

**DIAGNÓSTICO Y ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (PTARD) DE LA PLANTA
COMFENALCO DE IBAGUÉ TOLIMA**



OSCAR JAVIER OROZCO USECHE

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

PAMPLONA- NORTE DE SANTANDER

2021

**DIAGNÓSTICO Y ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (PTARD) DE LA PLANTA
COMFENALCO DE IBAGUÉ TOLIMA**

OSCAR JAVIER OROZCO USECHE

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico

Director

JUAN PABLO MARISCAL MORENO

Docente Programa de Ingeniería Química

Codirector

BRENIN ARAMENDIZ JOIRO

Docente Programa de Ingeniería Química y Química

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

PAMPLONA- NORTE DE SANTANDER

2021

Nota de aceptación

Director

Juan Pablo Mariscal Moreno

Título: Ingeniero Químico

Codirector

Brenin Aramendiz Joiro

Título: Ingeniero Químico y Químico

Firma de Jurado 1

Firma de Jurado 2

Dedicatoria

*Dedico con todo mi corazón este logro a mi madre, que con tu bendición y protección me
llevan por el buen camino del bien te amo.*

*A mi padre, hermanos, novia y abuelos por todo el amor y apoyo incondicional a este
sueño, apoyándome siempre que fue necesario, animándome hasta los últimos momentos y
detalles de este documento, con el cual termina una parte importante e inolvidable de mi vida
que me acompañara por siempre.*

Agradecimientos

Agradezco a mi familia, en especial a mi padre José Oscar Orozco Rojas quien me han apoyado para poder alcanzar este sueño de profesionalizarme, brindándome ese amor incondicional que siempre me impulsa a salir adelante, también a Lida Hasbleidy Prieto quien se ha convertido en una parte fundamental de la familia, siempre brindando todo su apoyo y conocimiento.

Expreso mi más efusivo agradecimiento a mi director Juan Pablo Mariscal Moreno y mi codirector Brenin Aramendiz Joiro por su entrega total en la realización de este proyecto y por todo el conocimiento que me han aportado durante mi formación académica y que ha trascendido más allá de las fronteras de un aula de clases.

Expreso mi agradecimiento a todo el cuerpo docente del programa de Ingeniería Química de la Universidad de Pamplona, quienes han impulsado mi crecimiento en todo momento al compartir todo su conocimiento y experiencias para formarme como un profesional idóneo.

Agradezco a la empresa IBAL S.A por permitirme desarrollar este proyecto en sus instalaciones, especialmente a la jefe Ruth Elena Salazar por brindarme sus conocimientos y orientaciones en el momento justo.

Tabla de contenido

Capítulo I.....	13
1 Descripción general.....	13
1.1 Planteamiento del problema y justificación	13
1.2 Delimitación	15
1.2.1 <i>Objetivo General.....</i>	<i>15</i>
1.2.2 <i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>15</i>
Capítulo II	16
2 Marco referencial.....	16
2.1 Introducción	16
2.2 Marco teórico	17
2.2.1 <i>Aguas residuales.....</i>	<i>17</i>
2.2.2 <i>Plantas de tratamientos de agua residuales (PTAR).....</i>	<i>20</i>
2.2.3 <i>Tratamientos biológicos</i>	<i>22</i>
2.2.4 <i>Reactor UASB.....</i>	<i>25</i>
2.2.5 <i>Indicadores y parámetros de control de un reactor UASB</i>	<i>27</i>
2.3 Marco legal.....	35
2.4 Estado del arte	36
2.5 Zona delimitación del proyecto.....	38
2.5.1 <i>Pretratamiento:.....</i>	<i>40</i>
2.5.2 <i>Tratamiento secundario:.....</i>	<i>42</i>
2.5.3 <i>Unidades complementarias:</i>	<i>43</i>
Capitulo III.....	45
3 Metodología	45
3.1 Etapa 1: Identificación de datos históricos de la PTARD.....	46
3.2 Etapa 2: Toma de Muestras y Caracterización de aguas residuales	47
3.3 Etapa 3: Análisis de resultados.....	48
3.3.1 <i>Procesamiento de datos.....</i>	<i>48</i>

3.3.2	<i>Cálculo de indicadores y variables de proceso</i>	49
3.4	Etapa 4: Planteamiento de alternativas.....	49
Capítulo IV	50
4	Resultados y análisis	50
4.1	Identificación de datos históricos	50
4.2	Análisis de identificación de datos históricos y caracterizaciones previas	54
4.2.1	<i>Temperatura</i>	55
4.2.2	<i>Potencial de hidrógeno (pH)</i>	57
4.2.3	<i>Demanda química de oxígeno (DQO)</i>	58
4.2.4	<i>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)</i>	59
4.2.5	<i>Sólidos suspendidos totales</i>	61
4.2.6	<i>Cargas contaminantes y porcentajes de remoción</i>	63
4.3	Indicadores y variables de proceso.....	67
4.3.1	<i>Biodegradabilidad</i>	67
4.3.2	<i>Nutrientes</i>	68
4.4	Comentarios finales al diagnóstico actual de la PTARD Comfenalco.....	69
4.5	Alternativas de mejoramiento	71
4.5.1	<i>Alternativas y recomendaciones operativas a corto y mediano plazo</i>	71
4.5.2	<i>Alternativas y recomendaciones de infraestructura a largo plazo</i>	73
4.5.3	<i>Alternativa 3. Infraestructura pretratamiento</i>	73
4.5.4	<i>Alternativa 4. Infraestructura postratamiento</i>	75
Capítulo V	87
5	Conclusiones	87
5.1	Recomendaciones y perspectivas	88
Capítulo VI	89
6	Referencias	89
Anexos	96

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Contaminantes de las aguas residuales</i>	18
Tabla 2. <i>Tipo de tratamientos de aguas residuales y sus principales estructuras</i>	21
Tabla 3. <i>Límites máximos permisibles de la Resolución 0631 de 2015</i>	22
Tabla 4. <i>Procesos anaerobios de tratamiento de aguas residuales y biosólidos</i>	23
Tabla 5. <i>Ventajas y desventajas de un reactor UASB</i>	26
Tabla 6. <i>Tiempos de retención hidráulica recomendados para reactores UASB</i>	29
Tabla 7. <i>Rangos del IVL y sus características</i>	32
Tabla 8. <i>Normatividad empleada en el proyecto</i>	35
Tabla 9. <i>Lugar y fecha de caracterización de aguas residuales vigencia 2019-2021</i>	46
Tabla 10. <i>Fechas de toma de muestras y caracterizaciones</i>	47
Tabla 11. <i>Equipos y unidades de medición</i>	48
Tabla 12. <i>Información recopilada</i>	50
Tabla 13. <i>Brigadas de Limpieza y Mantenimiento PTARD Comfenalco – Vigencia 2019</i>	51
Tabla 14. <i>Brigadas de Limpieza y Mantenimiento PTARD Comfenalco – Vigencia 2020</i>	52
Tabla 15. <i>Análisis estadístico de caracterizaciones</i>	54
Tabla 16. <i>Cargas Contaminantes y Remociones realizados por laboratorios IBAL S.A y acreditado IDEAM vigencia 2019-2021</i>	64
Tabla 17. <i>Carga de Nutrientes en la PTARD Comfenalco vigencia 2019-2021</i>	68
Tabla 18. <i>Ventajas y desventajas del tanque de homogenización</i>	74
Tabla 19. <i>Ventajas y desventajas de los FAFA</i>	77
Tabla 20. <i>Ventajas y desventajas de los Humedales</i>	81
Tabla 21. <i>Ventajas y desventajas de los filtros percoladores</i>	83
Tabla 22. <i>Rango de costos de instalación y mantenimiento de unidades de postratamiento</i>	86

Índice de figuras

Figura 1. <i>Etapas de digestión anaerobia y grupos microbianos que intervienen</i>	25
Figura 2. <i>Esquema de reactor UASB rectangular y sus partes.</i>	27
Figura 3. <i>Montaje de AME.....</i>	33
Figura 4. <i>Ubicación satelital de la PTARD Comfenalco.....</i>	38
Figura 5. <i>Diagrama descriptivo del sistema de tratamiento.</i>	39
Figura 6. <i>Rejilla de gruesos y rejilla de finos</i>	40
Figura 7. <i>Desarenadores PTARD Comfenalco.....</i>	41
Figura 8. <i>Trampa de grasas de la PTARD Comfenalco.</i>	42
Figura 9. <i>Reactor anaerobio de flujo ascendente de la PTARD Comfenalco</i>	43
Figura 10. <i>Tea o Quemador de la PTARD Comfenalco</i>	44
Figura 11. <i>Lechos de secado de la PTARD Comfenalco</i>	44
Figura 12. <i>Metodología empleada en el proyecto</i>	45
Figura 13. <i>Temperatura de entrada y salida vigencia 2019-2021</i>	56
Figura 14. <i>Potencial de hidrógeno entrada y salida PTARD Comfenalco vigencia 2019-2021.</i>	57
Figura 15. <i>Demanda química de oxígeno, entrada PTARD Comfenalco vigencia 2019-2021 ...</i>	58
Figura 16. <i>Demanda química de oxígeno, salida PTARD Comfenalco vigencia 2019-2021.....</i>	59
Figura 17. <i>Demanda Bioquímica de oxígeno, entrada PTARD Comfenalco 2019-2021</i>	60
Figura 18. <i>Demanda Bioquímica de oxígeno, salida PTARD Comfenalco vigencia 2019-2021</i>	61
Figura 19. <i>Solidos suspendidos totales, entrada PTARD Comfenalco vigencia 2019-2021.....</i>	62
Figura 20. <i>Solidos suspendidos totales, salida PTARD Comfenalco vigencia 2019-2021.....</i>	63
Figura 21. <i>Porcentajes de remoción PTARD Comfenalco vigencia 2019-2021</i>	66

<i>Figura 22. Biodegradabilidad PTARD Comfenalco vigencia 2019-2021.</i>	67
<i>Figura 23. Esquema tanque de homogenización.</i>	74
<i>Figura 24. Filtro FAFA adecuado a escala real.</i>	76
<i>Figura 25. Esquema de filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).</i>	76
<i>Figura 26. Configuración típica de un reactor UASB más filtro FAFA.</i>	78
<i>Figura 27. Esquema de un humedal de artificial.</i>	79
<i>Figura 28. Humedal de la PTAR Sotaquira.</i>	80
<i>Figura 29. Configuración típica de un reactor UASB más Humedal artificial.</i>	81
<i>Figura 30. Esquema general de un filtro percolador.</i>	84
<i>Figura 31. Filtro percolador a escala real</i>	84
<i>Figura 32. Medio filtrante- rosetón material plástico</i>	85
<i>Figura 33. Configuración típica de UASB más filtro percolador.</i>	85

Índice de anexos

<i>Anexo 1. Resultados de laboratorio Acreditado IDEAM Primer cuatrimestre 2021.</i>	<i>96</i>
<i>Anexo 2. Brigadas de limpieza vigencia 2019</i>	<i>97</i>
<i>Anexo 3. Brigadas de limpieza vigencia 2020</i>	<i>99</i>
<i>Anexo 4. Instructivo de SSV y IVL.....</i>	<i>101</i>

Resumen

Este proyecto se realizó en la PTARD Comfenalco de Ibagué – Tolima, cuyo efluente es vertido al río Opia. El principal objetivo de este proyecto fue presentar un diagnóstico de la PTARD y en base a ello plantear alternativas de mejoramiento, para lo cual se realizó la identificación de datos históricos, la comparación de caracterizaciones históricas y previas con la normatividad vigente, principales fallas y por último el planteamiento de alternativas. De esta manera en el diagnóstico se encontró que la planta no contaba con un control adecuado de la cantidad y actividad microbiana, además de el no cumplimiento del TRH por lo que se plantearon alternativas de mejoramiento a corto, mediano y largo plazo.

Palabras claves: Reactor UASB, actividad microbiana, nutrientes, lodos.

Abstract

The project was carried out at the Comfenalco WWTP in Ibagué - Tolima, whose effluent is discharged into the Opia River. The main objective of this project was to present a diagnosis of the PTARD and based on that to propose improvement alternatives, for which the identification of historical data, the comparison of historical and previous characterizations with the current regulations, main failures and, last the approach of alternatives. In this way, in the diagnosis, it was found that the plant did not have adequate control of the quantity and microbial activity, in addition to the non-compliance with HRT, therefore, alternatives for improvement in the short, medium and long term were proposed.

Key words: UASB Reactor, microbial activity, nutrients, sludge.

Capítulo I

1 Descripción general

1.1 Planteamiento del problema y justificación

El agua es considerada un compuesto de vital importancia para los seres vivos en el planeta tierra, es fundamental para la alimentación, la higiene y actividades del ser humano; en este sentido es necesario disponer de agua segura para proteger la salud y la vida.

Es por ello, que surge la necesidad de prestar la atención necesaria al cuidado de las fuentes hídricas como problemática principal de la metrópoli, pues está muy relacionado con los cambios demográficos que sufre día a día, debido al crecimiento de la población y la demanda para llevar a cabo sus actividades diarias el cual genera cambios físicos, químicos y biológicos en las aguas resultantes (Valdez, 2016).

Por su parte, el ser humano en su necesidad de organización, ha construido estructuras para el tratamiento de aguas, con el fin de transformar la materia orgánica y a su vez disminuir la carga contaminante de las aguas residuales. Esto lo realiza a través de procesos microbiológicos, físico-químicos con tratamientos primarios, secundarios y terciarios para lograr la remoción de los agentes contaminantes. Por su parte la normatividad colombiana en su responsabilidad social y el cuidado con el ambiente, legisla la resolución 0631 de 2015, la cual tiene como objetivo mitigar el impacto ambiental de las aguas residuales y de esta manera generar veeduría a estas plantas de tratamiento.

El problema principal que llevó al planteamiento de este proyecto, es la generación de un diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de la PTARD Comfenalco

en la ciudad de Ibagué, en la empresa ibaguereña de acueducto y alcantarillado IBAL, lugar en el que anteriormente se ha realizado caracterizaciones de aguas residuales y se ha evidenciado el incumplimiento de la norma de vertimientos vigente en Colombia.

Como pasante de Ingeniería Química, es importante realizar un diagnóstico de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas (PTARD) Comfenalco en Ibagué Tolima, para establecer el estado actual de ésta y determinar si éstas cumplen con la normativa de vertimientos vigente; además, plantear alternativas que buscan mejorar los procesos de la planta PTARD, ya que un sistema de tratamiento de aguas residuales eficientes es la garantía de un mejor nivel de salud de la población en general.

1.2 Delimitación

1.2.1 Objetivo General

Plantear alternativas de mejoramiento al sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, a partir de un diagnóstico a la planta (PTARD) de Comfenalco de Ibagué Tolima

1.2.2 Objetivos Específicos

Analizar el comportamiento del sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas (PTARD) de la planta Comfenalco de Ibagué Tolima, a partir de la identificación de datos históricos y previos.

Contrastar el estado actual del sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas (PTARD) de la planta Comfenalco de Ibagué Tolima con la normatividad vigente y determinar sus posibles fallas.

Formular alternativas de mejoramiento al sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas (PTARD) de la planta Comfenalco de Ibagué Tolima.

Capítulo II

2 Marco referencial

2.1 Introducción

En Colombia, de los 1122 municipios registrados por el DANE, solo 541 cuentan con algún tipo de sistema de saneamiento, según información publicada por la superintendencia de servicios públicos domiciliarios. Las aguas residuales son tratadas, pero no se hace correctamente, generando un impacto ambiental potencial el cual trasciende en la salud pública de las comunidades (Saldaña, 2020).

En el caso de Ibagué, se realiza la depuración de las aguas residuales a través de la empresa IBAL S.A E.S.P. OFICIAL, mediante la operación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTARD) El Tejar, Las Américas y Comfenalco. Para el desarrollo de este proyecto se tomó como punto de referencia la planta de tratamiento de aguas residuales Comfenalco, esta es un componente esencial para la descontaminación de la fuente hídrica Rio Opia en este municipio.

En este informe se presenta el diagnóstico y alternativas para el mejoramiento de las condiciones actuales de la PTARD. Se utilizaron registros históricos, una revisión acerca de su funcionamiento, caracterizaciones actualizadas y un análisis completo que permitió identificar los problemas de funcionamiento, para el planteamiento de alternativas que mejoren el proceso.

