L}{h} * (165 - 10) = 170,5 \frac{mg}{h}$$

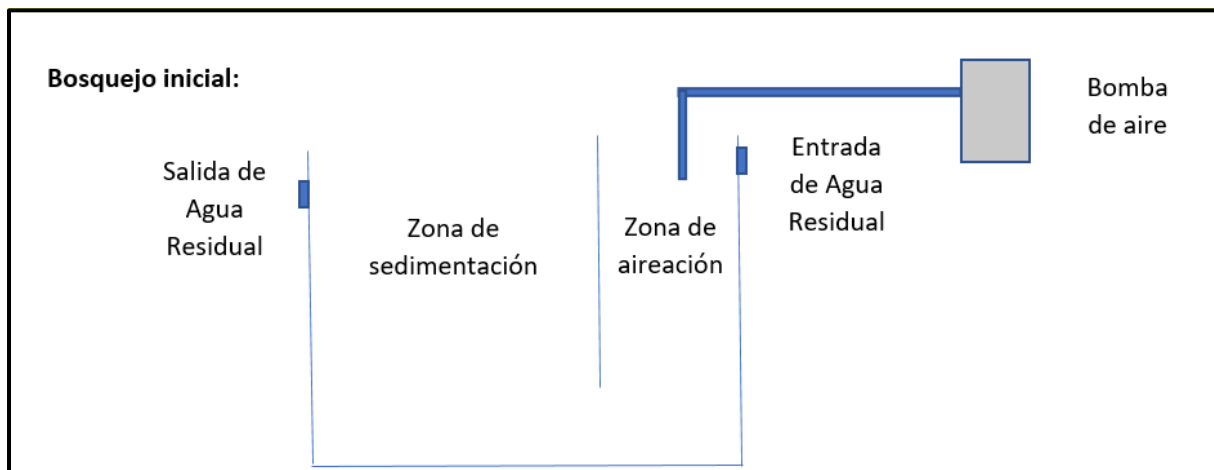
$$Q_{o_2} = 0,0001705 \frac{kg}{h} = 0,00013217 \frac{m^3}{h} = 0,13217 \frac{L}{h}$$

**Posteriormente, se define el volumen para cada zona del biorreactor:**

Para un total de 20 L, se divide en la zona de aireación que será de 7 L y la zona de sedimentación que será de 13 L.

### Figura 13.

*Diagrama inicial del biodigestor para prueba experimental.*



**Nota.** La figura muestra el diseño preliminar para el sistema de lodos activado propuesto.

Posterior al diseño inicial del biodigestor se implementaron los siguientes materiales para el montaje del mismo:

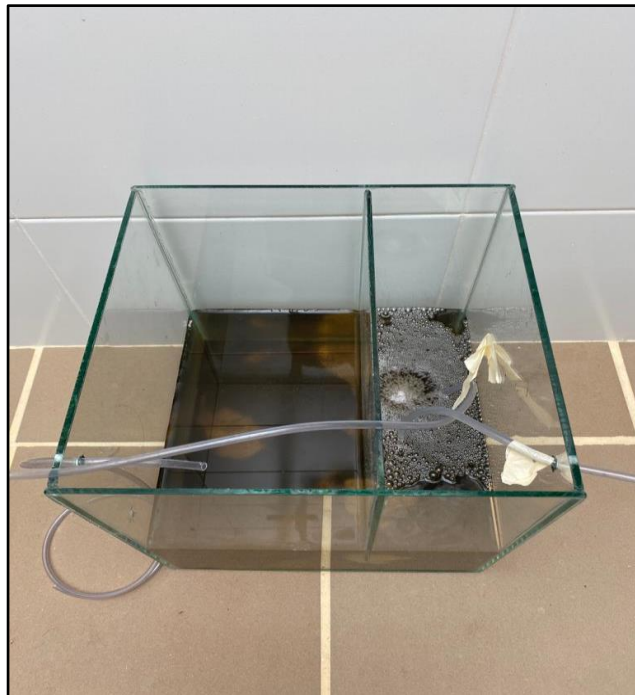
- Caja de vidrio de 4 mm de ancho
- Mangueras de 0,8 mm de diámetro
- Regulador de caudal
- Recipiente o tanque de 20 L de almacenamiento
- Teflón
- Bolsa
- Embudo
- Bomba de aire de 20 kW de potencia
- Piedra difusora

- Silicona
- Lodos activados
- Agua residual tomada en el municipio de Pesca.

Teniendo en cuenta los materiales anteriormente enunciados, se observa en la figura 14 el resultado del biorreactor experimental de lodos activados que está conformado por dos zonas, aireación y sedimentación con entrada de agua residual, dispositivo de aireación y salida de agua.

**Figura 14.**

*Biorreactor de lodos activados en funcionamiento*



**Nota.** La figura muestra la fase inicial del biorreactor experimental con lodos activados instalado en el municipio de Pesca Boyacá con las condiciones ambientales similares.

Para la puesta en marcha del biorreactor se conectó por medio de mangueras el tanque con agua residual, la bomba de aire, y el recipiente de vidrio que cuenta con una subdivisión que se asemeja a un proceso continuo con tanque de aireación y tanque sedimentador, en esta zona se puede ver el tratamiento que ocurre en el agua a tratar ya que al entrar con materia orgánica

disuelta los microorganismos presentes con apoyo de aireación se alimentan de la biomasa reflejando un buen resultado en el efluente obtenido.

El agua de salida que resulta del sistema anteriormente descrito a simple vista se observa con mucha más claridad y mejor apariencia, aparte de esto se le realizan pruebas de calidad correspondientes para asegurar y medir la eficiencia del sistema RLA.

Día tras día se realiza un seguimiento al proceso del biorreactor donde los lodos activados actúan poco a poco en contacto con el agua, adicional a esto es realizado una prueba de turbidez por medio del *Turbidímetro MERK “Turbiquant 1100R”* que utiliza el método de espectros de luz, la toma de muestras se realiza día a día, se almacenan en recipientes diferentes debidamente rotulados y refrigerados para mantener las características de las muestras, estas pruebas son realizadas con una frecuencia semanal.

**Figura 15.**

*Turbidímetro empleado para pruebas de turbidez.*



**Nota.** La figura muestra el equipo de medición de la turbidez “Turbidímetro MERK “Turbiquant 1100R” tomado de los laboratorios de la Fundación Universidad de América.

Para continuar con el seguimiento del biorreactor y evaluar su rendimiento con el agua residual del municipio de Pesca Boyacá, se realizó una toma de muestra al cabo de las 7 semanas de que el sistema de lodos activados estuviera en funcionamiento, con la finalidad de determinar parámetros fisicoquímicos tales como: sólidos suspendidos, DQO, DBO y sólidos volátiles, para esto se necesitaron 4 envases, en los cuales 2 fueron para el agua antes de entrar al biorreactor “cruda” y en los otros dos el agua a la salida del biorreactor la cual fue 18 horas después, estas serán enviadas al laboratorio CYAMAN S.A.S para su posterior análisis.

**Figura 16.**

*Muestras para segundo análisis fisicoquímico.*



**Nota.** En la figura se observa las muestras de agua residual y agua tratada con el biorreactor experimental para toma de segundo diagnóstico de laboratorio preservada con  $H_2SO_4$ .

Adicionalmente en el sitio de ubicación fue necesario realizar las pruebas de sólidos sedimentables, por medio de los conos Imhoff, tanto para el agua cruda como para el agua tratada por el sistema de lodos activados, los datos obtenidos fueron enviados al laboratorio CYAMAN S.A.S, para su posterior análisis.

**Figura 17.**

*Cono Imhoff para agua cruda*



*Nota.* La figura muestra el cono Imhoff para toma de prueba de sólidos sedimentables para agua residual cruda.

**Figura 18.**

*Cono Imhoff para agua tratada.*



*Nota.* La figura muestra el cono Imhoff para toma de prueba de sólidos sedimentables para agua residual cruda.



**Tabla 12.**

*Métodos utilizados en la caracterización fisicoquímica.*

| <b>Variable</b>                            | <b>Metodo/Técnica</b>   |
|--|---|
| <b>pH</b>                                  | S.M. 4500 H –B Método electrométrico                              |
| <b>Demanda química de Oxígeno (DQO)</b>    | S.M. 5220 C. Reflujo cerrado – Titulación                         |
| <b>Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO)</b> | SM 5210 B Incubación 5 Días.<br>SM 4500 O.G Electrodo de Membrana |
| <b>Sólidos Sedimentables</b>               | S.M. 2540 F Sólidos Sedimentables.                                |
| <b>Sólidos Suspendidos Totales</b>         | S.M. 2540 D – Gravimétrico Secados 103 °C – 105 °C                |
| <b>Sólidos Suspendidos Volátiles</b>       | S.M. 2540 – Sólidos Suspendidos Volátiles 550°C                   |

*Nota.* La tabla muestra los métodos utilizados para la caracterización fisicoquímica del efluente.