Este proyecto fue elaborado en marco de la pasantía institucional realizada por el autor durante el primer semestre del año 2021.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Aguas residuales

El agua un recurso natural indispensable para la vida humana, la disponibilidad de este disminuye a medida que aumenta la contaminación, que es producida por el vertimiento de compuestos, orgánicos e inorgánicos, ya sea de manera disuelta, suspendida o dispersa, se consideran aguas contaminadas cuando sobrepasen una concentración tolerable para un uso determinado, las cuales afectan directamente a las condiciones de saneamiento de una población generando una calidad de vida deficiente (Orozco, 2005; Pineda, 2017).

Las fuentes receptoras de las aguas residuales son afectadas de alguna manera, ya que introduce condiciones o características que cambian de manera directa el cuerpo receptor, algunas condiciones o contaminantes que afectan las fuentes hídricas se pueden observar en la **Tabla 1** (Raffo & Ruiz, 2014; Ruiz, 2013).

Las aguas residuales dependiendo de su procedencia se pueden clasificar como aguas residuales domésticas e industriales. Las **aguas residuales domésticas** son las que provienen de áreas residenciales, establecimientos comerciales y de lugares como hospitales, escuelas, edificios, instituciones, etc. Principalmente son las producidas por el metabolismo humano y las actividades domésticas. Las **aguas residuales industriales** son constituidas por todos los desechos líquidos provenientes de empresas o fabricas que produzcan cualquier clase de material o artículos (Huertas et al., 2013; Molina et al., 1999).

Tabla 1. Contaminantes de las aguas residuales

Contaminante	Fuente	Impacto ambiental
Sólidos suspendidos.	Uso doméstico, desechos industriales y agua infiltrada	Causa depósito de lodo y condiciones anaerobias en ecosistemas acuáticos.
Compuestos orgánicos biodegradables.	Desecho doméstico y desechos industriales	Causa degradación biológica que incrementa la demanda de oxígeno en los cuerpos receptores.
Microorganismos patógenos.	Desechos domésticos	Causan enfermedades transmisibles.
Nutrientes	Desecho doméstico y desechos industriales	Pueden causar eutroficación
Compuestos orgánicos refractarios.	Desechos industriales	Pueden causar problemas de sabor y olor, son cancerígenos
Metales pesados.	Desechos industriales, minería, etc	Pueden interferir con el tratamiento
Sólidos inorgánicos disueltos.	Debido al uso domestico	Pueden interferir con el reusó del efluente

Fuente: Adaptado de (Raffo & Ruiz, 2014; Ruiz, 2013).

Por otra parte, los indicadores más importantes cuando se realiza una caracterización de aguas residuales domesticas son: Demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBOs), pH, temperatura, sólidos totales y sólidos disueltos.

- **Demanda química de oxígeno (DQO):** Corresponde al contenido de materia orgánica (biodegradable o no) del cuerpo del agua. Este indicador es utilizado para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica que se puede oxidar en medio de un agente oxidante el más utilizado en este caso es el dicromato de potasio que es con el que se

mide la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica presente en las aguas (Espinoza, 2017).

- **Demanda biológica de oxígeno (DBO):** Corresponde a la materia orgánica biodegradable bajo la acción de microorganismos. Se refiere a la cantidad de oxígeno que se necesita para que los microorganismos oxiden los residuos orgánicos presentes en la muestra de agua. La DBO se determina a una temperatura de 20 °C en un tiempo de 5 días y se expresa en mg/ L O₂. Este método ha sido utilizado desde 1936 por la asociación americana de salud pública y desde entonces se ha mantenido como indicador fundamental de la contaminación de aguas (Espinoza, 2017).
- **pH:** Se utiliza para expresar la condición de acidez y alcalinidad presentes en una solución. En las plantas de tratamiento de aguas residuales que la trabajan con microorganismos se utiliza para controlar esta condición en unos intervalos adecuados para los organismos (Lopez, 2011).
- **Temperatura:** Se define como el grado de nivel térmico de un cuerpo o solución. En las plantas de tratamientos de aguas residuales este indicador es fundamental ya que los valores de temperatura afectan al proceso biológico (Valdez, 2016).
- **Sólidos Totales:** Es definida como la materia que queda en forma de residuo después de evaporar y secar a 103°C. Este incluye el material disuelto y no disuelto (Raffo & Ruiz, 2014).
- **Sólidos suspendidos totales:** Se refiere al material particulado que se encuentra en suspensión en las fuentes hídricas superficiales o residuales (Raffo & Ruiz, 2014).

2.2.2 Plantas de tratamientos de agua residuales (PTAR)

Las aguas residuales son tratadas en PTAR (plantas de tratamiento de aguas residuales) las cuales constituyen una medida de mitigación que ayuda a disminuir y controlar la contaminación de los cuerpos de agua, Estas cuentan con infraestructura adecuada y personal capacitado para labores de operación y mantenimiento.(Ruiz, 2013).

Teniendo en cuenta la gran variedad de procesos disponibles para el tratamiento de aguas residuales, estos se clasifican en pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado en aguas residuales. Un pretratamiento tiene como objetivo remover por medios mecánicos los constituyentes que puedan causar dificultades de operación y mantenimiento en los procesos posteriores. El tratamiento primario se enfoca en remover parcialmente la materia orgánica, patógenos y sólidos suspendidos por medios fisicoquímicos , este constituye un técnica de preparamiento para el tratamiento secundario, reduciendo hasta un 60% y un 40% los sólidos suspendidos y la demanda química de oxígeno respectivamente, El tratamiento secundario se usa principalmente para la remoción de la materia orgánica y sólidos suspendidos por medio de los procesos biológicos, por último el tratamiento terciario o avanzado mejora la calidad del efluente del sistema secundario con el fin de adecuar agua para su reusó mediante la remoción de nutrientes, en la **Tabla 2** se observa las principales estructuras para cada clasificación. (Gonzalez, 2014; Lopez, 2011).

Tabla 2. Tipo de tratamientos de aguas residuales y sus principales estructuras

Tipo de tratamiento	Principales estructuras
Pretratamiento	Rejas Cribas de barra Tamices Desmenuzadores Desarenadores Separadores de grasa y aceite Tanques de pre aireación Aliviaderos
Tratamiento primario	Fosas sépticas Tanques de doble acción Tanques de sedimentación Filtración, Neutralización
Tratamiento secundario	Lechos bacterianos Lodos activados Lagunas de estabilización Biodiscos Filtros bacterianos Filtros percoladores Reactor de lodos de flujo ascendente (UASB)
Tratamiento Terciario	Cloración Ozonización Carbón activado Intercambio iónico Ósmosis inversa Biofiltración.

Fuente: Adaptado de (Valdez, 2016)

Para los vertimientos de aguas residuales las plantas de tratamiento están regidas por la normatividad ambiental vigente, la cual es la resolución 0631 de 2015 que dicta los límites máximos permisibles de parámetros tales como: DQO, DBO₅, SST, ST, nutrientes, grasas y aceites. En la **Tabla 3** se observa los límites máximos permitidos para vertimientos con cargas menores a 625 kg DBO₅ / día.

Tabla 3. Límites máximos permisibles de la Resolución 0631 de 2015

Parámetro	Unidades	Límite máximo permitido
pH	Unidades de pH	6 – 9
Temperatura	°C	40
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	180
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	90
Solidos suspendidos totales (SST)	mg/L	90
Solidos sedimentables	mL/L	5
Grasas y aceites	mL/L	20
Compuestos de fosforo	mg/L	Análisis y reporte
Compuestos de nitrógeno	mg/L	Análisis y reporte

Fuente: (Minambiente, 2015)

2.2.3 Tratamientos biológicos

Para el tratamiento de aguas residuales la alternativa más competitiva es el tratamiento biológico, por sus bajos costos y por sus diseños sencillos, los sistemas biológicos se basan en un conjunto de microorganismos que degradan la materia orgánica que se encuentran en las aguas contaminadas para su propio crecimiento, el conjunto de microorganismos tiene una gran variabilidad y depende de las características del agua residual a tratar, en los tratamientos biológicos se tiene que tener en cuenta el metabolismo celular, ya que un factor importante es el

aceptor final de los electrones en los procesos de oxidación de la materia orgánica, pueden presentarse de manera aerobia y de manera anaerobia, en el tratamiento biológico aerobio el oxígeno es el aceptor final de electrones, lo que conlleva a que se obtengan rendimientos positivos energéticos generando altos niveles de fangos, debido al crecimiento bacteriano de las condiciones aerobias (en presencia de oxígeno) (Condorchem Envitech, 2021).

Las plantas de tratamientos de aguas residuales domésticas, principalmente trabajan con procesos anaeróbicos que consisten en un sistema biológico que es controlado y operado por grupos bacterianos bajo condiciones específicas (ausencia de oxígeno) para transformar el material orgánico en una pequeña parte de biomasa y un conjunto de gases principalmente metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). Este conjunto de gases es conocido como biogás, el cual contiene una gran cantidad de energía en la **Tabla 4** se observa principales procesos anaeróbicos utilizados para tratamiento de aguas residuales.(CONAGUA, 2007).

Tabla 4. *Procesos anaerobios de tratamiento de aguas residuales y biosólidos*

Tipo	Nombre común	Uso
Crecimiento suspendido	Digestión anaerobia: tasa estándar, tasa alta, una y dos etapas. Proceso anaerobio de contacto.	Estabilización, remoción de DBOC, remoción de SSV. Remoción de DBOC
Hibrido	Lagunas anaerobias. Tanque séptico	Remoción de DBOC, remoción de SS. Tratamiento primario, remoción de grasas, remoción de DBO, remoción de sólidos suspendidos.
	Proceso de flujo ascensional y manto de lodos anaerobio; PAMLA, RAFA o UASB.	Remoción de DBO, remoción de SS. Remoción

Tipo	Nombre común	Uso
	Tanque Imhoff	Remoción de grasas, remoción de DBO, remoción de SS y digestión anaerobia de dichos sólidos.
Crecimiento adherido	Filtro anaerobio	Remoción de DBO, estabilización
	Procesos de lecho fluidizado	Remoción de DBO
	Procesos de lecho expandido	Remoción de DBO

Fuente: Adaptado de (Gonzalez, 2014)

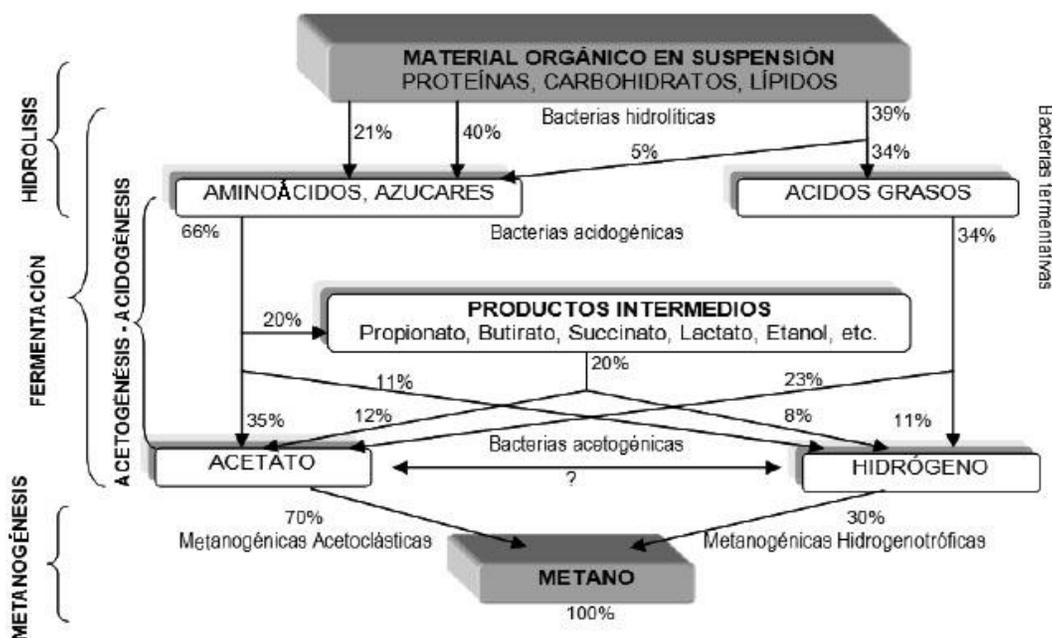
La degradación anaerobia requiere la intervención de grupos bacterianos específicos los cuales llevan cuatro fases principales que son: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. ver **Figura 1**.

Inicialmente en la fase de hidrólisis y acidogénesis, se produce más energía y los microorganismos tienen una mayor tasa de crecimiento. En estas fases se hidrolizan los polisacáridos, lípidos y proteínas por medio enzimas extracelulares, las cuales generan productos de baja masa molecular, tales como los alcoholes, azúcares y aminoácidos. Los productos son transportados por medio de la membrana celular para su posterior proceso la fermentación de estos productos a ácidos grasos como los ácidos acéticos, propiónicos, butírico y fórmico (Rodriguez, 2008).

De este modo, inicia la tercera fase acetogénesis con la transformación de los ácidos a productos como acetato, hidrógeno y dióxido de carbono. Por último, está la fase de metanogénesis donde existen dos grupos, acetotróficas e hidrogenotróficas las cuales transforman el acetato a metano y dióxido de carbono e hidrógeno, lo transforman o reducen a metano. Estas dos últimas fases tienen un rendimiento de energía muy bajos por lo que cualquier

alteración tarda mucho tiempo en restablecerse. Estudios con bacterias metanogénicas tienen gran aplicabilidad en ensayos de biodegradabilidad de diferentes sustratos y la selección de inóculos adecuados para el arranque de reactores anaerobios (Lozada & Perez, 2010).

Figura 1. Etapas de digestión anaerobia y grupos microbianos que intervienen



Fuente: Adaptado de (Lettinga et al., 1980). y citado por (Lozada & Pérez, 2010)

2.2.4 Reactor UASB

La tecnología más utilizada para procesos anaerobios es el reactor UASB (Reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos) debido a su amplio factor de ventajas y sus reducidas problemáticas (ver **Tabla 5**). Estos reactores fueron desarrollados en 1970 por *Lettinga y colaboradores*, su primordial característica es la formación de un manto de lodo con una excelente capacidad de sedimentación en donde sucede la actividad biológica. Su rendimiento depende muy estrictamente del tipo de aguas o de material que va a trabajar, ya que

se rigen por su carga contaminante; están las aguas industriales las cuales tienen una alta concentración y las aguas residuales domésticas que contienen una baja concentración, pues provienen fundamentalmente de viviendas, aguas de lavados, duchas, lavadoras e instalaciones comerciales. Otros factores que afectan la eficiencia en estos reactores son disponibilidad de nutrientes, temperatura, pH y sedimentación por gravedad (Lorenzo & Obaya, 2006).

Tabla 5. *Ventajas y desventajas de un reactor UASB*

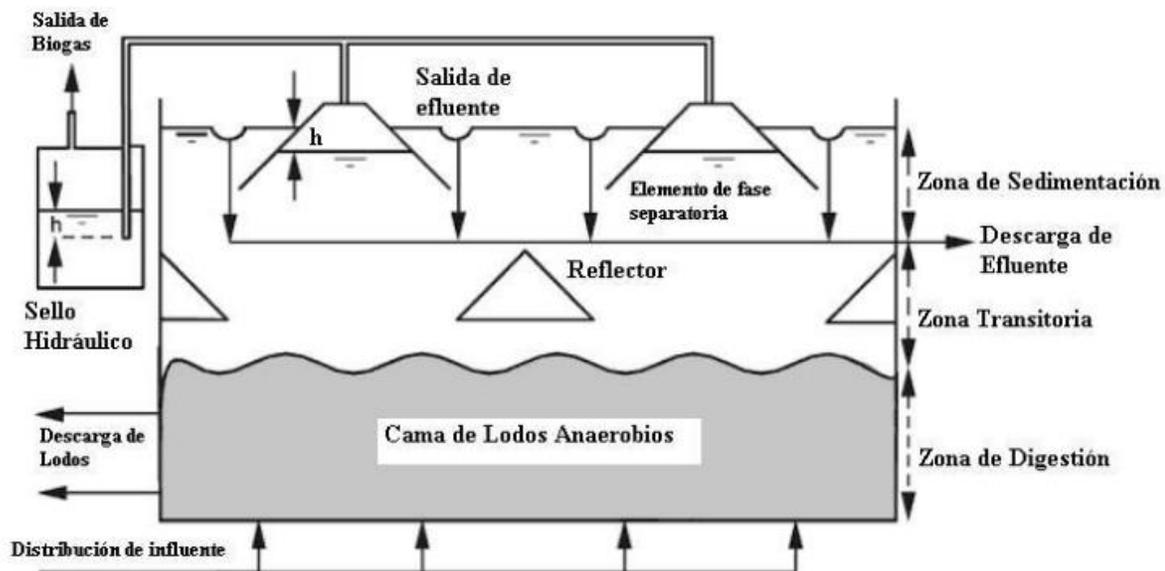
Ventajas	Desventajas
Costos de operación y mantenimiento relativamente bajos.	La reducción de bacterias patógenas es relativamente bajas.
Los lodos trabajados anaeróbicamente pueden mantenerse por largos periodos de tiempo sin alimentación.	Alta sensibilidad a la presencia de compuestos tóxicos.
Soporta cargas orgánicas e hidráulicas muy altas con buenos parámetros de eficiencia	El inicio del proceso anaerobio es muy lento debido al crecimiento poblacional de las bacterias el cual demora entre 8 a 12 semanas.
La producción de lodos estables en exceso es baja y fácilmente drenables hasta de 30 a 40 % por lo que los costos de tratamiento de los lodos y su transporte son relativamente bajos	Se requiere de un postratamiento para remover en mayor grado la materia orgánica

Fuente: (Bermúdez et al., 2003; Lorenzo & Obaya, 2006)

Los reactores UASB operan de forma continua, la alimentación ingresa por el fondo y va ascendiendo por el lecho de lodos, el agua residual es distribuida por el manto de lodos en donde ocurre la conversión a biogás y por el lecho de lodo donde se encuentra la mayor concentración de sólidos, una vez finalizado el tiempo estipulado dentro del reactor, el efluente sale por la parte superior del reactor. El diseño del reactor varía entre cilíndrica y rectangular estas dependen de la capacidad y características del reactor, el reactor rectangular es uno de los más utilizados en

aguas residuales domésticas, en la **Figura 2** se observa un esquema de un reactor rectangular con sus partes.

Figura 2. Esquema de reactor UASB rectangular y sus partes.



Fuente: (Camacho, 2012)

2.2.5 Indicadores y parámetros de control de un reactor UASB

Para tener un buen control y optimización en los reactores UASB se deben tener en cuenta los siguientes parámetros básicos:

2.2.5.1 Potencial de hidrogeno:

El potencial de hidrogeno afecta de manera directa la actividad de las enzimas, esta se presenta con variaciones muy drásticas de pH, se tiene un control de pH para disminuir los riesgos por inhibición de las bacterias y evitando una desestabilización en el proceso. Para un óptimo proceso los niveles de actividad satisfactorio varían en el rango de 7.2 y 7.4, sin embargo,

las bacterias por debajo de 6.5 y por encima de 7.8 estas disminuyen su actividad, y para valores menores a 6.2 las bacterias se paralizan y quedan inactivas. Cuando se presentan estos cambios bruscos de pH se pueden ajustar utilizando bicarbonato de sodio (NaHCO_3), sosa caustica (NaOH) o cal teniendo en cuenta las precipitaciones que se pueden formar (CONAGUA, 2007; Ibáñez & Bautista, 2018).

2.2.5.2 Temperatura:

La temperatura juega un papel importante en los sistemas anaerobios, esta influye directamente en la actividad microbiana, una temperatura optima genera un proceso más eficiente y veloz. Pero esta influye dependiendo del tipo de microorganismos que se presentan en un proceso biológico, estas se clasifican en tres grupos psicofísicos (5-20 °C), mesofílicos (20-40 °C) y termofílicos (45-65 °C), el rango más utilizado en procesos anaerobios es el mesófilo ya que este ofrece un mejor equilibrio en el gasto en calefacción y la eficacia de remoción (Camacho, 2012; CONAGUA, 2007).

El rango mesofílico es altamente sensible a cambios de temperatura el cual repercute en el rendimiento del proceso, en algunos casos un cambio de 5 °C es aproximadamente un 10 % de la remoción del DQO, para reactores anaerobios las bacterias tienen un rango óptimo de temperatura en 35 °C mejorando su rendimiento (Chernicharo, 2007).

Otro factor importante en el que influye la temperatura es en los tiempos de retención hidráulica (TRH), a medida que la temperatura aumente los TRH disminuirán, y de forma inversa cuando la temperatura disminuya los TRH aumentara generando problemas en las

remociones, En la **Tabla 6** se observa Tiempos de retención hidráulica recomendados para reactores UASB que tratan aguas residuales domesticas (Camacho, 2012; Chernicharo, 2007).

Tabla 6. *Tiempos de retención hidráulica recomendados para reactores UASB*

Temperatura de las aguas residuales (°C)	Tiempo de retención hidráulica	
	Promedio diario	Mínimo durante (4 a 6 horas)
16 a 29	> 10 a 14	>7 a 9
20 a 26	> 6 a 9	> 4 a 6
>26	> 6	> 4

Fuente: Adaptado de (Lettinga et al., 1980) y citado por (Chernicharo, 2007)

2.2.5.3 Solidos volátiles:

Es la cantidad de materia orgánica presente en lodo de los reactores, este procedimiento es determinado por una calcinación a 550°C en una mufla, cuando una muestra se quema o calcina la materia volátil se elimina, quedando en la capsula o muestra la materia inorgánica o normal dando un estimativo de la materia orgánica existente en el residuo, este es un factor de control importante en el reactor, cuanto mayor sea el contenido volátil, mayor será el rendimiento del proceso, en el arranque del reactor la fracción volátil debe ser mayor al 50%, y para tener un buen funcionamiento después del arranque los SV deben encontrarse en 70 y 120 kg de SV/m³.(Camacho, 2012; Lopera, 2010).

2.2.5.4 Biodegradabilidad (Relación DQO/DBO):

La biodegradabilidad es la que permite la remoción de contaminantes y materia orgánica, en las aguas residuales por medio de microorganismos. La relación DQO/DBO representa de

manera indirecta el contenido de materia orgánica de un residuo, mediante la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar química o biológicamente la materia orgánica (Lopera, 2010), esta relación indica la contaminación del efluente, cuando la relación es menor a 2,5 indica que es un efluente que puede biodegradarse el cual pertenece a aguas residuales domésticas y puede aplicar un tratamiento biológico, si la relación se encuentra mayores a 2,5 y menores a 5 indica que son aguas provenientes de industrias o que no son biodegradables (Ibáñez & Bautista, 2018).

2.2.5.5 Nutrientes:

Los nutrientes nitrógeno (N) y fósforo (P), también llamados bioestimulantes, son componentes del agua residual esenciales para el crecimiento biológico, estas aguas deberán contener una cantidad suficiente de macronutrientes y micronutrientes para generar nueva biomasa. Las aguas residuales domesticas necesitan un bajo nivel de nutrientes, generando así menos lodos en los reactores (Chernicharo, 2007). Las relaciones de nutrientes óptimas en un proceso biológico son:

- Biomasa con bajo coeficiente de rendimiento

$$\mathbf{DQO/N/P= 1000/5/1}$$

- Biomasa con alto coeficiente de rendimiento

$$\mathbf{DQO/N/P= 350/5/1}$$

2.2.5.6 Relación de alimento- microorganismos (F/M)

Esta relación indica la cantidad de carga orgánica de un proceso de lodo activado. Esta es usada para conocer la cantidad de alimento óptima para los microorganismos, ya que un exceso o

falta de estos pueden afectar indirectamente la eficiencia del reactor, esta relación es calculada por la **Ecuación 1**.

Ecuación 1. Relación F/M

$$\frac{F}{M} = \frac{Q * CC}{VR * SSV}$$

Nota: Q = Caudal entrada (L/d), CC = Carga contaminante (kg/d), VR= Volumen del reactor (L) y SSV= Sólidos suspendidos volátiles (kg/L) (Standard Methods, 2017) .

La relación F/M menor a 0,05 indica que hay mayor presencia de microorganismos que de alimento que entra al reactor y para F/M mayores a 0,05 indican que hay un exceso de alimento en base a los microorganismos presentes (Ibáñez & Bautista, 2018).

2.2.5.7 Índice volumétrico de lodos (IVL)

El IVL es un indicador que permite conocer la sedimentabilidad del lodo, este factor se define como el volumen que ocupa 1 g de sólidos suspendidos después de 30 minutos de sedimentación (Lorenzo & Obaya, 2006), este indicador se calcula con la **Ecuación 2** y en la **Tabla 7** se observa los rangos del IVL y sus características.

Ecuación 2. Índice volumétrico de lodos

$$IVL = \frac{C \text{ Imhoff}}{SST}$$

Nota: C Imhoff: los resultados de la prueba del cono Imhoff y SST: sólidos suspendidos totales de la muestra, Fuente: (Ibáñez & Bautista, 2018).

Tabla 7. Rangos del IVL y sus características

Rango IVL (ml/g)	Sedimentabilidad	Característica
< 50	Mala	Indica mala sedimentabilidad
80-150	Muy buena	Indica el mejor rango, un efluente bueno
150-200	Tolerable	Indica precaución de pérdida de lodo
200-400	Mal lodo	Indica lodo con problemas
>400	Muy Mala	Indica pérdida total del lodo

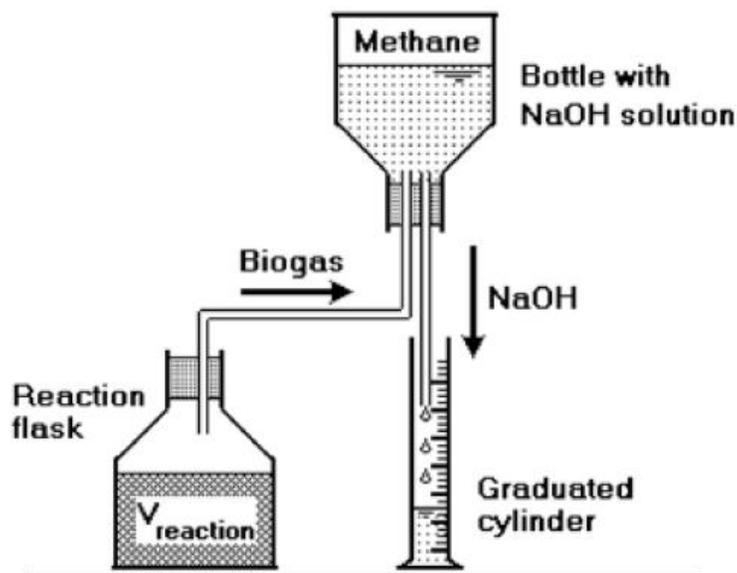
Fuente: (Ibáñez & Bautista, 2018; Lorenzo & Obaya, 2006)

2.2.5.8 Actividad metanogénica específica (AME)

Esta prueba consiste en la evaluación de la capacidad de las arqueas metanogénicas para convertir el material orgánico en biogás, se debe tener cantidades de biomasa y de DQO conocidas, la producción de metano se evalúa en la prueba, Para el desarrollo de la prueba es necesario lo siguiente: Lodo anaerobio, un sustrato, una solución amortiguadora nutritiva que debe contener micronutrientes y macronutrientes (Chernicharo, 2007). En la **Figura 3** se observa el montaje de la actividad metanogénica específica.

Para los cálculos de la AME se tiene en cuenta la máxima conversión de metano contenida en una porción de DQO establecida y se calculan a partir de la **Ecuación 3 y 4**.

Figura 3. Montaje de AME



Fuente: Adaptado de (Lettinga et al., 1980). y citado por (Chernicharo, 2007)

Ecuación 3. Volumen de metano producido

$$V_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{K(t)}$$

Nota: DQO_{CH_4} : Carga de DQO extraída del reactor y convertida en metano y $k(t)$: Factor de corrección para la temperatura operativa del reactor, Fuente: (Chernicharo, 2007).

Ecuación 4. Factor de corrección de temperatura

$$k(t) = \frac{P * K}{R * (273 + T)}$$

Nota: *p:* presión atmosférica(atm), *K:* DQO correspondiente a un mol de CH₄ (64 g DQO / mol),

R: Constante de gas (0.08206 atm L / mol K) y *T:* Temperatura operativa del reactor (° C),

Fuente (Chernicharo, 2007).

La prueba de AME es utilizada como análisis de rutina para la cuantificación de la actividad metanogénica de lodos anaeróbicos, también es utilizada para varios análisis como, la evaluación del comportamiento de la biomasa bajo efectos de compuestos inhibidores, determinación de la toxicidad de compuestos presentes en el efluente, determinación de la máxima carga orgánica que se puede aplicar a un tipo de lodo y la cantidad de lodo que debe permanecer en el reactor (Chernicharo, 2007).

2.3 Marco legal

En la **Tabla 8** se observa la normatividad con la que se trabajó en las actividades de este proyecto.

Tabla 8. Normatividad empleada en el proyecto

Norma	Enunciación	Relación con el proyecto
Resolución 0631 de 2015	Por la cual se establecen los valores máximos permisibles de los parámetros que se vierten a cuerpos de aguas superficiales y a sistemas de alcantarillado.	Capítulo 5; Artículo 8: se establecen los valores máximos permisibles de Aguas residuales domésticas – ARD y de las aguas residuales (ARD - ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales, con una carga menor o igual a 625.00 kg/día DBO5
Decreto 1076 de 2015	Se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente	2.2.3.2.21.5. Fijación de las características del efluente. Las características del efluente de la planta de tratamiento serán fijadas por la Autoridad Ambiental y el artículo 2.2.3.2.21.4. Sistema de alcantarillado y tratamiento de residuos líquidos. En todo sistema de alcantarillado se deberán someter los residuos líquidos a un tratamiento que garantice la conservación de las características de la corriente receptora.
Resolución 1096 de 2000	Por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-RAS	Artículo 28.- tratamiento de aguas residuales domésticas, con el propósito de fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento. artículo 176.- manejo de lodos en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Fuente: (Departamento Administrativo de la Función Pública & Decreto, 2015; Minambiente, 2015; Ministerio de desarrollo economico, 2000)

2.4 Estado del arte

Pineda, L. (2017). En su trabajo de grado titulado: *Diagnóstico de la planta de tratamiento de agua residual (PTARD) de Tunja – Boyacá*. Se concluyo que:

La planta de tratamiento de aguas residuales de Tunja no se encuentra en condiciones óptimas para tratar todo el caudal de entrada, ya que cuenta con capacidades menores a las demandadas actualmente, las condiciones funcionales y estructurales se encuentran en buen estado, finalmente, teniendo en cuenta las características de la planta y su estado actual, se eligió una de cinco tecnologías alternativas utilizadas en los últimos años, es la tecnología de membranas de ultrafiltración (Pineda, 2017).

Ibáñez, P. y Bautista, A. (2018). En su trabajo de grado titulado: *Análisis técnico - económico del primer tren de tratamiento biológico, reactor UASB y humedal superficial, PTAR Sotaquirá – Boyacá*.

En este trabajo se tuvo como objetivos establecer las condiciones fisicoquímicas del primer tren de tratamiento biológico, por medio de los muestreos y caracterizaciones realizados a este tren, se evaluó el estado y funcionamiento del reactor y humedal superficial, por medio de los parámetros operacionales y se determinaron las alternativas de mejoramiento técnica y económicamente viables sobre el primer tren de tratamiento. Se presentaron problemas como el contacto entre alimento y microorganismo, variación de nutrientes y problemas de sedimentación por lo que la mejor alternativa fue la 1 con propuesta 1, la cual propone aumentar la superficie de contacto entre los microorganismos y el manto de lodos mediante la implementación de un sistema MBBR con rosetones (Ibáñez & Bautista, 2018).

Camacho, A. (2012). En su informe de proyecto de graduación titulado: *Evaluación de la operación y propuestas de mejora del reactor anaerobio de flujo ascendente del beneficio San Diego de VOLCAFE S.A.*

En este trabajo de grado se evaluó la eficiencia del reactor teniendo en cuenta parámetros y factores como tiempo de retención hidráulico, DQO, sólidos volátiles, carga orgánica, pH, temperatura y sólidos sedimentables. Los resultados indicaron que el reactor trabajaba con una eficiencia de remoción de DQO del 78%, con un caudal inferior al de diseño, se identificó que el sistema fue contaminado con lodos de años anteriores y grandes cantidades de material particulado en las aguas de poca biodegradabilidad. Para estas problemáticas se plantearon alternativas a corto, mediano y largo plazo, enfocándose principalmente en tratamientos posteriores al reactor (Camacho, 2012).