## 6.5. Caudal de diseño

Tomando como punto de referencia la dotación neta determinada por el RAS 2000, el nivel de complejidad del sistema y la estimación del coeficiente de retorno se obtiene un caudal doméstico que se toma como el caudal de diseño de la PTAR planteada. Aplicando la ecuación de la siguiente manera se obtiene:

En primera instancia se determina el nivel de complejidad del sistema que corresponde a **Medio** por la cantidad de población en la zona urbana, en el municipio de Pesca está se encuentra en un rango de 2501 a 12500 habitantes con una capacidad media económica de los usuarios que es baja.

Se determina que el nivel de complejidad del sistema es medio basado en los resultados obtenidos de caudal de alimentación y el número de habitantes del municipio de Pesca.

El periodo de diseño para la PTAR fija las condiciones básicas del proyecto como la demanda

futura del sistema, y teniendo en cuenta el RAS 2000 se determina que por su nivel de complejidad *Medio* el periodo de diseño es de *20 años*.

**PERIODO DE DISEÑO = 20 AÑOS**

La dotación máxima neta o el consumo per cápita (C) para el sistema es de 175 L/hab\*día y la mínima es de 120 L/hab\*día según los aspectos generales de los sistemas de agua potable y saneamiento básico del RAS 2000, título B.

Por último, el coeficiente de retorno (R) corresponde a la fracción de agua de uso doméstico que se entrega como aguas negras al sistema de captación de aguas residuales, el coeficiente se estima a partir del RAS 2000 título D, este valor depende del nivel de complejidad del sistema, por ser el presente sistema con nivel *Medio* de complejidad se toma un coeficiente de retorno entre *0,7 – 0,8*, y se toma el valor máximo, es decir, *0,8*.

- **Cálculo del caudal de diseño: (Ec.4)**

$$Q_D = \frac{C * P * R}{86400} = \frac{175 \frac{L}{hab * día} * 2742 hab * 0,8}{86400} = 4,4 \frac{L}{s} * 3600 = 15840 \frac{L}{h}$$

- **Determinación de caudal máximo horario (Q<sub>MH</sub>)**

**Tabla 13.**

*Valores de caudal de diseño obtenidos y corregidos.*

|                                   |                  |
|-----------------------------------|------------------|
| <b>Caudal final medio horario</b> | <b>15840 L/h</b> |
| <b>Valor de F</b>                 | 1,58             |
| <b>Caudal máximo horario</b>      | 25020 L/h        |

*Nota.* La tabla muestra los valores de caudal de diseño obtenidos.

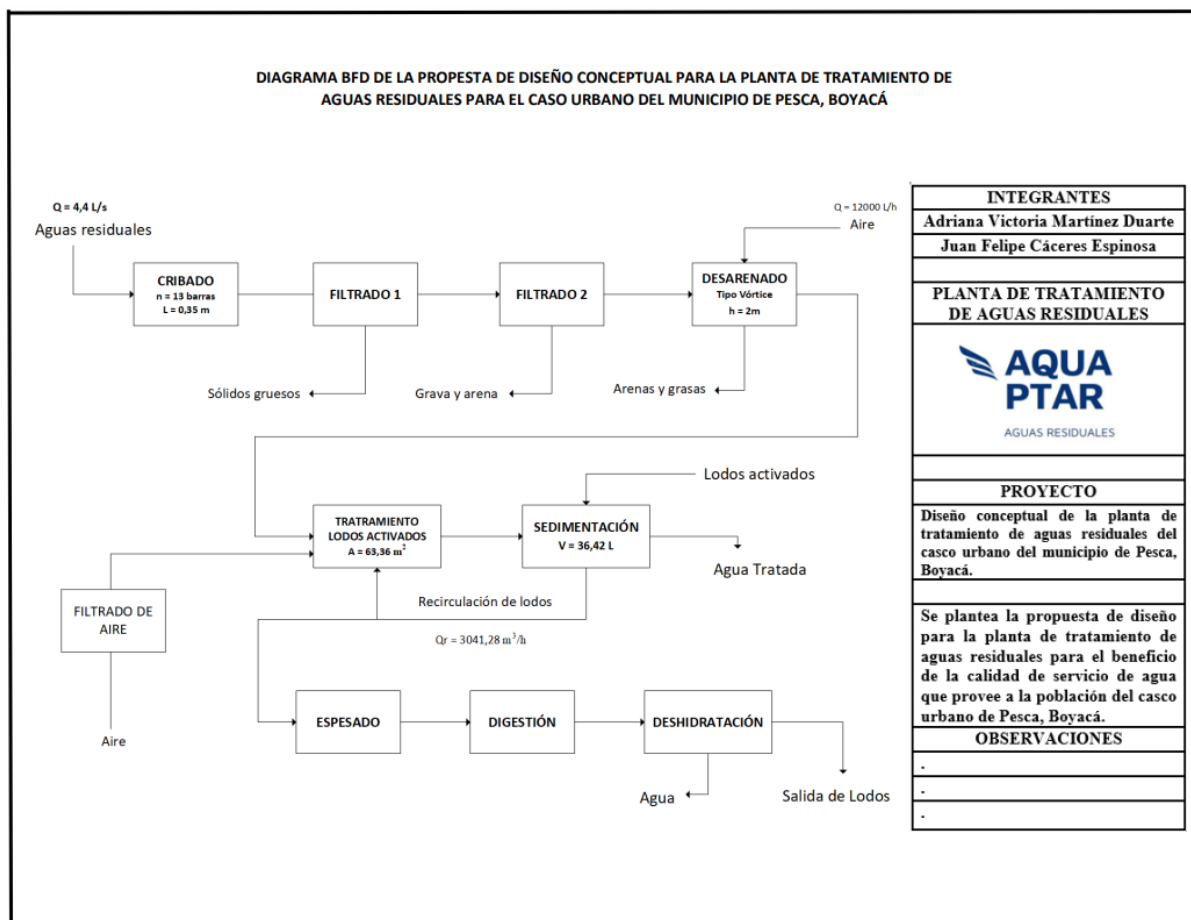
Se obtuvo un caudal de diseño de **15840 L/h** teniendo en cuenta el *RAS 2000* y sus especificaciones para agua potable y saneamiento básico.

## 6.6. Diagrama de bloques de proceso (BFD)

A continuación, se encuentra el diagrama BFD donde se observa la secuencia básica de operaciones que se dan en el proceso de tratamiento de aguas y la recirculación de lodos, junto con el balance de materia según el caudal de alimentación calculado.

**Figura 19.**

*Diagrama de bloques de la propuesta de diseño conceptual para la PTAR del casco urbano de Pesca (Boyacá)*



**Nota.** La figura muestra el diagrama de bloques para el proceso de la PTAR diseñado conceptualmente. Elaboración propia.

## 6.7. Diagnóstico de agua residual

Inicialmente se realiza un diagnóstico fisicoquímico con la finalidad de determinar las condiciones en las que se encuentra el agua residual de Pesca-Boyacá; Como se mencionó se realizaron pruebas para la determinación de DBO, DQO, Sólidos suspendidos totales, Dureza y pH (In situ).

Las pruebas restantes fueron realizadas por CYANAM S.A.S., el cual es un laboratorio acreditado ante el IDEAM mediante la resolución 2508 del 17 de Nov del 2015, estos estudios fueron realizados con la finalidad de comparar con las normatividades vigentes y estudios anteriores. En la tabla 15 se evidencian los resultados entregados por el laboratorio mencionado anteriormente.