García, C y Fonseca, J. (2015). En su trabajo de grado para optar al título de tecnólogo en gestión ambiental y servicios públicos, titulado: *Evaluación técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales – Quinta Brasilia - ubicada en el municipio de Honda – Tolima.*

Este proyecto de investigación tiene como objetivos diagnosticar el estado de la planta de tratamiento de aguas residuales, determinar la eficiencia del reactor UASB y establecer recomendaciones de mejoramiento a la infraestructura y sistema operativos. Los principales problemas encontrados fueron malos olores y bajos rendimientos, los cuales fueron causados por falta de mantenimiento y deterioro en algunas estructuras. Para estas problemáticas se plantearon actividades de mejoramiento a corto plazo como: cambio de desarenador, adecuación de un sistema barredor de lodos en el sedimentador y mantenimiento de lechos de secado, también se

presentaron actividades de mejora a mediano plazo como la implementación de un segundo filtro percolador con el fin de mejorar eficiencias (García & Fonseca, 2015).

2.5 Zona delimitación del proyecto

EL IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL, es una empresa industrial y comercial del estado del orden municipal, que se especializa en el tratamiento y suministro del agua potable y el tratamiento de aguas residuales, abarcando Ibagué y demás municipios del departamento a donde se puede llegar, teniendo en cuenta la normatividad vigente. Actualmente cuenta con tres (3) plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARD) en la ciudad de Ibagué conocidas como El Tejar, Comfenalco y Las Américas, este proyecto se evaluó en la PTARD Comfenalco, la **Figura 4** muestra la ubicación satelital de la planta.

Figura 4. Ubicación satelital de la PTARD Comfenalco

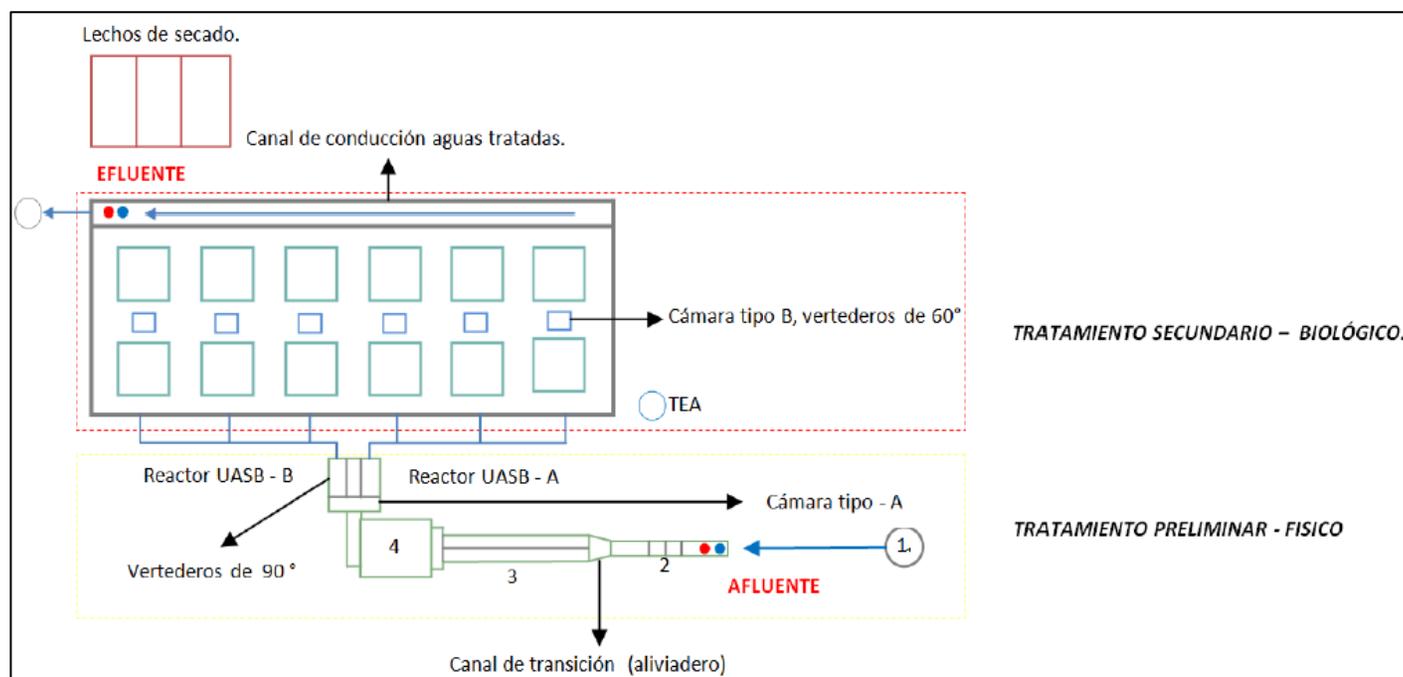


Fuente: (Google Earth, 2021).

La PTARD se encuentra ubicada en la ciudadela Comfenalco, es una zona urbana de Ibagué, el área involucrada forma parte del espacio geográfico correspondiente al sistema hídrico de la quebrada la Doima, afluente del río Opia, atendiendo a una población de 10000 habitantes y teniendo un caudal de diseño de 28 L/s.

La planta de tratamiento de aguas residuales domesticas Comfenalco está constituida por un sistema preliminar (rejillas, desarenadores, trampa de grasas), un tratamiento secundario (reactor UASB) y unidades complementarias (Tea y lechos de secado). En la **Figura 5** se observa el diagrama del sistema de tratamiento. Esta presenta una descarga irregular ya que su calidad y cantidad varían con el tiempo, el agua residual es vertida sobre una fuente natural llamada la quebrada Doima.

Figura 5. Diagrama descriptivo del sistema de tratamiento.



Nota: 1. Compuerta de entrada, 2. Canal de conducción (Rejillas), 3. Desarenadores, 4. Trampa de grasas. Fuente (Gomez, 2015).

El diseño del sistema de tratamiento está compuesto por:

2.5.1 Pretratamiento:

2.5.1.1 Rejilla de gruesos y rejilla de finos:

Estas rejillas se complementan entre sí para la remoción de sólidos y materiales que representen un riesgo para el posterior tratamiento, se debe estar limpiando manualmente las rejillas. La rejilla gruesa cuenta con 10 barrotes, teniendo un espaciado de 4 cm con una inclinación de 60°; a diferencia de la rejilla de gruesa, la rejilla fina tiene 19 barrotes, con un espaciado de 2 cm con un grado de inclinación de 60°. En la **Figura 6** se observa la rejilla de gruesos y rejilla de finos.

Figura 6. *Rejilla de gruesos y rejilla de finos*



Fuente: (Propia)

2.5.1.2 Desarenadores:

La planta cuenta con 2 canales rectangulares de desarenado las cuales trabajan en paralelo, para retener sólidos y partículas en suspensión gruesas con el fin de evitar sobrecargas en los procesos posteriores, esta cuenta con un tiempo de retención hidráulica de 40 s y tiene un caudal de diseño de 28 L/s. En la **Figura 7** se observa los desarenadores de la PTARD Comfenalco.

Figura 7. Desarenadores PTARD Comfenalco



Fuente: (Propia)

2.5.1.3 Trampa de grasas:

Las trampas de grasas retardan el flujo del agua con el fin de separar las grasas y aceites que puedan causar problemas al tratamiento, la PTARD cuenta con dos unidades que trabajan en paralelo y estas se reparten el agua de entrada en dos cámaras idénticas, con un tiempo de retención hidráulica de 8.2 minutos en cada unidad, teniendo un caudal de diseño de 28 L/s. En la **Figura 8** se observa la trampa de grasas utilizada en la PTARD Comfenalco.

Figura 8. Trampa de grasas de la PTARD Comfenalco.



Fuente: (Propia)

2.5.2 Tratamiento secundario:

La PTARD Comfenalco hace énfasis en el tratamiento biológico por medio de reactor anaeróbico de flujo ascendente (UASB) ver **Figura 9**.

2.5.2.1 Reactor UASB:

El reactor de la PTAR cumple con la separación de fases gas – líquido – sólido, el cual trabaja como un sedimentador y recolector de biogás, seguidamente de la transformación de la materia orgánica por medio de los microorganismos. Este reactor cuenta con 2 unidades las cuales tienen un volumen de 232,8 m³ en total y una altura de 2,4 m, con un tiempo de retención hidráulica de 4,6 h y cuenta con 6 vertederos de 60 ° los cuales son los encargados de ingresar el agua residual por la parte del fondo. En la última visita de campo se obtuvo la altura de lodos con un valor de 0,7 m.

Figura 9. Reactor anaerobio de flujo ascendente de la PTARD Comfenalco



Fuente: (Propia)

2.5.3 Unidades complementarias:

En la PTARD Comfenalco se tiene como unidades complementarias los lechos de secado para el tratamiento e inactivación de los lodos y la TEA para la combustión del biogás.

2.5.3.1 TEA:

El biogás es el resultado de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica presente en las aguas residuales. En cumplimiento a la legislación ambiental vigente en calidad de aire se contempla la disposición final del biogás por combustión la cual se realiza en la Tea ver **Figura**

10.

Figura 10. *Tea o Quemador de la PTARD Comfenalco*



Fuente: (Propia)

2.5.3.2 Lechos de secado:

Existen 3 unidades de secado que funcionan aprovechando la energía solar, la brisa y la filtración. Son estructuras en concreto y ladrillo, que tienen lechos en grava y arena, con un tendido de ladrillo sobre el cual, se reciben los lodos provenientes de los reactores para su secado, cuando estos presentan exceso. En la **Figura 11** se observa los lechos de secado de la PTARD Comfenalco.

Figura 11. *Lechos de secado de la PTARD Comfenalco*



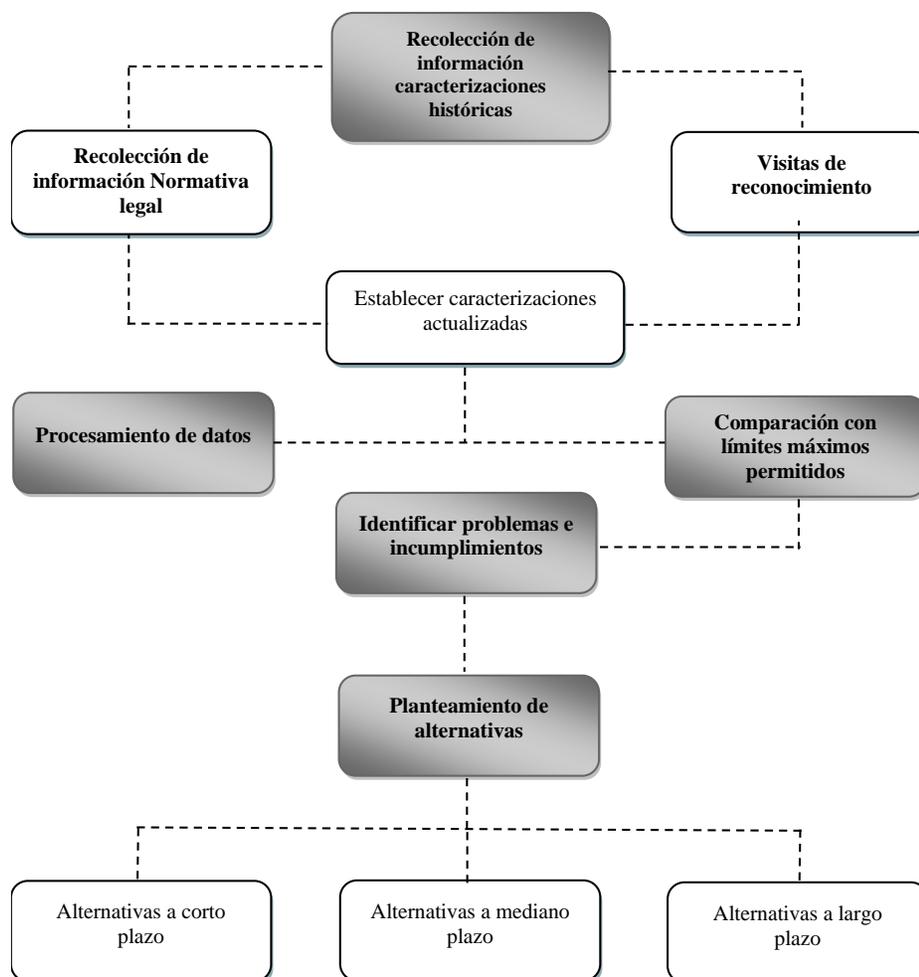
Fuente: (Propia)

Capítulo III

3 Metodología

La metodología de este proyecto se siguió a partir de etapas que tuvieron como objetivos indagar el estado histórico de la PTARD, caracterizaciones actualizadas, análisis de datos y planteamiento de alternativas, que se observan en la **Figura 12**.

Figura 12. Metodología empleada en el proyecto



Fuente: (Propia)

3.1 Etapa 1: Identificación de datos históricos de la PTARD.

La identificación de datos históricos incluye reportes internos de la planta, a cargo de operarios y jefes. Históricamente se han realizado caracterizaciones y tomando como referencia durante la ejecución de este proyecto, las reportadas entre los años 2019 a febrero de 2021 realizadas por los laboratorios IBAL S.A y Acreditados IDEAM ver **Tabla 9**, también se revisó el manual de operación y mantenimiento, además las brigadas de limpieza, las cuales soportan los procesos de salubridad que llevan en la planta e información complementaria que sirvió de apoyo para el análisis.

Tabla 9. Lugar y fecha de caracterización de aguas residuales vigencia 2019-2021

Fecha	laboratorio	Fecha	laboratorio
17/01/2019	IBAL S.A ESP	27/03/2020	IBAL S.A ESP
7/02/2019	IBAL S.A ESP	14/04/2020	IBAL S.A ESP
12/02/2019	Acreditado IDEAM	20/05/2020	IBAL S.A ESP
21/03/2019	IBAL S.A ESP	16/06/2020	IBAL S.A ESP
25/04/2019	IBAL S.A ESP	2/07/2020	IBAL S.A ESP
2/05/2019	IBAL S.A ESP	11/08/2020	IBAL S.A ESP
23/05/2019	Acreditado IDEAM	28/09/2020	IBAL S.A ESP
26/06/2019	IBAL S.A ESP	22/10/2020	IBAL S.A ESP
4/07/2019	IBAL S.A ESP	12/11/2020	IBAL S.A ESP
8/08/2019	IBAL S.A ESP	3/12/2020	IBAL S.A ESP
12/09/2019	IBAL S.A ESP	16/12/2020	Acreditado IDEAM
26/09/2019	Acreditado IDEAM	28/01/2021	IBAL S.A ESP
10/10/2019	IBAL S.A ESP	4/02/2021	IBAL S.A ESP
21/11/2019	IBAL S.A ESP	15/03/2021	Acreditado IDEAM
5/12/2019	IBAL S.A ESP	25/03/2021	IBAL S.A ESP

Fecha	laboratorio	Fecha	laboratorio
2/01/2020	IBAL S.A ESP	8/04/2021	IBAL S.A ESP
20/02/2020	IBAL S.A ESP	6/05/2021	IBAL S.A ESP
27/02/2020	Acreditado IDEAM	//	//

Fuente: Propia

3.2 Etapa 2: Toma de Muestras y Caracterización de aguas residuales

Se realizaron 3 muestreos compuestos de 2 horas, siguiendo las recomendaciones o exigencias de la guía IDEAM, la toma de muestra se realizó tanto a la entrada como a la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales PTARD Comfenalco, recolectadas y almacenadas en una nevera portátil para transportarlas al respectivo laboratorio. En la **Tabla 10** se presentan las fechas de los diferentes análisis realizados.

Tabla 10. Fechas de toma de muestras y caracterizaciones

Número de muestra	Fecha
1	25/03/2021
2	8/04/2021
3	6/05/2021

Nota: Las caracterizaciones se realizaron en el lapso de tiempo de las practicas del pasante,

Fuente: Propia

Las caracterizaciones que se realizaron fueron rutinarias, los parámetros analizados se seleccionaron con el fin de evaluar el comportamiento de la planta y para dar respuesta a las exigencias periódicas de la Corporación Autónoma Regional CORTOLIMA. Para las caracterizaciones se utilizaron los equipos del laboratorio de aguas residuales de la empresa IBAL S.A ESP OFICIAL como se observa en la **Tabla 11**.

Tabla 11. Equipos y unidades de medición

Parámetro	Unidades	Equipo
DQO	Mg O ₂ /L	Espectrofotómetro HACH DR20800
DBO	Mg O ₂ /L	Incubadora OxiTop®Box y biometros
pH	Unidades de pH	Multiparámetro Portátil 3630 IDS WTW
Temperatura	°C	Multiparámetro Portátil 3630 IDS WTW
Fosforo	mg/L P	Espectrofotómetro Hach modelo DR3900
Nitrógeno	mg/L N ₂	Espectrofotómetro Hach modelo DR3900
Sulfatos	mg/L SO ₄	Espectrofotómetro Hach modelo DR3900
Nitritos	mg/L NO ₂	Espectrofotómetro Hach modelo DR3900
Nitratos	mg/L NO ₃	Espectrofotómetro Hach modelo DR3900
Nitrógeno amoniacal	mg/L NH ₃	Espectrofotómetro Hach modelo DR3900
SST	mg/L	Filtro Whatman -AH tamaño de retención de partículas de 1.5 Um con bomba de vacío y horno Binder modelo FD56

Nota: La caracterización se realizó por parte del laboratorista encargado, Fuente: propia

También se realizó una caracterización que corresponde al primer cuatrimestre de 2021 por parte de un laboratorio acreditado por el IDEAM. Los resultados se observan en **Anexo 1**.

3.3 Etapa 3: Análisis de resultados

3.3.1 Procesamiento de datos

Consolidación y procesamiento de datos en software estadístico: los datos fueron tabulados y graficados en un archivo de Excel, los cuales permitieron realizar el análisis estadístico básico, que incluyó el cálculo de promedios, valores máximos y valores mínimos, así

como desviaciones estándar y el cálculo de cargas contaminantes el cual se realizó con la

Ecuación 5.

Ecuación 5. Cargas contaminantes

$$Cc = Ci * Q * 0.0864$$

*Nota: Cc= carga contaminante (kg/día), Ci: Concentración del parámetro analizado (mg/L), Q: Caudal analizado (L/s), 0.0864: Factor de conversión (kg*s/mg*día), Fuente (Chernicharo, 2007).*

3.3.2 Cálculo de indicadores y variables de proceso

Para el diagnóstico de la PTARD se tuvieron en cuenta indicadores y variables de proceso que influyen en el rendimiento del sistema, los cuales son:

Biodegradabilidad. Es un indicador del nivel de contaminación del efluente en el reactor y se calculó por medio de su relación (DQO/DBO).

Nutrientes. Son componentes presentes en las aguas residuales domesticas el cual ayudan al crecimiento de los microorganismos. De acuerdo a la relación óptima DQO: N: P 350: 5: 1 se calculó si el agua contenía la cantidad adecuada de nitrógeno (N) y fósforo (P).

3.4 Etapa 4: Planteamiento de alternativas

Para el planteamiento de alternativas se tuvieron en cuenta diferentes aspectos como eficiencia de remociones tanto de DQO, DBO y SST, los resultados de las caracterizaciones a la entrada y salida de la PTARD Comfenalco, los análisis de biodegradabilidad, nutrientes, altura de lodos y tiempos de retención hidráulicos.

Capítulo IV

4 Resultados y análisis

4.1 Identificación de datos históricos

Esta primera etapa consiste en la identificación de datos históricos en la **Tabla 12** se observan los principales insumos recopilados, se solicitó información a la especialista Ruth Elena Salazar - directora del área de tratamiento de aguas residuales, quien facilitó el manual de operación y mantenimiento de la PTARD Comfenalco lo que permitió identificar el funcionamiento y unidades que lo conforman; dentro de estos datos históricos se encontraron las brigadas de limpieza y mantenimiento, información que sustenta el buen estado en el que permanentemente se encuentra la planta. En la **Tabla 13** y **Tabla 14** podemos observar las brigadas que se realizaron durante la vigencia 2019-2020.

Tabla 12. Información recopilada

Insumo	Fuente	Observaciones
Caracterizaciones previas	Reporte de laboratorio IBAL	Años 2019 a 2021. Frecuencia mensual. Muestreo compuesto de 2 horas
	Reportes de laboratorio acreditado por IDEAM	Años 2019 a 2021. Frecuencia cuatrimestral. Muestreo compuesto de 8 horas.
Manuales de operación	IBAL fecha	Operación y mantenimiento
Brigadas de Limpieza	IBAL fecha	Año 2019 a 2020 reportados

Insumo	Fuente	Observaciones
Información complementaria	Operarios y Reconocimiento en campo.	Volumen del reactor, altura de lodos, dimensión de vertederos, tiempos de retención.

Fuente: propia

Tabla 13. Brigadas de Limpieza y Mantenimiento PTARD Comfenalco – Vigencia 2019

PTARD COMFENALCO		
BRIGADA	FECHA	ACTIVIDADES
1	Miércoles 09/01/2019	Desnate de reactores A y B, limpieza de tuberías perforadas de los reactores A y B. y limpieza del canal de aguas tratadas.
2	Miércoles 06/02/2019	Limpieza del preliminar y muros, limpieza tubería quemador y retiro material de las trampas de grasa se requiere motobomba y/o vactor. Sondeo de las llaves de muestreo de lodos de 50 – 100 – 150 y 200 cm de altura, verificar nivel y programar purga de lodos si es necesario, realizar chequeo constante. Verificar tubería.
3	Miércoles 06/03/2019	Limpieza del preliminar y muros, limpieza tubería quemador, Limpieza de área de lechos de secado.
4	Miércoles 10/04/2019	Limpieza del preliminar y muros, limpieza tubería quemador y retiro material de las trampas de grasa. Se requiere motobomba y/o vactor.
5	Miércoles 08/05/2019	Desnate de reactores A y B, limpieza de tuberías perforadas de los reactores A y B. Limpieza del canal de aguas tratadas. Limpieza cámaras de tipo A, B y C, vertederos de 90 y 60, caja de alimentación.
6	Miércoles 05/06/2019	Limpieza del preliminar y muros, limpieza tubería quemador y retiro material de las trampas de grasa. Se requiere motobomba y/o vactor.
7	Miércoles 10/07/2019	Limpieza de lechos de secado en la parte interior, canalizar y limpiar esta área. Canalizar alrededores. Limpieza de pozos y sumideros cercanos. Sondeo de las llaves de muestreo de lodos de 50 – 100 – 150 y 200 cm de altura, verificar nivel y programar

PTARD COMFENALCO		
BRIGADA	FECHA	ACTIVIDADES
		purga de lodos si es necesario.
8	Miércoles 07/08/2019	Limpieza del preliminar y muros, limpieza tubería quemador y retiro material de las trampas de grasa. Se requiere motobomba y/o vactor.
9	Miércoles 04/09/2019	Desnate de reactores A y B, limpieza de tuberías perforadas de los reactores A y B. y limpieza del canal de aguas tratadas. Limpieza cámaras de tipo A, B y C, vertederos de 90 y 60, caja de alimentación.
10	Miércoles 09/10/2019	Limpieza del preliminar y muros, limpieza tubería quemador y retiro material de las trampas de grasa. Se requiere motobomba y/o vactor.
11	Miércoles 06/11/2019	Limpieza de tapas en acero inoxidable, canalizar alrededores y arreglo de cerca exterior, limpieza tubería quemador, limpieza de área de lechos de secado.
12	Miércoles 04/12/2019	Limpieza cámaras de tipo A, B y C, vertederos de 90 y 60, caja de alimentación y retiro material de las trampas de grasa. Se requiere motobomba y/o vactor.

Nota: Las brigadas mencionadas se cumplieron en su totalidad y sus evidencias se enuncian en el Anexo 2.

Tabla 14. Brigadas de Limpieza y Mantenimiento PTARD Comfenalco – Vigencia 2020

PTARD COMFENALCO		
BRIGADA	FECHA	ACTIVIDADES
1	Miércoles 08/01/2020	Desnate de reactores A y B, limpieza de tuberías perforadas de los reactores A y B. y limpieza del canal de aguas tratadas.
2	Miércoles 05/02/2020	Limpieza del preliminar y muros, limpieza tubería quemador y retiro material de las trampas de grasa se requiere motobomba y/o vactor. Sondeo de las llaves de muestreo de lodos de 50 – 100 – 150 y 200 cm de altura, verificar nivel y programar purga de lodos si es necesario, realizar chequeo constante. Verificar tubería.
3	Miércoles 11/03/2020	Limpieza del preliminar y muros, limpieza tubería quemador, Limpieza de área de lechos de secado.

PTARD COMFENALCO		
BRIGADA	FECHA	ACTIVIDADES
4	Miércoles 08/04/2020	Limpieza del preliminar y muros, limpieza tubería quemador y retiro material de las trampas de grasa. Se requiere motobomba y/o vactor.
5	Miércoles 06/05/2020	Desnate de reactores A y B, limpieza de tuberías perforadas de los reactores A y B. Limpieza del canal de aguas tratadas. Limpieza cámaras de tipo A, B y C, vertederos de 90 y 60, caja de alimentación.
6	Miércoles 10/06/2020	Limpieza del preliminar y muros, limpieza tubería quemador y retiro material de las trampas de grasa. Se requiere motobomba y/o vactor.
7	Miércoles 08/07/2020	Limpieza de lechos de secado en la parte interior, canalizar y limpiar esta área. Canalizar alrededores. Limpieza de pozos y sumideros cercanos. Sondeo de las llaves de muestreo de lodos de 50 – 100 – 150 y 200 cm de altura, verificar nivel y programar purga de lodos si es necesario.
8	Miércoles 05/08/2020	Limpieza del preliminar y muros, limpieza tubería quemador y retiro material de las trampas de grasa. Se requiere motobomba y/o vactor.
9	Miércoles 09/09/2020	Desnate de reactores A y B, limpieza de tuberías perforadas de los reactores A y B. y limpieza del canal de aguas tratadas. Limpieza cámaras de tipo A, B y C, vertederos de 90 y 60, caja de alimentación.
10	Miércoles 07/10/2020	Limpieza del preliminar y muros, limpieza tubería quemador y retiro material de las trampas de grasa. Se requiere motobomba y/o vactor.
11	Miércoles 04/11/2020	Limpieza de tapas en acero inoxidable, canalizar alrededores y arreglo de cerca exterior, limpieza tubería quemador, limpieza de área de lechos de secado.
12	Miércoles 09/12/2020	Limpieza cámaras de tipo A, B y C, vertederos de 90 y 60, caja de alimentación y retiro material de las trampas de grasa. Se requiere motobomba y/o vactor.

Nota: Las brigadas mencionadas se cumplieron en su totalidad y sus evidencias se enuncian en el Anexo 3.

De acuerdo con la información presentada se puede observar que esta PTARD realiza las brigadas de mantenimiento y limpieza mensualmente a cada una de las unidades principales del proceso, evitando así taponamientos, mal estado de la planta y el deterioro de los equipos.

4.2 Análisis de identificación de datos históricos y caracterizaciones previas

Se realizó el análisis del comportamiento de la planta, teniendo en cuenta los parámetros de interés (temperatura, pH, DBO₅, DQO y SST) contenidos en las caracterizaciones históricas y previas, realizados por los laboratorios IBAL S.A y en el laboratorio acreditado por IDEAM. Los resultados se compararon con los niveles máximos permisibles reportados en la Resolución 0631 de 2015, Capítulo 5, Artículo 8, Aguas residuales domésticas – ARD y de las aguas residuales (ARD - ARnD) para prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales, con una carga menor o igual a 625.00 kg/día DBO₅. Los parámetros que se compararon son:

Tabla 15. Análisis estadístico de caracterizaciones

Parámetro		Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar
Temperatura (°C)	E	21,9	27,4	24,4	1,4
	S	21,9	27,3	24,4	1,4
Caudal (L/s)	E	79	11,9	10,1	0,7
	S	7,9	11,6	9,8	0,7
pH	E	6,8	8,5	8,0	0,5
	S	6,7	7,8	7,0	0,2
SST (mg/L)	E	141,0	753,0	354,5	152,3
	S	10,0	100,0	36,1	19,9

Parámetro		Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar
	E	248,0	1250,0	657,6	239,4
DBO ₅ (mg/L)	S	60,0	230,0	131,6	38,5
	E	497,0	1441,0	981,0	277,4
DQO (mg/L)	S	95,0	391,0	234,2	60,7

Nota: Fuente (Propia), las caracterizaciones se realizaron en vigencia enero 2019 a mayo 2021, las siglas E: entrada, S: salida.

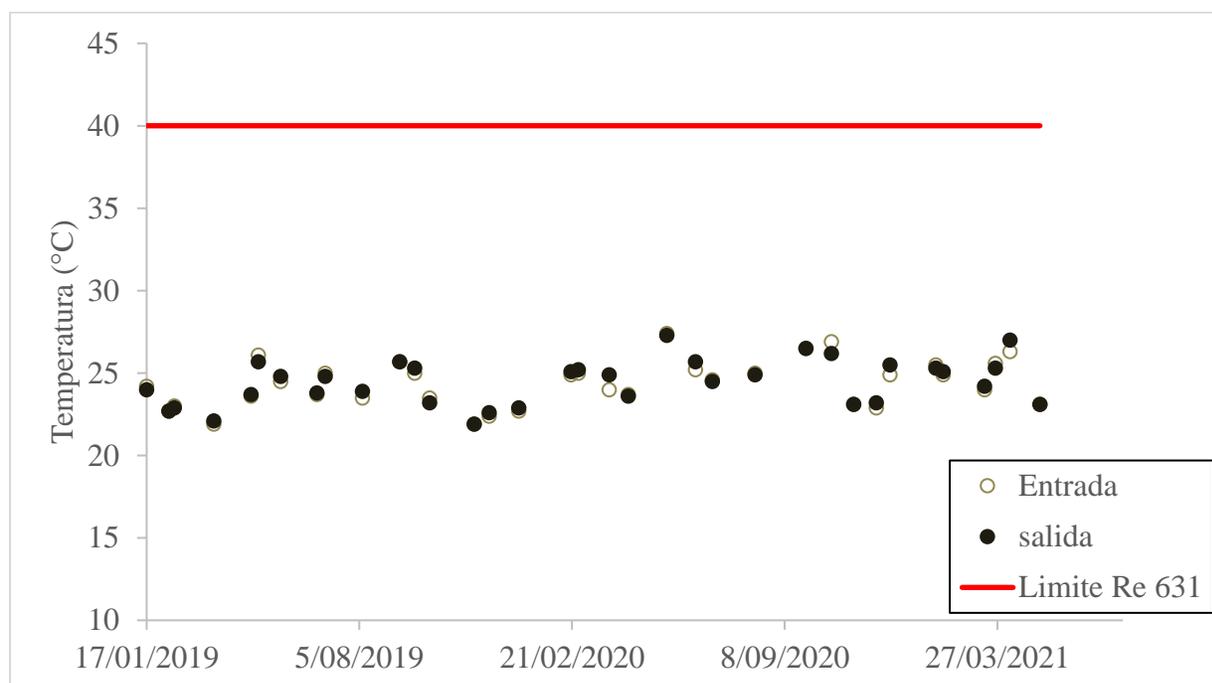
4.2.1 Temperatura

De acuerdo a la Resolución 0631 de 2015 se especifica que, para los vertimientos puntuales de aguas residuales en cuerpo de aguas superficiales, tendrán como límite máximo permitido para el parámetro de temperatura, 40° C; el comportamiento de este parámetro a la entrada y a la salida durante la vigencia 2019-2021 cumple en todas las caracterizaciones realizadas con la normatividad vigente ver **Figura 13**, no se observan variaciones de temperatura lo cual es favorable, ya que los tratamientos anaerobios son altamente sensibles a cambios de temperatura, los cuales afectan la actividad microbiana (Fernández - Polanco & Seghezze, 2015). A continuación, se presenta una gráfica detallada de los datos correspondiente a temperatura.

Para tratamientos anaerobios la temperatura es uno de los factores físicos más importantes, ya que altera la vida acuática, modifica la velocidad de las reacciones, afecta la actividad bacteriana y el diseño del reactor; según (Chernicharo, 2007; Pineda, 2017) el rango óptimo de temperatura es de 32 °C en la cual se encuentra la mayor velocidad de crecimiento bacteriano, esta influye en factores de diseño como el tiempo de retención hidráulico (TRH), a

menor temperatura el TRH aumenta. En la **Tabla 6** se observa tiempos óptimos de retención hidráulica, dependiendo de su temperatura.

Figura 13. Temperatura de entrada y salida vigencia 2019-2021



Fuente: propia

En la planta de tratamiento de aguas residuales Comfenalco se obtuvo un promedio de temperatura de 24,4 °C para la entrada y salida del sistema, este promedio no se encuentra dentro de los rangos óptimos establecidos para obtener mejores eficiencias, pues debería estar en 32 a 34 °C.