**Tabla 14.**

*Resultados análisis fisicoquímicos de la muestra de agua cruda.*

| Fecha      | Variable                                     | método/técnica  | Unidad                 | LC    | Resultados | Incertidumbre |
|------------|--|---|------------------------|-------|------------|---------------|
| 5/12/2021  | pH <sup>2</sup>                              | S.M. 4500 H –B<br>Método<br>electrométrico                                  | Unidad                 | NA    | 7,20       | 0,20          |
| 7/12/2021  | Demanda<br>Química De<br>Oxígeno –<br>Total  | S.M. 5220 C.<br>Reflujo cerrado<br>– Titulación                             | mgO <sub>2</sub> /L    | 50,00 | 339,00     | 3,66          |
| 5/12/2021  | Demanda<br>Bioquímica<br>De Oxígeno<br>Total | SM 5210 B<br>Incubación 5<br>Días. SM 4500<br>O.G Electrodo<br>de Membrana  | mgO <sub>2</sub> /L    | 20,00 | 165,00     | 4,70          |
| 9/12/2021  | Sólidos<br>suspendidos<br>Totales            | S.M. 2540 D<br>Sólidos<br>Suspendidos<br>Totales Secados<br>103 °C – 105 °C | mgSST/L                | 10,00 | 168,00     | 2,70          |
| 9/12/2021  | Sólidos<br>Totales                           | S.M. 2540 B -<br>Secados 103 °C<br>– 105 °C                                 | mgST/L                 | 10,00 | 210,00     | 2,70          |
| 16/12/2021 | Dureza Total                                 | S.M. 2340 - C<br>Método<br>Volumétrico con<br>EDTA                          | mgCaCO <sub>3</sub> /L | 5,00  | 200,00     | 1,07          |

**Nota.** La tabla muestra los resultados del análisis del agua residual elaboradas por el laboratorio CYANAM S.A.S

A continuación, se realiza la comparación de los resultados obtenidos en este trabajo con la normatividad y los estudios anteriores con la finalidad de identificar que parámetros no se están cumpliendo en el municipio.

**Tabla 15.**

*Comparación de resultados Fisicoquímicos con normatividad y estudios anteriores.*

| <b>Parametro</b>                           | <b>Unidades</b>        | <b>Resultado 2/12/2021</b> | <b>Resultado Estudio Alcaldía pesca-Hidrolab 2019</b> | <b>Resolución 631 del 2015</b> | <b>Objetivo de calidad de cuenca</b> |
|--|------------------------|----------------------------|---|--------------------------------|--------------------------------------|
| <b>pH</b>                                  | Unidad                 | 7,20                       | 8,11  | 6,00 a 9,00                    | 4,50 a 9,00                          |
| <b>Demanda química de Oxígeno (DQO)</b>    | mgO <sub>2</sub> /L    | 339,00                     | 325,00  | 180,00                         | 30,00                                |
| <b>Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO)</b> | mgO <sub>2</sub> /L    | 165,00                     | 155,00  | 90,00                          | <10,00                               |
| <b>Sólidos suspendidos</b>                 | mgSST/L                | 168,00                     | 185,00  | 90,00                          | 50,00 a 100,00                       |
| <b>Sólidos totales</b>                     | mgST/L                 | 210,00                     | 230,00  | -                              | -                                    |
| <b>Dureza total</b>                        | mgCaCO <sub>3</sub> /L | 200,00                     | 273,00  | -                              | -                                    |

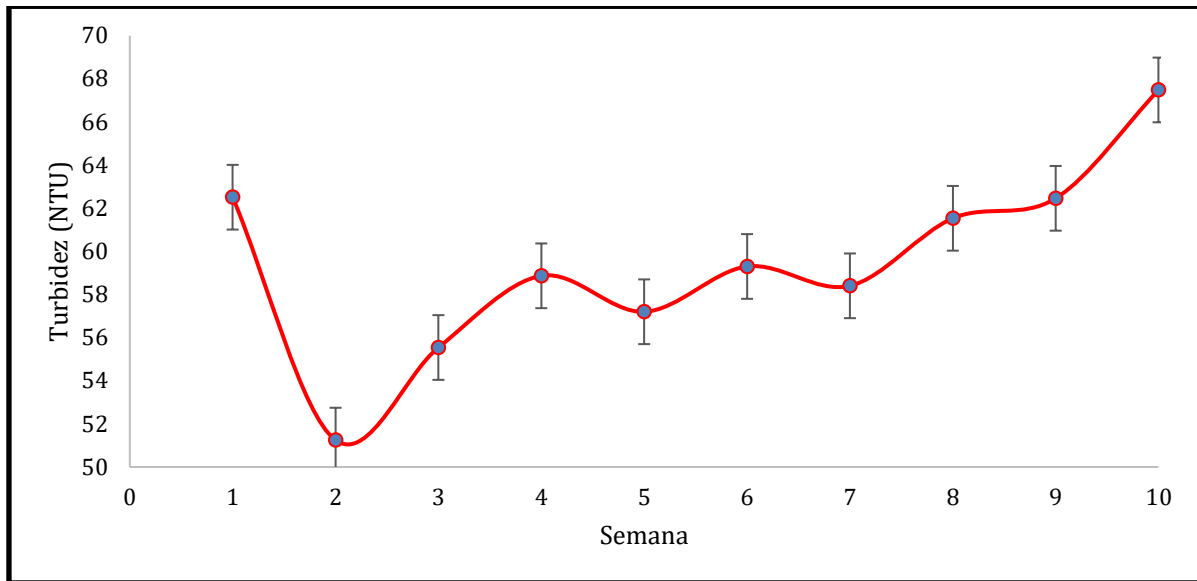
*Nota.* La tabla muestra la comparación entre normativa, resultado 2/12/2021 y estudios anteriores.

Los resultados obtenidos en el año 2021 dan valores muy cercanos en cada uno de los parámetros estudiados con respecto a los datos existentes de años y estudios posteriores, esto nos da una idea de que el comportamiento de las características fisicoquímicas del agua, las cuales presentan poca variación con el pasar de los años, por otro lado, salvo en el caso del pH se está dentro de la normatividad vigente y así mismo cumpliendo con el objetivo de calidad de cuenca, para la DQO, DBO y sólidos suspendidos se encuentran fuera de los rangos permisibles por el ende es necesario la implementación de una PTAR para el municipio de Pesca Boyacá, con la finalidad de cumplir con dichas normatividades.

- Estudio de turbidez de la muestra de agua cruda y tratada

**Figura 20.**

*Gráfica de turbidez para la muestra de agua cruda.*

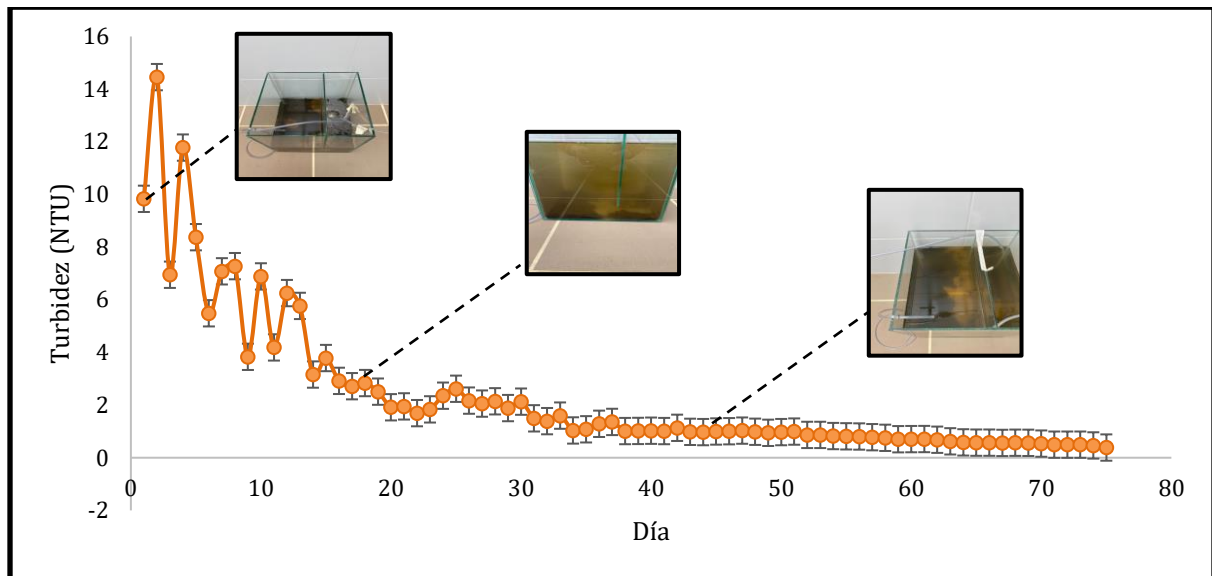


*Nota.* La figura muestra los resultados de turbidez (NTU) obtenidos en pruebas con turbidímetro, para las muestras de agua cruda.