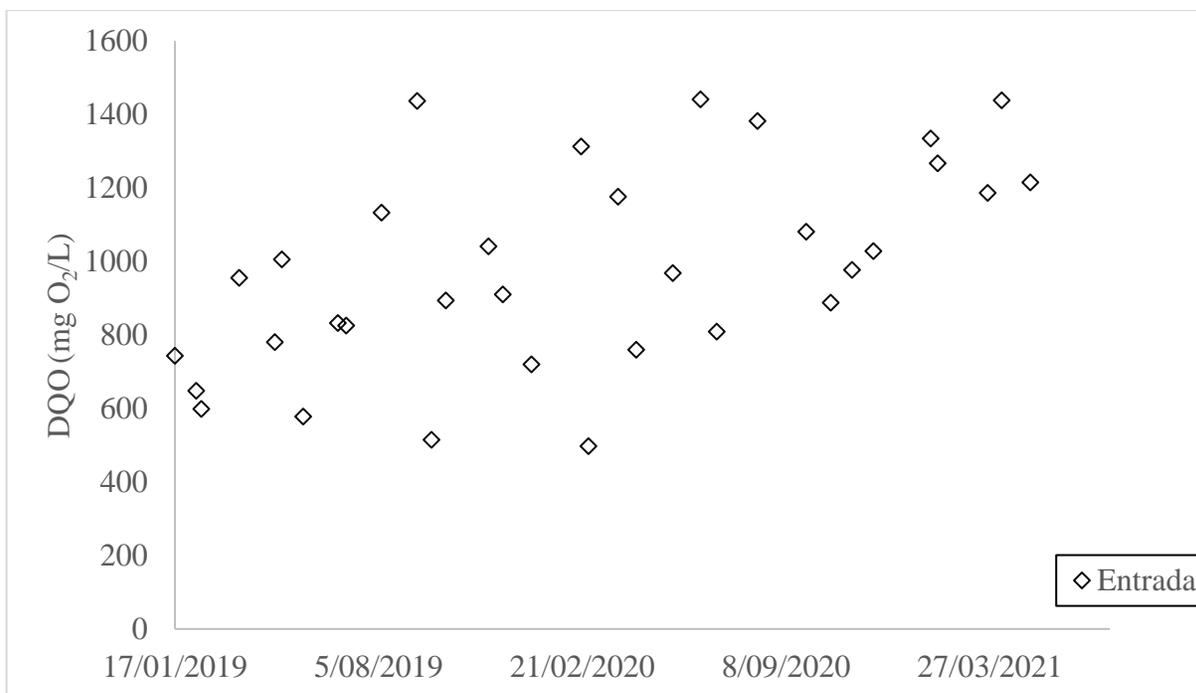
Como se mencionó anteriormente los reactores UASB de la PTARD Comfenalco tienen un tiempo de retención hidráulica de 4,6 h y de acuerdo a su temperatura promedio debería estar en un rango de 6 a 9 h para caudales promedio, dando incumplimiento al factor de TRH.

En los datos tratados se evidencia disminución del pH entre la entrada y la salida, creando un comportamiento usual de los tratamientos anaerobios balanceados, inicialmente decrecerá debido a que los ácidos volátiles son convertidos a metano y dióxido de carbono; sin embargo, la alcalinidad producida en el proceso proporciona un amortiguamiento (CONAGUA, 2019).

4.2.3 Demanda química de oxígeno (DQO)

Para el parámetro de DQO se caracterizó la entrada y salida de la planta de tratamiento de aguas residuales Comfenalco, en la **Figura 15** se observa el comportamiento de este parámetro a la entrada de la PTARD, presentando altos niveles de DQO y una gran dispersión de los datos. Los datos más bajos corresponden a las caracterizaciones realizadas por parte de laboratorio acreditado por el IDEAM.

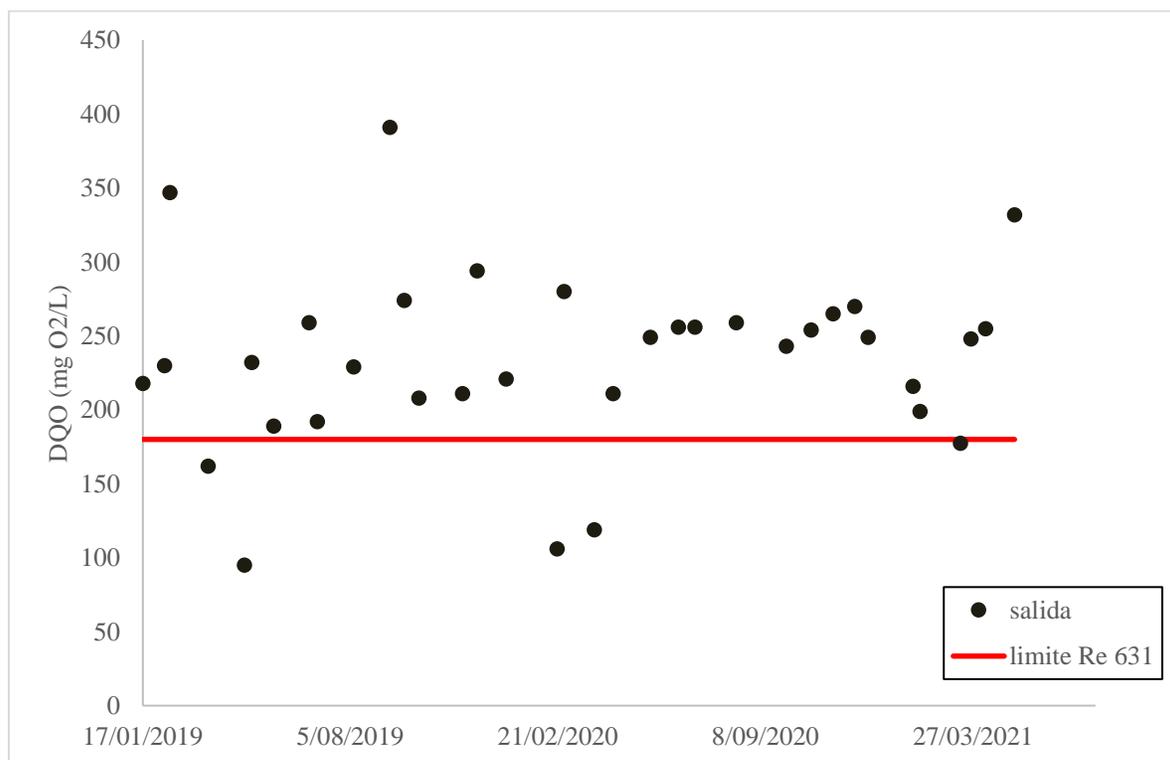
Figura 15. Demanda química de oxígeno, entrada PTARD Comfenalco vigencia 2019-2021



Fuente: propia

La resolución 0631 de 2015 establece un límite máximo permisible, para vertimientos de prestadores de servicios de alcantarillado, de 180 mg O₂/L, La PTARD Comfenalco durante su vigencia 2019-2021 cumplió con la normatividad vigente solo en cinco caracterizaciones de 35 analizadas, con un cumplimiento del 14,3 ver **Figura 16**. El promedio de salida es de 234,2 mg O₂/L.

Figura 16. Demanda química de oxígeno, salida PTARD Comfenalco vigencia 2019-2021



Fuente: propia

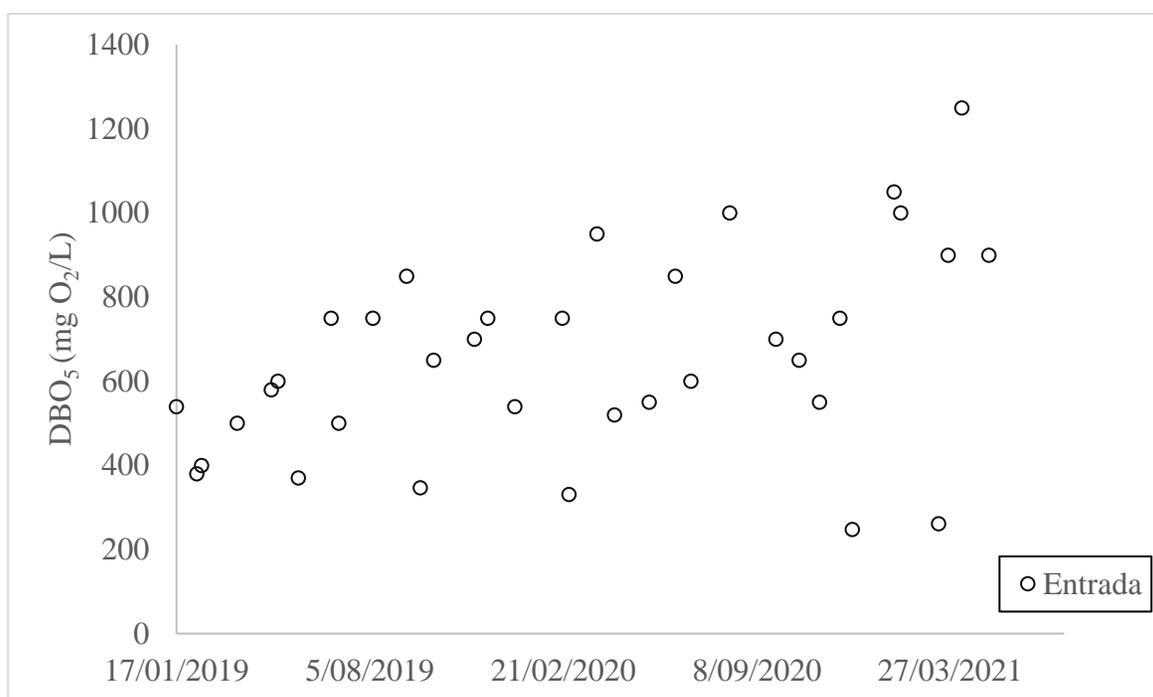
4.2.4 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)

Este parámetro se midió a la entrada y salida de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas Comfenalco durante la vigencia 2019-2021, en la **Figura 17** se observa el

comportamiento disperso y alto que tiene el DBO₅ a la entrada de la PTARD, con un promedio de entrada de 657,6 mg O₂/L, un mínimo de 248 mg O₂/L el 16/12/2020 y un máximo de 1250 mg O₂/L el 8/04/2021, estos datos de entrada tuvieron una desviación estándar de 239,4 ver

Tabla 15.

Figura 17. Demanda Bioquímica de oxígeno, entrada PTARD Comfenalco 2019-2021

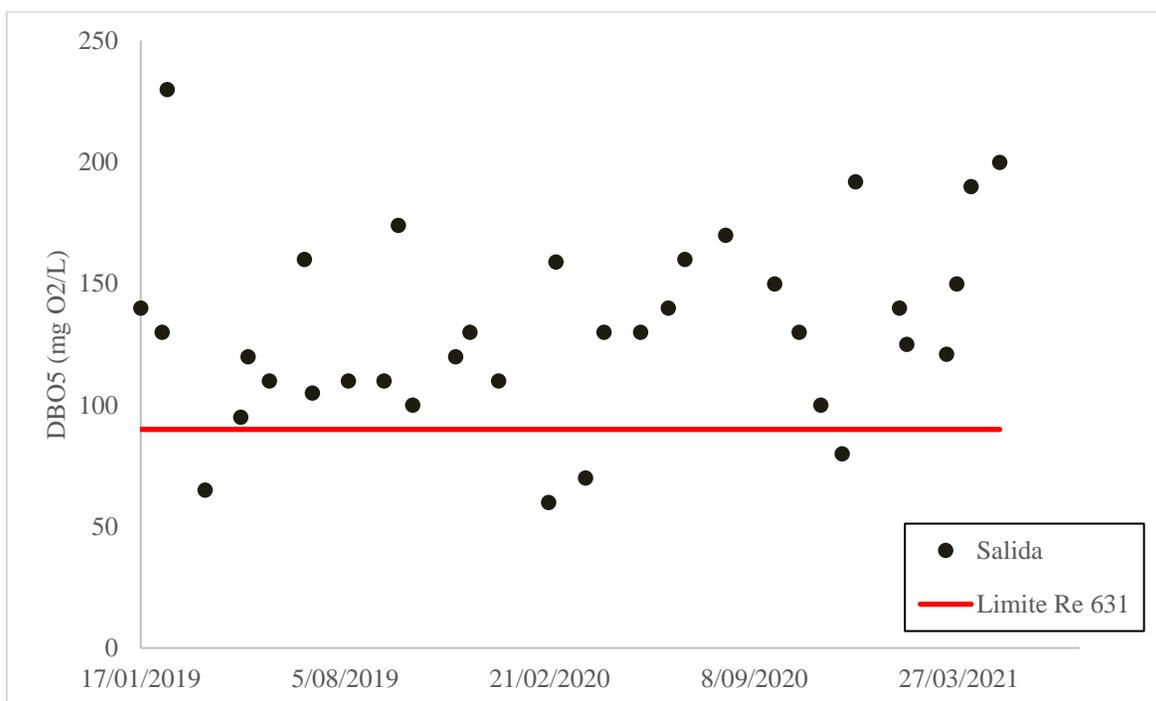


Fuente: propia

La resolución 0631 de 2015 para vertimientos puntuales, tiene como límite máximo permitido de 90 mg O₂/L. En la **Figura 18** se observa el comportamiento de la salida de DBO₅, solamente 4 caracterizaciones de las 35 que se analizaron estaban por debajo del límite con un porcentaje de 11,4 %, por lo que el 88,6 % de las caracterizaciones no cumplen con la normatividad de vertimientos. Comparando los datos de entrada y salida el comportamiento del

DBO₅ presenta una disminución con un valor de 38,5 considerado un nivel muy alto, también presentan un valor máximo de 230,0 mg O₂/L el 12/02/2019, un valor mínimo de 60 mg O₂/L el 20/02/2020 y un promedio alto de 131 mg O₂/L.

Figura 18. Demanda Bioquímica de oxígeno, salida PTARD Comfenalco vigencia 2019-2021



Fuente: propia

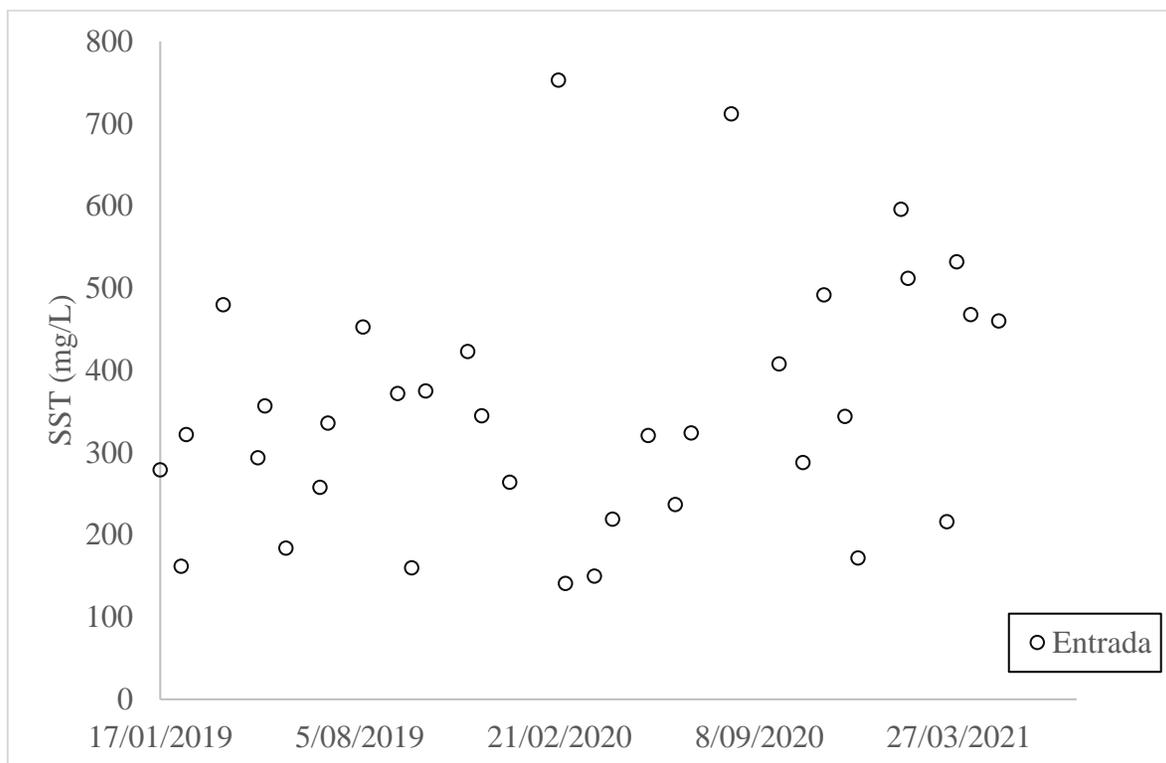
4.2.5 Sólidos suspendidos totales

Otro parámetro importante para tener control de la eficiencia sobre el proceso, son los sólidos suspendidos totales (SST), estos se miden a la entrada y a la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas Comfenalco, en la **Figura 19** se observa el comportamiento de la entrada de SST durante la vigencia 2019-2021, presenta valores dispersos teniendo una desviación estándar de 152,3 considerado un valor alto, con un promedio de 354,5 mg/L

variando desde el mínimo con un valor de 141 mg/L y un valor máximo de 753,0 mg/L ver

Tabla 15.