En la figura 21 se ve reflejado el comportamiento de turbidez con los límites máximos y mínimos de la desviación estándar para las muestras de agua residual tomadas durante 10 semanas que funciona como alimento para el biorreactor con lodos activados realizado desde el 1 de marzo de 2022 hasta el 15 de mayo de 2022 que operó por dos meses y dos semanas, se puede ver que el rango de turbidez inicial del agua se encuentra entre 50 y 65 NTU dependiendo de las condiciones climáticas de la correspondiente semana en el lugar de muestreo que corresponde a los vertimientos Divino Niño, Estación de Servicio y Catedral en el municipio de Pesca.

**Figura 21.**

*Gráfica de turbidez para la muestra tratada.*



**Nota.** La figura muestra los resultados de turbidez (NTU) obtenidos en pruebas con turbidímetro, para las muestras de agua tratada.

En la figura 22, se observa el comportamiento de la turbidez y desviación estándar con los límites máximos y mínimos de cada una de las muestras de agua tratada durante el tiempo de funcionamiento del biodigestor, entre el día 0 y el día 15 se registraron los valores más altos debido a que el agua residual contenía diferentes sólidos volátiles y disueltos en ella, de esta forma al ubicar las muestras en el turbidímetro se obtienen valores altos por los espectros de luz que son interferidos por dichos sólidos encontrados en el agua que afectan su calidad.

Entre el día 10 y el día 30 la muestra inició su proceso de remoción de biomasa por parte de las bacterias contenidas en los lodos activados mediante el proceso de aireación y sedimentación, la salida del biodigestor arrojaba las muestras de agua tratada con menos cantidad de sólidos y un color más claro.

Por último, posterior al día 30, el comportamiento de la turbidez fue decreciendo de forma progresiva disminuyendo desde 3 NTU hasta valores cercanos a 0 NTU, cumpliendo con el objetivo de remoción según las pruebas tomadas, las muestras se tornaron de un color más claro donde se evidencia que las características físicas mejoraban con dicho proceso.

## 6.8. Crecimiento bacteriano

- **Velocidad de crecimiento**

La velocidad de crecimiento es el incremento en el número de células o en la masa celular por unidad de tiempo. La velocidad específica de crecimiento es característica para cada tipo de microorganismo y medio de cultivo (sustrato).

Calculando:

$$\mu = \frac{0,412 \text{ h}^{-1} * (165 \frac{\text{mg}}{\text{L}})}{12,3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} + (165 \frac{\text{mg}}{\text{L}})} = 0,38 \text{ h}^{-1}$$

Se obtiene una velocidad de crecimiento de  $0,38 \text{ h}^{-1}$ .

El crecimiento microbiano se mide por cambios sucesivos en el número de células o por el aumento de peso de la masa de las células, como se puede observar por el resultado de  $0,38 \text{ h}^{-1}$  el crecimiento se considera efectivo y veloz ya que las bacterias se alimentan con frecuencia de la biomasa encontrada en el agua residual tomada en los puntos de muestreo del municipio de Pesca.

Este crecimiento se evidencia en resultados como las fotografías y los informes de laboratorio obtenidos a partir de pruebas como DBO, DQO, sólidos totales, sólidos sedimentables y la disminución progresiva de la turbidez que se describe en la figura 22, debido a que la presencia constante de bacterias con una sola alimentación de lodos activados se mantuvo durante las 10 semanas de estudio del biorreactor.

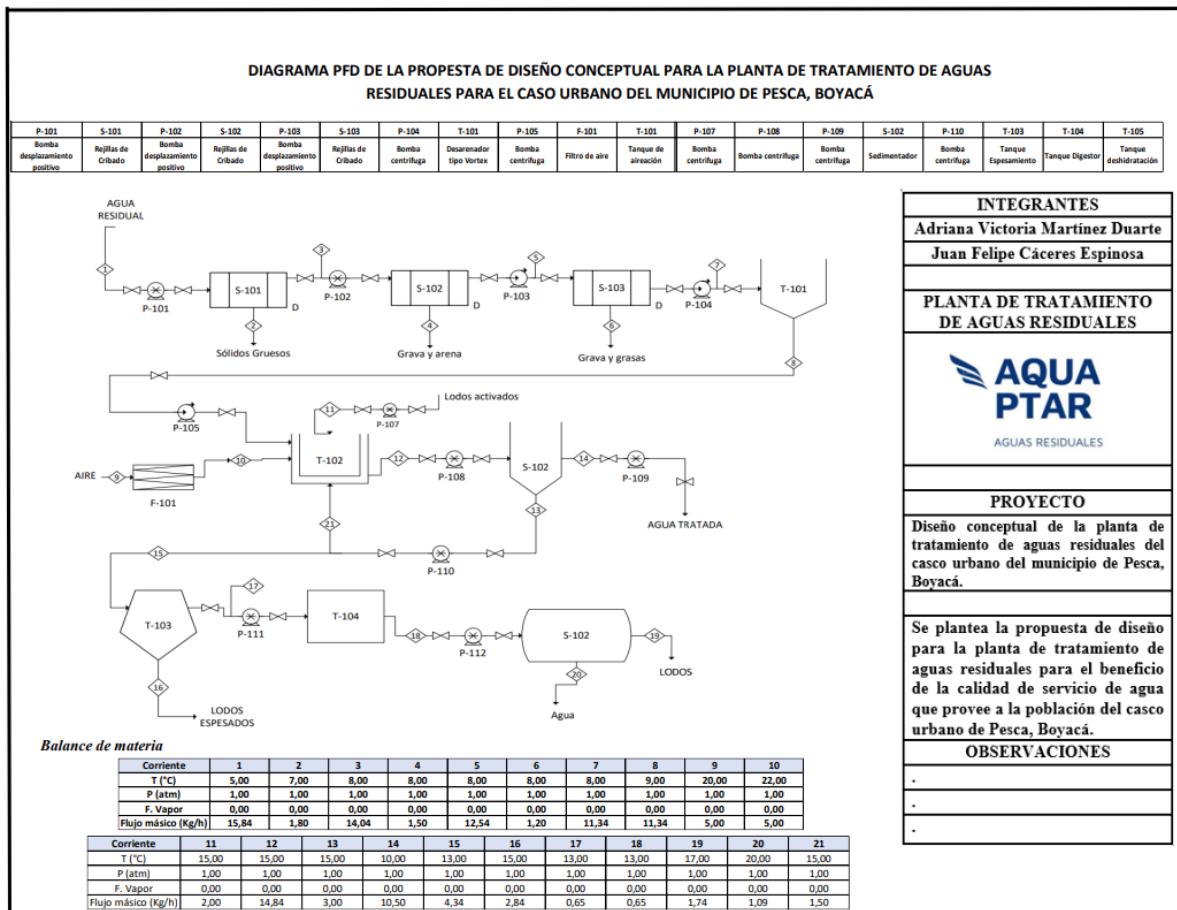
## 6.9. Diagrama de flujo de proceso (PFD)

A continuación, en la Figura 22, se ilustra el diseño conceptual de la PTAR por medio de un diagrama de flujo que tiene en cuenta las operaciones unitarias que se dan a medida que la corriente de agua residual ingresa a la planta y la disposición de los lodos activados con su respectiva recirculación. Dicho diagrama representa de manera simbólica la secuencia de equipos, la representación de las corrientes inmersas en el proceso y el balance de materia según el caudal de diseño.



**Figura 22.**

*Diagrama de flujo para el diseño de la PTAR de Pesca Boyacá.*



**Nota.** La figura muestra el diagrama PFD propuesto para el diseño conceptual de la PTAR.

Posterior al tratamiento con el biorreactor experimental, se tomaron muestras de agua residual cruda para realizar un diagnóstico por medio de pruebas de laboratorio encontradas en la normativa ambiental, dichas pruebas corresponden a pH, DQO, DBO, SST, SSV que proporcionan un informe sobre el estado del recurso hídrico, los resultados se obtuvieron en el mes de mayo de 2022 con el laboratorio CYANAM S.A , con el objetivo de tener un punto de comparación con los resultados de agua tratada con lodos activados, a continuación, en la tabla 17 se observan los resultados para el análisis mencionado anteriormente.