Figura 19. *Sólidos suspendidos totales, entrada PTARD Comfenalco vigencia 2019-2021*



Fuente: propia

Según la Resolución 0631 de 2015 los sólidos suspendidos totales a la salida, tienen un límite máximo permisible de 90 mg/L, en la **Figura 20** se puede observar que un 94,3 % de las caracterizaciones cumplen con la normatividad vigente. En la **Tabla 15** presenta un promedio de 36,1 mg/L, un mínimo de 10 mg/L y un valor máximo de 100 mg/L, teniendo una disminución en la desviación estándar en comparación con la entrada de SST con un valor de 19,9.

El laboratorio IBAL S.A, realiza el muestreo compuesto de dos horas, a las 6:00 am a 8:00 am, horas con mayor descarga contaminante del día, generando altos porcentajes de remoción para DQO, DBO₅ y SST. Los porcentajes de remoción de las caracterizaciones realizadas por parte del laboratorio acreditado IDEAM, fueron más bajos debido a que su metodología de muestreo compuesto, consiste en recolectar una muestra durante 8 horas seguidas, dando mayor confiabilidad en los datos y permitiendo ver una marcada diferencia entre los datos.

Tabla 16. Cargas Contaminantes y Remociones realizados por laboratorios IBAL S.A y acreditado IDEAM vigencia 2019-2021.

Fecha	CC DBO (kg DBO/día)			CC SST (kg SST/día)			CC DQO (kg DQO/día)		
	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R
17/01/2019	416,2	104,3	74,95	215,0	17,9	91,69	572,6	162,4	71,65
7/02/2019	295,2	97,9	66,82	125,8	14,3	88,62	503,3	173,3	65,57
12/02/2019	359,7	206,87	42,49	289,6	83,6	71,12	538,7	312,1	42,06
21/03/2019	432,9	55,1	87,26	415,5	18,7	95,51	826,8	137,4	83,38
25/04/2019	519,7	83,5	83,94	263,4	24,6	90,66	698,9	83,5	88,06
2/05/2019	487,3	96,5	80,19	289,9	25,7	91,12	816,2	186,6	77,14
23/05/2019	250,9	74,96	70,13	124,8	28,6	77,04	392,0	128,8	67,15
26/06/2019	630,5	131,5	79,15	216,9	36,2	83,33	699,4	212,8	69,57
4/07/2019	452,7	93,5	79,34	304,2	18,7	93,85	747,0	171,0	77,10
8/08/2019	603,9	86,3	85,71	364,8	24,3	93,33	912,3	179,7	80,31
12/09/2019	741,7	93,7	87,37	324,6	22,1	93,18	1253,1	333,1	73,42
26/09/2019	355,2	173,7	51,09	163,8	50,9	68,91	527,2	273,5	48,11
10/10/2019	550,9	83,4	84,87	317,8	17,5	94,49	757,7	173,4	77,11

Fecha	CC DBO (kg DBO/día)			CC SST (kg SST/día)			CC DQO (kg DQO/día)		
	E	S	%R	E	S	%R	E	S	%R
21/11/2019	586,1	97,6	83,35	354,1	17,9	94,95	871,5	171,5	80,32
5/12/2019	660,3	111,4	83,13	303,7	24,9	91,82	801,2	252,0	68,55
2/01/2020	439,5	86,6	80,30	214,9	19,7	90,84	586,0	173,9	70,32
20/02/2020	640,9	50,2	92,16	643,4	22,6	96,49	1122,0	88,7	92,09
27/02/2020	272,8	128,7	52,8	116,2	34,0	70,74	409,7	226,7	44,67
27/03/2020	783,0	56,1	92,83	123,6	31,3	74,71	969,3	95,4	90,16
14/04/2020	453,8	112,1	75,30	191,1	20,7	89,17	663,2	181,9	72,57
20/05/2020	473,8	109,8	76,81	276,5	26,2	90,53	833,8	210,4	74,77
16/06/2020	773,3	118,3	84,70	215,6	8,4	96,08	1311,0	216,3	83,50
2/07/2020	551,6	143,1	74,06	297,9	36,7	87,69	743,7	228,9	69,22
11/08/2020	972,0	149,5	84,62	692,1	37,8	94,54	1343,3	227,8	83,04
28/09/2020	644,1	135,2	79,01	375,4	25,2	93,28	994,7	219,0	77,99
22/10/2020	581,3	113,2	80,52	257,5	27,9	89,18	794,1	221,2	72,14
12/11/2020	515,1	91,1	82,32	460,8	36,4	92,09	915,0	241,3	73,63
3/12/2020	686,9	71,5	89,59	315,0	34,8	88,94	941,5	241,2	74,38
16/12/2020	219,0	165,6	24,4	151,9	70,7	53,4	//	215,2	//
28/01/2021	932,6	121,9	86,93	529,4	16,5	96,87	1184,8	188,1	84,12
4/02/2021	863,1	106,1	87,71	441,9	15,3	96,54	1093,6	168,8	84,56
15/03/2021	256,2	115,9	54,7	212,0	95,8	54,8	//	177	//
25/03/2021	757,4	123,8	83,66	447,7	42,1	90,60	998,1	204,6	79,50
8/04/2021	1103	164,3	85,11	413,2	30,3	92,52	1269,8	220,5	82,63
6/05/2021	803,3	175,2	78,19	410,6	28,0	93,04	1084,4	290,9	73,18

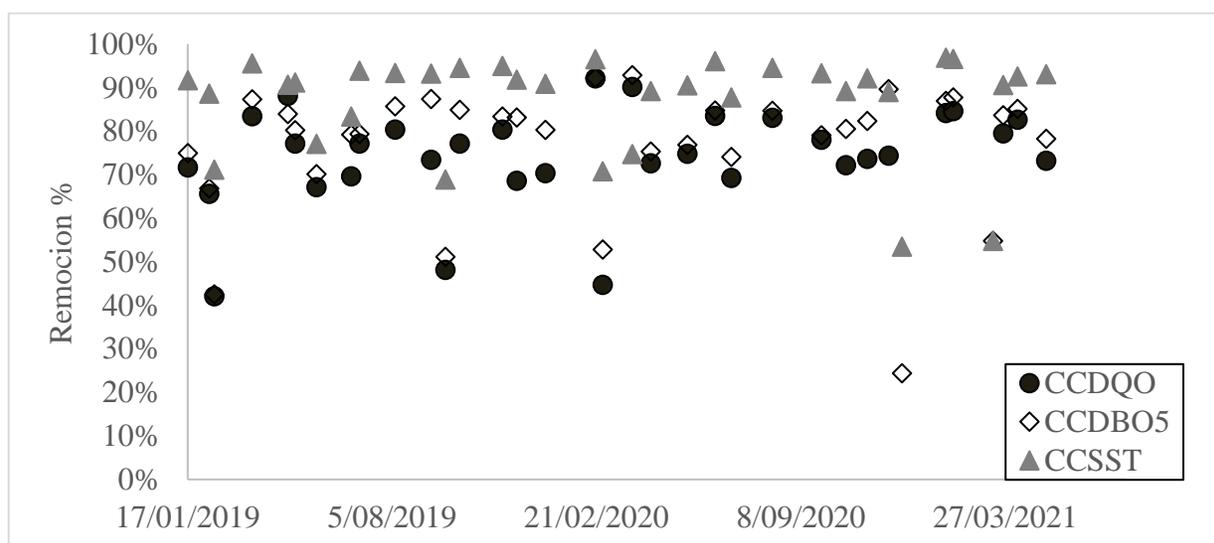
Nota: Las siglas E- Entrada, S- Salida y %R- Porcentaje de remoción. Fuente(propia).

En la **Figura 21** se observa los porcentajes de remoción de los parámetros DQO, DBO₅ y SST, estos presentaron gran variabilidad de los datos, debido posiblemente a la metodología de

toma de muestra. Para el parámetro de DBO se obtuvo un porcentaje de remoción promedio de 79%, con un valor mínimo de 24,4 % en la fecha 16/12/2020 con el laboratorio acreditado IDEAM y un máximo de 98,83% en 20/02/2020 con el laboratorio del IBAL S.A, con una desviación estándar de 13,6.

Para el parámetro de DQO se observaron porcentajes de remociones altos, con un promedio de 77,58 %, teniendo una disminución en la desviación estándar en comparación con el DBO con un valor de 6,77, se presentó un máximo de 92,09 % y un mínimo de 65,57 %, por último el parámetro de SST tuvo la mejor correlación de los datos con una desviación estándar de 4,4, esta tuvo un promedio de 91,5 % donde la mayoría de los datos son porcentajes de remoción altos los cuales indican un buen funcionamiento de la planta respecto a la remoción de SST, este factor presento un máximo de 96% y un mínimo de 74%.

Figura 21. Porcentajes de remoción PTARD Comfenalco vigencia 2019-2021



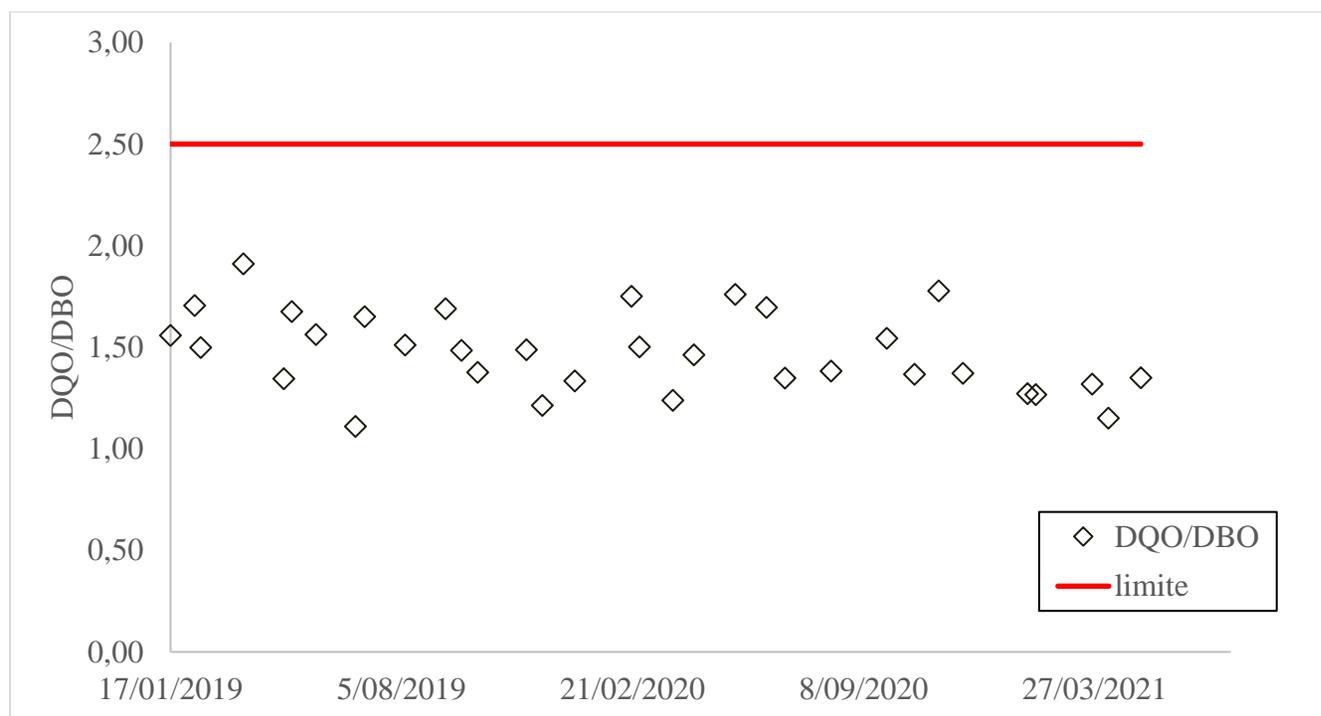
Nota: Las siglas CCDQO: carga contaminante demanda química de oxígeno, CCDBO5: carga contaminante demanda bioquímica de oxígeno y CCSST: carga contaminante solidos suspendidos totales. Fuente (propia).

4.3 Indicadores y variables de proceso

4.3.1 Biodegradabilidad

La biodegradabilidad se mide por medio de la relación DQO/DBO, nos indica las características de biodegradabilidad de la materia orgánica identificada. Todos los datos que se tomaron dieron valores $< 2,5$, indicando que es un sistema biodegradable, que provienen de aguas residuales las cuales pueden ser tratadas por plantas de tratamientos biológicos. ver **Figura 22**.

Figura 22. Biodegradabilidad PTARD Comfenalco vigencia 2019-2021.



Nota. Fuente: propia

4.3.2 Nutrientes

Se calcularon las cargas contaminantes de DQO, P y N total utilizando la ecuación 5, los resultados de las cargas se observan en la **Tabla 17**. En el comportamiento de los nutrientes de la vigencia 2019-2021 se evidencia que la cantidad de nutrientes es mucho mayor que la óptima reportada anteriormente con una relación de DQO/N/P (350/5/1), y además no se tiene un reporte de la cantidad de microorganismos que hay en el reactor UASB lo cual generaría inhibiciones si la cantidad de microorganismos son bajos (Chernicharo, 2007; Ibáñez & Bautista, 2018).

Tabla 17. Carga de Nutrientes en la PTARD Comfenalco vigencia 2019-2021

Fecha	CCDQO	CCPT	CCNT	Fecha	CCDQO	CCPT	CCNT
17/01/2019	572,6	//	97,9	27/03/2020	969,3	//	//
7/02/2019	503,3	//	53,6	14/04/2020	663,2	//	//
12/02/2019	538,8	4,9	54,1	20/05/2020	833,8	//	//
21/03/2019	826,8	//	129,0	16/06/2020	1311,0	28,8	74,1
25/04/2019	698,9	//	//	2/07/2020	743,7	31,3	55,6
2/05/2019	816,2	//	103,1	11/08/2020	1343,3	30,9	92,9
23/05/2019	392,0	3,2	38,4	28/09/2020	994,7	12,0	98,6
26/06/2019	699,4	//	84,1	22/10/2020	794,1	18,1	72,5
4/07/2019	747,0	//	125,0	12/11/2020	915,0	28,8	99,3
8/08/2019	912,3	//	132,9	3/12/2020	941,5	34,3	70,5
12/09/2019	1253,1	//	147,5	16/12/2020	//	//	//
26/09/2019	527,3	4,1	84,1	28/01/2021	1184,8	28,2	90,6

Fecha	CCDQO	CCPT	CCNT	Fecha	CCDQO	CCPT	CCNT
10/10/2019	757,7	//	122,9	4/02/2021	1093,6	33,3	88,0
21/11/2019	871,5	26,8	69,5	15/03/2021	//	//	//
5/12/2019	801,2	24,2	105,6	25/03/2021	998,1	24,9	73,2
2/01/2020	586,0	19,1	56,2	8/04/2021	1269,8	38,8	96,2
20/02/2020	1122,0	31,8	51,1	6/05/2021	1084,4	28,0	95,5
27/02/2020	409,7	3,1	61,5	//	//	//	//

Nota: Las siglas CCDQO: carga contaminante demanda química de oxígeno, CCPT: carga contaminante Fosforo total y CCNT: carga contaminante Nitrógeno total. Fuente (propia).

4.4 Comentarios finales al diagnóstico actual de la PTARD Comfenalco.

A través del desarrollo de este capítulo se evidenciaron ciertos factores que afectaban notoriamente el tratamiento del agua en la PTARD Comfenalco, lo que se evidencia en el análisis de identificación de datos históricos y caracterizaciones previas, por lo que se concluye que la planta de tratamiento no cumple en su totalidad con las condiciones de descarga de agua residual al alcantarillado en los parámetros de DBO₅, DQO y SST.

- El afluente presenta una gran variación de la carga contaminante, por lo que no se presenta una concentración uniforme de los parámetros de DBO₅ y DQO, lo que genera problemas en el proceso, análisis de datos y su confiabilidad.
- El reactor UASB no cumplen con el tiempo de retención hidráulico óptimo dado por la literatura especializada (Chernicharo, 2007), lo cual puede ser una problemática para la

eficiencia del proceso. Esta es una de las causas principales, por la cual no alcanza a remover la cantidad contaminante requerida por la normatividad de vertimientos vigente.