**Tabla 16.**

*Resultados análisis fisicoquímicos de segundo diagnostico para agua cruda y tratada.*

| Fecha      | variable                                     | método/técnica  | Unidad              | LC    | Resultado<br>s agua<br>cruda | Resultado<br>s agua<br>tratada | Incertidumbre |
|------------|--|---|---------------------|-------|------------------------------|--------------------------------|---------------|
| 5/12/2021  | pH <sup>2</sup>                              | S.M. 4500 H<br>-B Método<br>electrométrico                                    | Unidad              | NA    | 6,20                         | 6,50                           | 0,20          |
| 7/12/2021  | Demanda<br>Química De<br>Oxígeno -<br>Total  | S.M. 5220 C.<br>Reflujo<br>cerrado –<br>Titulación                            | mgO <sub>2</sub> /L | 50,00 | 350,00                       | 42,00                          | 3,66          |
| 5/12/2021  | Demanda<br>Bioquímica<br>De Oxígeno<br>Total | SM 5210 B<br>Incubación 5<br>Días. SM<br>4500 O.G<br>Electrodo de<br>Membrana | mgO <sub>2</sub> /L | 20,00 | 180,00                       | 18,00                          | 4,70          |
| 9/12/2021  | Sólidos<br>Sedimentables                     | . M. 2540 F<br>Sólidos<br>Sedimentables                                       | ml/L                | 0,00  | 15,00                        | 1,00                           | 0,03          |
| 9/12/2021  | Sólidos<br>Suspendidos<br>Totales            | S.M 2540 D<br>Gravimétrico<br>Secados<br>103°C-105°C                          | mgSST/<br>L         | 10,00 | 82,00                        | 6,00                           | 2,70          |
| 16/12/2021 | Sólidos<br>Suspendidos<br>Volátiles          | S.M. 2540<br>Sólidos<br>Suspendidos<br>Volátiles 550<br>°C                    | mgSSV/<br>L         | 10,00 | 25,00                        | 7,00                           | NA            |

**Nota.** La tabla muestra los resultados obtenidos de pruebas de laboratorio CYANAM. S.A.S. , para las muestras de agua cruda y tratada.

Como se mencionó en la metodología del objetivo 2, fue necesario la toma de pruebas fisicoquímicas las 7 semanas de funcionamiento del biorreactor de lodos activados, con la finalidad de evaluar el rendimiento de este y su porcentaje de remoción de DBO, evidenciando los resultados de la Tabla 17, se observa una disminución en cada uno de los parámetros estudiados, donde cabe resaltar la disminución en el DBO obteniendo un valor final de 18 mgO<sub>2</sub>/L.

A continuación, es realizado una comparación con los resultados obtenidos en este segundo análisis de pruebas fisicoquímicas con las normatividades vigentes mencionadas en el marco normativo con el fin de poder visualizar mejor el rendimiento del biorreactor para las necesidades del municipio, en la tabla 18 es posible evidenciar dicha comparación.

**Tabla 17.**

*Comparación resultados análisis fisicoquímicos de segundo diagnostico para agua cruda y tratada con las normatividades vigentes.*

| Parámetro                                  | Unidades            | Resultado agua cruda | Resultados agua tratada | Resolución 631 del 2015 | Objetivo de calidad de cuenca |
|--|---------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| pH <sup>2</sup>                            | Unidad              | 6,20                 | 6,50                    | 6,00 a 9,00             | 4,50 a 9,00                   |
| <b>Demanda Química De Oxígeno - Total</b>  | mgO <sub>2</sub> /L | 350,00               | 42,00                   | 180,00                  | 30,00                         |
| <b>Demanda Bioquímica De Oxígeno Total</b> | mgO <sub>2</sub> /L | 180,00               | 18,00                   | 90,00                   | <10,00                        |
| <b>Sólidos Sedimentables</b>               | ml/L                | 15,00                | 1,00                    | 5,00                    | -                             |
| <b>Sólidos Suspendidos Totales</b>         | mgSST/L             | 82,00                | 6,00                    | 90,00                   | 50,00 a 100,00                |
| <b>Sólidos Suspendidos Volátiles</b>       | mgSSV/L             | 25,00                | 7,00                    | -                       | -                             |

*Nota.* La tabla muestra la comparativa de los resultados obtenidos de pruebas de laboratorio CYANAM. S.A.S y normatividad vigente.

Como se evidencia en la tabla 18 se cumplen con los valores de pH estipulados en cada una de las normativas, en el caso de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) a pesar de no cumplir con el objetivo de calidad de cuenca presente en la resolución 3560 del 2015 con un valor de 10 mgO<sub>2</sub>/L, se logró obtener un valor muy cercano a este, del mismo modo para el DQO fue posible por medio del biorreactor obtener reducciones sin embargo quedando cerca del valor permisible por la normatividad.

- **Porcentaje de remoción**

Para calcular el porcentaje de remoción de biomasa en el proceso de tratamiento se tienen en cuenta los valores de DBO obtenidos en las pruebas de laboratorio del agua residual y el agua tratada.

$$\% = \frac{DBO\ inicial - DBO\ tratada}{DBO\ inicial} * 100$$

$$\% = \frac{180 - 18}{180} * 100 = 90\%$$

Se obtiene un total de 90% de remoción de biomasa durante el tiempo de trabajo del biodigestor que corresponde a 2 meses y 2 semanas, con este resultado se evidencia un proceso efectivo que a escala industrial y con mayor tiempo de estudio es posible obtener mejor rendimiento y lograr cumplir con el objetivo de calidad de cuenca.

- **Cálculos de diseño de cribado**

A partir de las ecuaciones de diseño para dimensionamiento encontradas anteriormente se calculan los valores pertinentes para el diseño de la etapa de cribado a instalar en la PTAR del municipio, se encuentra a continuación los resultados en la Tabla 19.

**Tabla 18.**

*Dimensionamiento cribado o rejillas.*

| <b>Resultados</b>                       |                 |              |
|---|-----------------|--------------|
| <b>Variable</b>                         | <b>Unidades</b> | <b>Valor</b> |
| <b>Perdida rejillas (hv)</b>            | m               | 0,018        |
| <b>Área de canal (A)</b>                | m <sup>2</sup>  | 0,007        |
| <b>Altura de la lámina de agua (Al)</b> | M               | 0,012        |
| <b>Altura del canal (hc)</b>            | M               | 0,29         |
| <b>Longitud de la rejilla (L)</b>       | m               | 0,35         |
| <b>Numero de barras (n)</b>             | -               | 13           |

**Nota:** La tabla muestra los resultados de dimensionamiento para el sistema de rejillas

- **Cálculos de diseño de desarenador**

A partir de las ecuaciones de diseño para dimensionamiento encontradas anteriormente se calculan los valores pertinentes para el diseño del desarenador a instalar en la PTAR del municipio, se encuentra a continuación los resultados en la Tabla 20.

**Tabla 19.***Dimensionamiento desarenador.*

| <b>Resultados</b>  |                 |              |
|--|-----------------|--------------|
| <b>Variable</b>  | <b>Unidades</b> | <b>Valor</b> |
| <b>Área desarenador (A)</b>                                      | m <sup>2</sup>  | 2,64         |
| <b>Volumen de agua conducido en ese tiempo</b>                   | L               | 3960         |
| <b>Altura necesaria (h)</b>                                      | m               | 2            |
| <b>Longitud necesaria (L)</b>                                    | m               | 1            |
| <b>Caudal de aire necesario (Aire)</b>                           | L/h             | 12000        |
| <b>Capacidad de la bomba de succión arena-agua (Qarena-agua)</b> | L/h             | 480          |

*Nota.* La tabla muestra los resultados obtenidos para el dimensionamiento del desarenador.

- **Cálculos de dimensionamiento para el reactor de lodos activados**

A partir de las ecuaciones de diseño para dimensionamiento encontradas anteriormente se calculan los valores pertinentes para el diseño del reactor de lodos activados a instalar en la PTAR del municipio, se encuentra a continuación los resultados en la Tabla 21.

**Tabla 20.***Dimensionamiento lodos activados.*

| <b>Resultados</b>                       |                     |                      |
|---|---------------------|----------------------|
| <b>Variable</b>                         | <b>Unidades</b>     | <b>Valor</b>         |
| <b>Volumen (v)</b>                      | L                   | 126720               |
| <b>Área del tanque de aireación (A)</b> | m <sup>2</sup>      | 63,36                |
| <b>Ancho del reactor (a)</b>            | m                   | 7,96                 |
| <b>Carga orgánica (CO)</b>              | mgO <sub>2</sub> /h | 2,86x10 <sup>6</sup> |

|  |                                    |                       |
|--|------------------------------------|-----------------------|
| <b>Carga orgánica volumétrica (COV)</b>      | mgO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> s | 5,73                  |
| <b>Relación de alimento/microorganismo</b>   | mgO <sub>2</sub> /s<br>mgss        | 1,91x10 <sup>-4</sup> |
| <b>purga de lodo (Q<sub>w</sub>)</b>         | m <sup>3</sup> /h                  | 91,2                  |
| <b>Recirculación de lodo (Q<sub>r</sub>)</b> | m <sup>3</sup> /h                  | 3041,28               |

**Nota:** La tabla muestra los resultados obtenidos para el dimensionamiento del sistema biológico.

- **Diseño de tanque de sedimentación**

**Tabla 21.**

*Dimensionamiento tanque de sedimentación.*

| <b>Resultados</b>                    |                 |              |
|--------------------------------------|-----------------|--------------|
| <b>Variable</b>                      | <b>Unidades</b> | <b>Valor</b> |
| <b>Superficie (S)</b>                | m <sup>2</sup>  | 7,92         |
| <b>Volumen del tanque</b>            | L               | 36,432       |
| <b>Diámetro del sedimentador (D)</b> | m               | 3,18         |

**Nota:** La tabla muestra los resultados obtenidos para el dimensionamiento del sedimentador.

- **Selección de bombas**

Para el proceso actual se emplean bombas de dos tipos según sea el fluido:

1. **Bombas de desplazamiento positivo**

Se seleccionan debido a la viscosidad que puede presentar el fluido que contiene lodos activados, ya que estos requieren una fuerza mayor al desplazarse por medio de la PTAR y entre los equipos.

2. **Bombas centrífugas**

Se seleccionan debido a que son las bombas más utilizadas en procesos industriales por las ventajas que presenta, por estas se desplaza agua residual y agua tratada que no requiere una fuerza mayor para desplazarse.

## 7. CONCLUSIONES

El diagnóstico actual del efluente encontrado en el municipio de Pesca Boyacá, fue realizado por medio de análisis entre el estudio realizado con el laboratorio CYANAM. S.A.S, con los encontrados en las resoluciones 631 del 2015, 3560 del 2015 y estudios posteriores de la alcaldía de Pesca Boyacá, de parámetros fisicoquímicos como DBO, DQO, dureza total, sólidos suspendidos totales y pH, siendo posible identificar cuáles de estos no cumplen con las normativas, destacando los valores más críticos para la DBO y DQO de 165 mgO<sub>2</sub>/L y 339 mgO<sub>2</sub>/L respectivamente.

Para el proceso de experimentación y evaluación de eficiencia del biorreactor de lodos activados para el efluente presente en el municipio de Pesca Boyacá se tuvo en cuenta como parámetro de control y diseño la DBO presente en el efluente, una vez finalizada esta etapa se realizó una comparación de los resultados obtenidos en los que se tomaron pruebas de DBO, DQO, sólidos sedimentales y sólidos volátiles, con la normatividad, generando una reducción de DBO aproximada del 90%, a pesar de cumplir con la resolución 631 del 2015, no se llegó a cumplir con el valor propuesto en el objetivo de calidad de cuenca.

El diseño conceptual de la PTAR del municipio de Pesca Boyacá se centra en plantear el diseño del sistema de cribado, desarenador, reactor de lodos activados, sedimentador y ubicación de la planta teniendo en cuenta el caudal de alimentación a partir de tres vertimientos principales del municipio donde las características del agua se ven afectadas por actividades de agricultura y ganadería además de los residuos domésticos, así mismo teniendo en cuenta la integridad y salud de los habitantes cercanos debido a los olores generados por el proceso dentro de la PTAR se debe realizar la localización de esta planta.

Como se puede evidenciar en la figura 20 los valores presentes para la turbidez del agua cruda oscilan entre 68-50 NTU, realizando la comparación con el análisis de turbidez para el agua trata con el biorreactor, observamos que desde el día 1 de dicho análisis se observó una reducción de los niveles de turbidez arrojando un valor de 10 NTU, adicionalmente es posible visualizar un comportamiento descendente para los niveles de turbidez, a medida que pasan los días del funcionamiento del biorreactor, llegando a obtener valores por debajo de 1 NTU lo cual nos indica del buen funcionamiento que está teniendo el sistema experimental de lodos activados con el efluente presente en el municipio de Pesca, Boyaca.

El dimensionamiento correspondiente de cada uno de los equipos fue realizado seguidamente de establecer el tren de tratamiento del agua residual adecuado para el efluente presente en el municipio, así mismo se tuvieron en cuenta recomendaciones y parámetros de diseños propuestos por el RAS 2000.

Los equipos seleccionados para el tren de tratamiento del agua residual presente en el municipio de Pesca Boyacá fueron, Rejillas para las fases de captaciones de agua y entrada a la PTAR, desarenador de tipo vórtice, reactor de lodos activados y por último tanque de sedimentación con sistema de aireación

El sistema de tratamiento de lodos activados se conforma por la digestión y la deshidratación donde parte de los residuos se recirculan al proceso para mejorar su eficiencia, de la misma forma se realiza con los lodos que se regeneran y siguen su actividad en el tanque de sedimentación.

Según la figura 16 y figura 17 donde se observan las fotografías tomadas de los conos utilizados para las pruebas de sólidos sedimentables se puede evidenciar la remoción física de los contaminantes y de la biomasa que se da con el proceso de lodos activados en el biorreactor operado por 10 semanas aproximadamente, dichos resultados se comparan obteniendo una eficiencia mayor a 90% lo cual hace al proceso confiable y con razones para continuar, mejorarlo e implementarlo.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Henze et al, Ed., Tratamiento Biológico De Aguas Residuales: Principios, Modelación Y Diseño. (Español ed.). 2008
- [2] Industria y Comercio Superintendencia, F. Almarino and S. Cuellar, "Boletín Tecnológico de tratamiento de aguas residuales," Julio, 2014. Available: [https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Propiedad%20Industrial/Boletines\\_Tecnologicos/Boletin\\_Tratamiento\\_aguas\\_20140624.pdf](https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Propiedad%20Industrial/Boletines_Tecnologicos/Boletin_Tratamiento_aguas_20140624.pdf). (Accessed may.10,2022).
- [3] P. Buitrago, L. L., .2017."Diagnóstico De La Planta De Tratamiento De Agua PTAR Residual De Tunja - Boyacá." Universidad católica de Colombia.
- [4] Dra. Moeller, Gabriela. Microbiología de lodos activados. Documentación del IDEAM. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloII/5Microbiologiadelodosactivados.pdf>
- [5] Guillen.H, .2020."Tratamientos Biológicos Aplicados a Las Aguas Residuales." Universidad Autónoma de Chiapas.
- [6] J. A. Romero, Tratamiento De Aguas Residuales: Teoría Y Principios De Diseño. (1st ed.) Bogotá D.C: Escuela Colombiana de Ingenierías, 2000.
- [7] DBO y DQO (Jun 4, 2019) Available: [https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/dbo\\_y\\_dqo\\_31](https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/dbo_y_dqo_31). (accessed nov.2,2021).
- [8] V. VirtualPlant, "Tratamiento secundario de aguas residuales por medio de lodos activados". Virtual Pro, Sep. 23, 2021, [Online]. Available: <https://www-virtualpro-co.ezproxy.uamerica.edu.co/biblioteca/tratamiento-secundario-de-aguas-residuales-por-medio-de-lodos-activados>. (accessed may.27,2022).
- [9] Galeano.L. and V. Rojas, .2016."Propuesta De Diseño De Una Planta De Tratamiento De Agua Residual Por Zanjón De Oxidación Para El Casco Urbano Del Municipio De Velez - Santander."
- [10] Meza, A. A., D. Camilo and C. Ferreira, .2012."Universidad De Cartagena Facultad De Ingeniería Programa De Ingeniería Química Cartagena." Universidad de Cartagena.
- [11] J. A. Romero Rojas, Tratamiento De Aguas Residuales. Teoría Y Principios De Diseño. Bogotá D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004.
- [12] Desarenador tipo Vortex(). Available: <http://eathisa.com/productos/desarenador-tipo-vortex/>. (accessed may.15,2022).
- [13] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, "reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento basico ras - 2000," 2000. Available: [https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710\\_ras\\_titulo\\_e\\_.pdf](https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_e_.pdf)
- [14]Municipio de Pesca, "Contexto territorial," 2010. Available: [https://www.dapboyaca.gov.co/descargas/rendicion\\_cuentas/pesca.pdf](https://www.dapboyaca.gov.co/descargas/rendicion_cuentas/pesca.pdf). (accessed may.12,2022).

[15] Dra. Moeller, Gabriela. Microbiología de lodos activados. Documentación del IDEAM. Aavailable:[http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS\\_2004/CapituloII/5Microbiologiadelodosactivados.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS_2004/CapituloII/5Microbiologiadelodosactivados.pdf). (accessed may.18,2022).



## **ANEXOS**

## ANEXO 1.





### PRUEBAS

Figura 23.

Prueba de laboratorio de agua residual no. 1 por Cyanam s.a.s

|  |  | GC-F-017 V02<br><b>REPORTE DE RESULTADOS</b><br>1986 -21        |  |  |            |               |              |             |
|---|--|---|--|---|------------|---------------|--------------|-------------|
| <b>EMPRESA</b>  | ADRIANA MARTINEZ                         | <b>ID MUESTRA</b>   | 1986-21                                |   |            |               |              |             |
| <b>DIRECCION</b>  | PESCA – BOYACA                           | <b>FECHA TOMA MUESTRA</b>                                       | 2021-12-02                             |   |            |               |              |             |
| <b>TELEFONO</b>   | 3215078235                               | <b>FECHA INGRESO MUESTRA</b>                                    | 2021-12-02                             |   |            |               |              |             |
| <b>CONTACTO</b>   | Ing. Adriana Martínez                    | <b>RESPONSABLE MUESTREO</b>                                     | CLIENTE                                |   |            |               |              |             |
| <b>NIT</b>  | CC: 1.002.604.053                        | <b>SITIO MUESTREO</b>   | Salida Red Pueblo Casco Urbano – Pesca |   |            |               |              |             |
| <b>E-MAIL</b>   | Juan.caceres@estudiantas.uamerica.edu.co | <b>TIPO MUESTRA</b>   | AGUA RESIDUAL DOMESTICA                |   |            |               |              |             |
| <b>FECHA DE INFORME</b>   | 2021-12-17                               | <b>TIPO MUESTREO</b>  | COMPUESTO                              |   |            |               |              |             |
| RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO Y MEDICIONES EN SITIO                       |  |   |  |   |            |               |              |             |
| FECHA ANALISIS (AAAA-MM-DD)   | VARIABLE                                 | METODO / TÉCNICA  | UNIDAD                                 | 1LC   | RESULTADOS | INCERTIDUMBRE | NORMATIVIDAD | CONFORMIDAD |
|   |  |   |  |   | 1986       |               |              |             |
| 2021-12-05  | pH <sup>2</sup><br>Mn – máx.             | S.M. 4500 H –B Método electrométrico                            | Unidad                                 | NA  | 7,2        | 0,20          | NR           | NA          |
| 2021-12-05  | Temperatura <sup>2</sup><br>Mn – máx.    | S.M. 2550 - B Método Laboratorio y campo                        | °C                                     | NA  | 22,6       | 1,2           | NR           | NA          |
| 2021-12-07  | Demanda Química De Oxígeno - Total       | S.M. 5220 C. Reflujo cerrado – Titulación                       | mgO <sub>2</sub> /L                    | 50  | 339        | 3,66          | NR           | NA          |
| 2021-12-05  | Demanda Bioquímica De Oxígeno Total      | SM 5210 B Incubación 5 Dias. SM 4500 O.G Electrodo de Membrana  | mgO <sub>2</sub> /L                    | 20  | 165        | 4,7           | NR           | NA          |
| 2021-12-09  | Solidos suspendidos Totales              | S.M. 2540 D Sólidos Suspendidos Totales Secados 103 °C – 105 °C | mgSST/L                                | 10  | 168        | 2,7           | NR           | NA          |
| 2021-12-09  | Solidos Totales                          | S.M. 2540 B - Secados 103 °C – 105 °C                           | mgST/L                                 | 10  | 210        | 2,7           | NR           | NA          |
| 2021-12-16  | Dureza Total                             | S.M. 2340 - C Método Volumétrico con EDTA                       | mgCaCO <sub>3</sub> /L                 | 5   | 200        | 1,07          | NR           | NA          |


<sup>1</sup>LC: Límite de cuantificación    <sup>2</sup>Parámetros de medición en sitio    <sup>3</sup>Parámetros subcontratados    NA: No Aplica    NR: No reporta  
 Los resultados consignados se relacionan únicamente con la muestra sometida a ensayo ID 1986-21.  
 Prohibida la reproducción parcial o total de este informe sin autorización del cliente y/o CYANAM SAS.  
 Análisis realizados en las instalaciones de CYANAM SAS de acuerdo a los lineamientos de American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Edition 23.

|   |  | GC-F-017 V02<br><b>REPORTE DE RESULTADOS</b><br>1986 -21  |  |  |  |
|--|--|---|--|---|--|
| <br>Dennys Alejandra Samacá Ch.<br>Director de Calidad - R.P. 15625 |  | <br>Blanca Samacá Ch.<br>Director Técnico - PQI - 560 |  | Fin del Reporte   |  |

**Nota.** La figura muestra los resultados de la caracterización fisicoquímica para el agua residual.

**Figura 24.**

*Prueba de laboratorio de agua residual No. 2 por CYANAM S.A.S*

|  |  | GC-F-017 V03<br><b>REPORTE DE RESULTADOS</b><br>2142-22        |                           | <br>Instituto de Hidrología,<br>Meteorología y<br>Estudios Ambientales<br>Resolución 1519 del 07 de diciembre de 2021 |            |               |              |             |
|---|--|--|---------------------------|--|------------|---------------|--------------|-------------|
| EMPRESA   | ADRIANA MARTINEZ                                 | ID MUESTRA   | 2142-22                   |  |            |               |              |             |
| DIRECCION   | PESCA - BOYACA                                   | FECHA TOMA MUESTRA   | 2022-04-26                |  |            |               |              |             |
| TELEFONO  | 3215078235                                       | FECHA INGRESO MUESTRA  | 2022-04-27                |  |            |               |              |             |
| CONTACTO  | Ing. Adriana Martínez                            | RESPONSABLE MUESTREO   | CLIENTE                   |  |            |               |              |             |
| NIT   | NA   | SITIO MUESTREO   | ENTRADA PTAR PESCA BOYACA |  |            |               |              |             |
| E-MAIL  | Juan.caceres@estudiantes.uamerica.edu.co         | TIPO MUESTRA   | ARD                       |  |            |               |              |             |
| FECHA DE INFORME  | 2022-05-11                                       | TIPO MUESTREO  | PUNTUAL                   |  |            |               |              |             |
| RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO Y MEDICIONES EN SITIO                       |  |  |                           |  |            |               |              |             |
| FECHA ANALISIS (AAAA-MM-DD)   | VARIABLE   | METODO / TÉCNICA   | UNIDAD                    | LC   | RESULTADOS | INCERTIDUMBRE | NORMATIVIDAD | CONFORMIDAD |
| 2022-04-27  | pH <sup>2</sup><br>min - máx.                    | S.M. 4500 H -B Método electrométrico                           | Unidad                    | NA   | 6,2        | 0,20          | NR           | NA          |
| 2022-04-27  | Temperatura <sup>2</sup><br>min - Max            | S.M. 2560 B<br>Medición directa                                | °C                        | NA   | 19,8       | 1,2           | NR           | NA          |
| 2022-04-27  | Sólidos Sedimentables <sup>2</sup><br>min - máx. | S.M. 2540 F Sólidos Sedimentables                              | ml/L                      | 0,10   | 15         | 0,034         | NR           | NA          |
| 2022-04-27  | Demanda Bioquímica de Oxígeno                    | SM 5210 B Incubación 5 Días. SM 4500 O.G Electrodo de Membrana | mg O <sub>2</sub> /L      | 20   | 180        | 4,7           | NR           | NA          |
| 2022-05-03  | Demanda Química de Oxígeno Total                 | S.M. 5220 C. Reflujo cerrado - Titulación                      | mgO <sub>2</sub> /L       | 50   | 350        | 3,66          | NR           | NA          |
| 2022-05-03  | Sólidos Suspendidos Totales                      | S.M 2540 D Gravimétrico Secados 103°C-106°C                    | mgSST/L                   | 10   | 82         | 2,7           | NR           | NA          |
| 2022-05-03  | Sólidos Suspendidos Volátiles                    | S.M. 2540 Sólidos Suspendidos Volátiles 550 °C                 | mgSSV/L                   | 10   | 25         | NA            | NR           | NA          |

Carrera 70 D # 78 - 21 Bogotá D.C / (1) 7005506 - 310 6975767 / cyanamsas@gmail.com

|   |  |   |  |  |  |
|---|--|---|--|--|--|
|  |  | GC-F-017 V03<br><b>REPORTE DE RESULTADOS</b><br>2142-22 |  | <br>Instituto de Hidrología,<br>Meteorología y<br>Estudios Ambientales<br>Resolución 1519 del 07 de diciembre de 2021 |  |
|---|--|---|--|--|--|

<sup>1</sup>LC: Límite de cuantificación <sup>2</sup>Parámetros de medición in situ <sup>3</sup>Parámetros subcontratados NA: No Aplica NR: No reporta La variable de DBO5 fue analizada a 20±3°C  
 Los resultados consignados se relacionan únicamente con la muestra sometida a ensayo ID 2142-22  
 Prohibida la reproducción parcial o total de este informe sin autorización del cliente y/o CYANAM SAS  
 Análisis realizados en las instalaciones de CYANAM SAS de acuerdo a los lineamientos de American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Edition 23.



Dennys Alejandra Samacá Ch.  
 Director de Calidad - R.P. 15625



Blanca Samacá Ch.  
 Director Técnico - PQI - 560

Fin del Reporte

**Nota.** La figura muestra los resultados de la caracterización fisicoquímica para el agua residual, segunda prueba.

**Figura 25.**

*Prueba de laboratorio de agua tratada No. 1 por CYANAM S.A.S*

|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>Consultoría y Análisis Ambiental S.A.S | GC-F-017 V03<br><b>REPORTE DE RESULTADOS</b><br>2143-22 | <br><b>IDEAM</b><br><small>Instituto de Hidrología,<br/>Meteorología y<br/>Estudios Ambientales</small><br>Resolución 1519 del 07 de diciembre de 2021 |
|---|---|---|

|                  |  |                       |                          |
|------------------|--|-----------------------|--------------------------|
| EMPRESA          | ADRIANA MARTINEZ                         | ID MUESTRA            | 2143-22                  |
| DIRECCION        | PESCA - BOYACA                           | FECHA TOMA MUESTRA    | 2022-04-26               |
| TELEFONO         | 3215078235                               | FECHA INGRESO MUESTRA | 2022-04-27               |
| CONTACTO         | Ing. Adriana Martinez                    | RESPONSABLE MUESTREO  | CLIENTE                  |
| NIT              | NA                                       | SITIO MUESTREO        | SALIDA PTAR PESCA BOYACA |
| E-MAIL           | Juan.caceres@estudiantes.uamerica.edu.co | TIPO MUESTRA          | ARD                      |
| FECHA DE INFORME | 2022-05-11                               | TIPO MUESTREO         | PUNTUAL                  |

| RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO Y MEDICIONES EN SITIO |  |  |                      |      |            |               |              |             |
|---|--|--|----------------------|------|------------|---------------|--------------|-------------|
| FECHA ANALISIS (AAAA-MM-DD)                                 | VARIABLE   | METODO / TÉCNICA   | UNIDAD               | 1LC  | RESULTADOS | INCERTIDUMBRE | NORMATIVIDAD | CONFORMIDAD |
| 2022-04-27  | pH <sup>2</sup><br>min - máx.                    | S.M. 4500 H –B Método electrométrico                           | Unidad               | NA   | 6,5        | 0,20          | NR           | NA          |
| 2022-04-27  | Temperatura <sup>2</sup><br>min - Max            | S.M. 2550 B<br>Medición directa                                | °C                   | NA   | 16,8       | 1,2           | NR           | NA          |
| 2022-04-27  | Sólidos Sedimentables <sup>2</sup><br>min - máx. | S.M. 2540 F Sólidos Sedimentables                              | ml/L                 | 0,10 | 1.0        | 0,034         | NR           | NA          |
| 2022-04-27  | Demanda Bioquímica de Oxígeno                    | SM 5210 B Incubación 5 Días. SM 4500 O.G Electrodo de Membrana | mg O <sub>2</sub> /L | 20   | 18         | 4,7           | NR           | NA          |
| 2022-05-03  | Demanda Química de Oxígeno Total                 | S.M. 5220 C. Reflujo cerrado – Titulación                      | mgO <sub>2</sub> /L  | 50   | 42         | 3,66          | NR           | NA          |
| 2022-05-03  | Sólidos Suspendedos Totales                      | S.M 2540 D Gravimétrico Secados 103°C-105°C                    | mgSST/L              | 10   | 6          | 2,7           | NR           | NA          |
| 2022-05-03  | Sólidos Suspendedos Volátiles                    | S.M. 2540 Sólidos Suspendedos Volátiles 550 °C                 | mgSSV/L              | 10   | 7          | NA            | NR           | NA          |

<sup>1</sup>LC: Límite de cuantificación <sup>2</sup>Parámetros de medición en sitio <sup>3</sup>Parámetros subcontratados NA: No Aplica NR: No reporta La variable de DBO5 fue analizada a 20±3°C  
 Los resultados consignados se relacionan únicamente con la muestra sometida a ensayo ID 2143-22

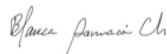
Carrera 70 D # 78 – 21 Bogotá D.C / (1) 7005506 - 310 6975767 / cyanamsas@gmail.com

|   |   |   |
|---|---|---|
| <br>Consultoría y Análisis Ambiental S.A.S | GC-F-017 V03<br><b>REPORTE DE RESULTADOS</b><br>2143-22 | <br><b>IDEAM</b><br><small>Instituto de Hidrología,<br/>Meteorología y<br/>Estudios Ambientales</small><br>Resolución 1519 del 07 de diciembre de 2021 |
|---|---|---|

Prohibida la reproducción parcial o total de este informe sin autorización del cliente y/o CYANAM SAS  
 Análisis realizados en las instalaciones de CYANAM SAS de acuerdo a los lineamientos de American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Edition 23.



Dennys Alejandra Samacá Ch.  
 Director de Calidad - R.P. 15625



Blanca Samacá Ch.  
 Director Técnico - PQI - 560

Fin del Reporte

**Nota.** La figura muestra los resultados de la caracterización fisicoquímica para el agua tratada.

## **ANEXO 2.**

### **RECOMENDACIONES**

Para tener una mejor idea del estado fisicoquímico del efluente presente en el municipio de Pesca, Boyacá, se recomienda realizar un estudio y análisis de más parámetros fisicoquímicos, tales como: niveles de nitrito, nitrato, oxígeno disuelto, aceites y grasas, color.

Implementar una red de tuberías donde las corrientes tengan un puesto de mezcla antes de ingresar a la PTAR para que las características físicas como pH, color, sólidos suspendidos y turbidez se estabilicen y la corriente de entrada sea más uniforme para el proceso.

Se recomienda hacer el muestreo para la caracterización fisicoquímica del agua por lo menos 3 veces en un año, variando las épocas de los muestreos, con la finalidad de abarcar fechas especiales en las que se realicen ferias, épocas de invierno, sequias, entre otros; que pueden afectar la composición o las características físico-químicas del agua residual.

Teniendo en cuenta la edad media de la población que se basa más que todo en la tercera edad (>50 años) se considera importante analizar los contenidos de medicamentos en el agua residual a la hora de hacer las pruebas de diagnóstico y así, adecuar el sistema biológico para que los microorganismos vivan y cumplan su función, y adicional proponer el tratamiento terciario para remover los compuestos farmacéuticos.

La PTAR se recomienda ser ubicada en un sector lejano apropiadamente a una distancia de 1Km de la población del casco urbano para evitar problemas, enfermedades y/o inconvenientes por los malos olores generados por la PTAR, así mismo se debe tener en cuenta la rosa de vientos del municipio de Pesca con la finalidad de preservar el bienestar de los habitantes cercanos.

Con la finalidad de realizar un estudio riguroso de la actividad de crecimiento microbiana en el presente biorreactor de lodos activados, se recomienda la evaluación y determinación de parámetros cinéticos tales como: velocidad específica de crecimiento, constante de Monod.

Para el estudio de la eficiencia del biorreactor de lodos activados, se recomienda en tiempo de estudio mayor a las 10 semanas que se evidenciaron en el presente trabajo, esto con la finalidad de lograr obtener una mayor reducción en los niveles de DBO y DQO.

Se recomienda el estudio y evaluación de otro tratamiento secundario con la finalidad lograr una mayor disminución en los parámetros de DBO, DQO, sólidos suspendidos volátiles, sólidos sedimentables y así mismo poder cumplir con los objetivos de calidad de cuenca.

Como criterio de diseño, se recomienda la implementación de un estudio de costos necesarios para la realización del proyecto en el que se abarquen los costos relacionados con mantenimiento e inversión.