- La PTARD Comfenalco no cuenta con un control de la cantidad y actividad microbiana, ya que, al no conocer estos factores, si estos se encuentran en baja cantidad y calidad afecta directamente en el buen funcionamiento y eficiencia de la planta, en el **Anexo 4** se presenta un instructivo de la prueba de SSV y el IVL.
- Otro de los problemas que se observan en la PTAR es la falta de operaciones posteriores al tratamiento secundario, sin mencionar la falta de tanque de homogenización en el pretratamiento para garantizar unos parámetros que cumplan con la normatividad de vertimientos vigentes, la cual es la Resolución 0631 de 2015
- La empresa no cumple en su totalidad con los parámetros que exige la normatividad ambiental. El caso más significativo es el DBO y DQO, por lo que se genera un impacto ambiental no solo en la empresa si no en el área localizada de Comfenalco.

Cabe recalcar que la empresa IBAL S.A OFICIAL cuenta con el interés para poder mejorar la operación, el estado de la planta y el poder cumplir en su totalidad con la normatividad vigente al permitir desarrollar este proyecto de grado.

4.5 Alternativas de mejoramiento

Esta sección pretende plantear una serie de recomendaciones con el fin de mejorar las condiciones del efluente y las características de continuidad, para lo cual se plantean dos grupos de alternativas. El primer grupo de alternativas y recomendaciones, son las operativas, que se ejecutan en un corto y mediano plazo sin involucrar un consumo o una inversión muy alta. El segundo grupo de alternativas y recomendaciones, son las de infraestructura que se ejecutan a un largo plazo involucrando una inversión más alta.

4.5.1 Alternativas y recomendaciones operativas a corto y mediano plazo

4.5.1.1 Alternativa 1. Control y seguimiento al reactor UASB:

Se recomienda realizar una caracterización de los lodos que se enfoque en su actividad microbiológica, para tener un seguimiento a los lodos anaerobios, mediante un conjunto de técnicas que permitan obtener un completo perfil de los lodos en el reactor UASB. Como se observa anteriormente en el marco referencial, los principales indicadores y parámetros de control de un reactor UASB son: biodegradabilidad, nutrientes, actividad metanogénica específica, índice volumétrico de lodos (IVL) y sólidos volátiles.

Según el libro de referencia (Chernicharo, 2007), es ideal tener un control de la masa microbiana que está presente en el reactor, la cual influye en el buen funcionamiento y eficiencia. Un estimado de esta concentración puede realizarse con la determinación del contenido de sólidos volátiles en el manto de lodos de forma periódica. También se recomienda la evaluación de actividad microbiana, por medio del test de actividad metanogénica específica (AME), teniendo en cuenta principalmente las arqueas metanogénicas, para que la biomasa pueda ser preservada y monitoreada.

Para tener un buen control y monitoreo de lodos la empresa IBAL podría realizar convenios con universidades cercanas o centros de investigación, con el fin de explorar o generar proyectos de pasantes, proyectos de investigación o asesoramiento para ensayos tales como: mejoramiento de la actividad microbiana, selección y activación de lodos anaerobios, alternativas de manejo de lodo, generación de biogás más eficientes, mejoramiento de la sedimentabilidad, etc., considerando los indicadores y parámetros anteriormente mencionados.

4.5.1.2 Alternativa 2. Actividades operativas rutinarias

Se recomienda realizar actividades periódicas el cual eviten problemas y poder generar mayor eficiencia en los reactores UASB, mediante actividades como:

- Revisión de burbujeo, con el fin de inspeccionar visualmente la generación de biogás en cada reactor.
- Medición de caudal en todas las unidades del proceso, teniendo en cuenta la entrada y salida, con el fin de identificar retenciones de caudales u obstrucciones.
- Determinar los porcentajes de remoción en cada unidad del sistema, para evitar mal funcionamiento y posteriormente tomar las medidas necesarias.
- Toma de muestras compuestas más amplia siguiendo la metodología planteada por IDEAM, es recomendable realizar el muestreo compuesto por más tiempo entre 4 a 8 horas, teniendo en cuenta el tiempo de retención hidráulica del reactor para obtener mayor confiabilidad en los datos.

- Monitoreo periódico de altura de lodos. Esta inspección es una de las herramientas principales del operador para tener un buen control del reactor, es recomendable revisar el nivel del lodo una vez por semana, cuando la altura del lodo es muy alta tiende a que el lodo se lave, generando bajas eficiencias, por otro lado, cuando la altura del lodo es muy baja los porcentajes de remoción también son bajos. La cantidad de lodo en el reactor es manipulada mediante una descarga regular, es recomendable hacer la purga de lodos cuando este alcance el nivel inferior de la campana (CONAGUA, 2007; Lopera, 2010).

4.5.2 Alternativas y recomendaciones de infraestructura a largo plazo

Se plantea la instalación de infraestructura con el fin de mejorar la eficiencia del proceso anaerobio, estas se dividieron en infraestructura de pretratamiento e infraestructura de postratamiento.

4.5.3 Alternativa 3. Infraestructura pretratamiento

Se plantea la instalación de un tanque de homogenización con el fin de amortiguar los cambios bruscos de caudal y de contaminantes, los cuales afectarían el funcionamiento del posterior sistema de tratamiento (Bravo & Henao, 2016).

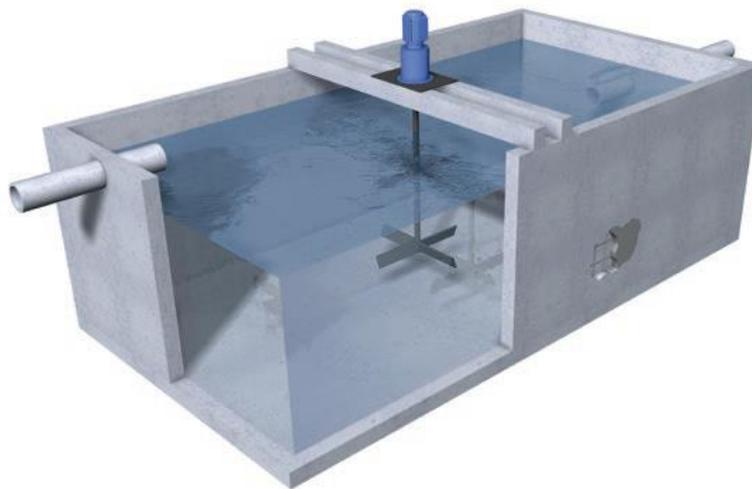
Estos tanques regulan las características de la carga orgánica, evitando en los procesos biológicos sobrecargas, afectando directamente la actividad y crecimiento de los microorganismos (Pérez, 2020). Estos tanques presentan ciertas ventajas y desventajas las cuales se observan en la **Tabla 18**.

Tabla 18. *Ventajas y desventajas del tanque de homogenización*

Ventajas	Desventajas
Aumenta características de tratabilidad	
Elimina cargas bruscas	Requiere de una ampliación de terreno para su implementación.
Alta dilución de inhibidores	
Estabilización de parámetros	
Mejora el control de dosificación de reactivos	
Mejora el espesamiento de los lodos	Requiere motor de agitación
Mejora tratamiento biológico	

Fuente: (Bravo & Henao, 2016; Centro de capacitación Bepensa, 2015)

Habitualmente los tratamientos secundarios trabajan con tanques y lagunas, estas obtienen un óptimo proceso con un flujo de entrada continuo y homogéneo, para no generar estrés químico. El esquema de un tanque de homogenización se observa en la **Figura 23**.

Figura 23. *Esquema tanque de homogenización.*

Fuente: (BASF, 2018).

4.5.4 Alternativa 4. Infraestructura postratamiento

A pesar de que el sistema está operando con porcentajes de remoción que están muy cerca de los sistemas convencionales, los reactores UASB apenas cumplen con los estándares de descarga establecidos por agencias ambientales, por lo que requieren de una etapa de postratamiento o pulimiento, para completar la remoción de material orgánico, remoción de nutrientes y organismos patógenos, dando cumplimiento a la legislación (Chernicharo, 2007). Algunas alternativas que se ajustan a este tipo de reactores son:

4.5.4.1 Alternativa 4.1. infraestructura postratamiento filtro anaerobio

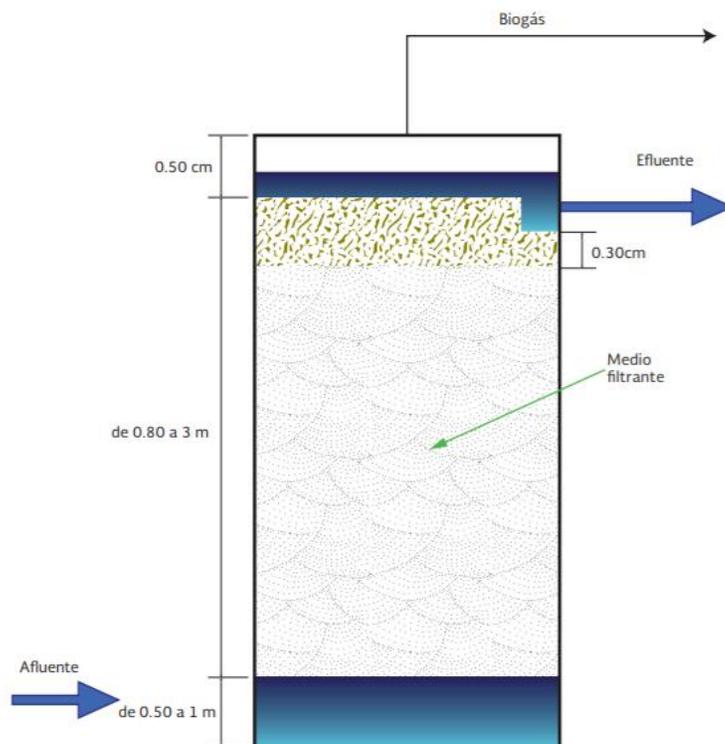
Instalar un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), uno de los postratamientos más utilizados en tratamiento de aguas residuales. En la **Figura 25** se observa filtros FAFA adecuado a escala real y en la **Figura 24** se observa el esquema de un filtro FAFA, los cuales se caracterizan de tener los microorganismos adheridos o soportados en un material de empaque estacionario. Estos sistemas presentan buenos rendimientos debido a elevados tiempos de permanencia de los microorganismos, con porcentaje de remoción aproximados de 60-80 % para DQO y DBO₅ (Chernicharo, 2007; CONAGUA, 2015).

Figura 24. Filtro FAFA adecuado a escala real.



Nota: Filtros FAFA en serie en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domesticas del Municipio de Timaná en el Departamento del Huila. Fuente (Ruiz, 2013)

Figura 25. Esquema de filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)



Fuente: (CONAGUA, 2015)

Estos filtros trabajan con un flujo vertical ascendente, están constituidos por un tanque o columna, que es alimentado por la parte inferior la cual fluye a través de un medio soportado donde tiene contacto con los microorganismos y es descargada por la parte superior. Esto genera tiempos de retención celular muy altos y tiempos de retención hidráulica más cortos, el cual influye en una mejor eficiencia de estos, (Batero & Cruz, 2007). Las ventajas y desventajas de los FAFA se pueden observar en la **Tabla 19**.

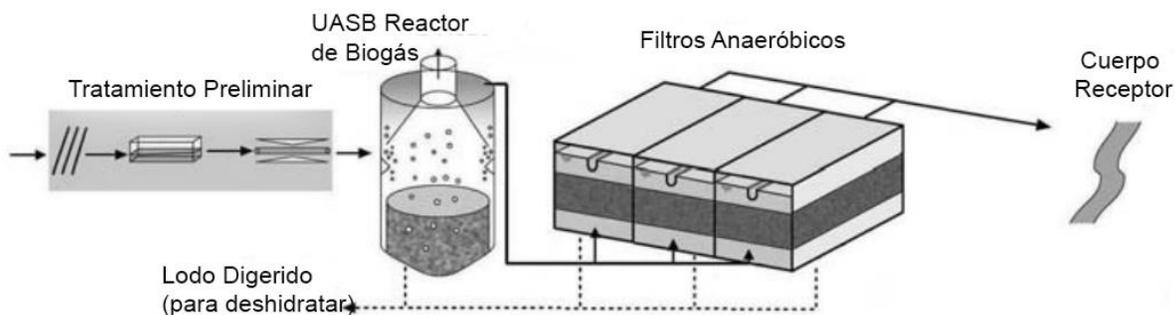
Tabla 19. *Ventajas y desventajas de los FAFA*

Ventajas	Desventajas
No requieren de energía eléctrica	Requiere diseño y construcción por expertos
Bajo costos de operación	Remover el material del filtro manualmente
Alta reducción de DBO y DQO	Alto riesgo de obstrucción de los tratamientos anteriores
Baja producción de lodo	Baja reducción de patógenos y nutrientes
Necesita un tamaño de terreno relativamente bajo (se puede construir bajo tierra)	

Fuente: (Tilley et al., 2018).

Los filtros anaerobios de flujo ascendente se presentan de forma rectangular y cilíndrica, siendo el rectangular el más utilizado en las plantas de tratamiento de aguas residuales. los reactores UASB seguidos de filtros anaeróbicos representan una configuración simple ver **Figura 26**, además del tratamiento preliminar.

Figura 26. Configuración típica de un reactor UASB más filtro FAFA



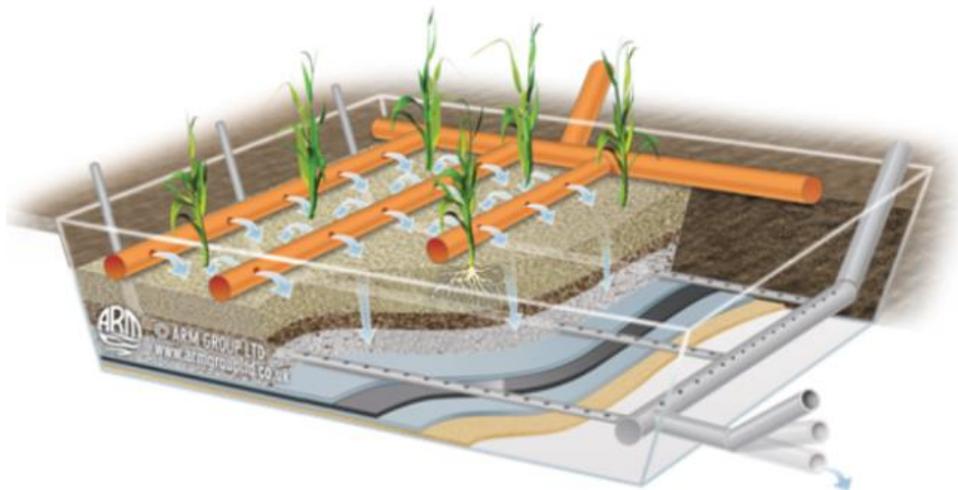
Fuente: (Chernicharo, 2007).

4.5.4.2 Alternativa 4.2. infraestructura postratamiento humedales.

Implementar un humedal como unidad de postratamiento de los efluentes del reactor UASB, es una técnica antigua muy utilizada, en la cual se logra la eliminación de sustancias contaminantes presentes en las aguas residuales, empleando procesos naturales sin adición de químicos y sin un gasto elevado de energía (Ibáñez & Bautista, 2018). En la **Figura 27** se observa el esquema de un humedal y en la **Figura 28** se observa un humedal a escala real en una PTAR.

Este método trabaja con un efluente que fluye hacia abajo por una serie de vegetación, esta tiene un grado de inclinación para que pueda fluir fácilmente, el agua residual que no se absorbe ni se evapora, es recogida por la parte inferior del humedal. Las eficiencias de remoción esperadas por este tipo de método para los diferentes parámetros de interés son: SST 80-90 %, DBO₅ 80-90 %, nitrógeno 30-50% y fosforo entre 25-35 %.

Figura 27. Esquema de un humedal de artificial



Fuente (Ecolagunas, 2021)

Existen diferentes tipos de humedales artificiales en función del sentido de circulación del agua, están los superficial en la que el agua circula por encima del sustrato y están los subsuperficial en los cuales el agua circula a través del sustrato, este se divide en flujo vertical intermitente y flujo horizontal continuo que dependen de las especificaciones del agua residual a tratar (iAgua, 2013).

En esta técnica también se clasifican en función de su zona de vegetación, pueden ser fangales, zonas pantanosas y praderas inundadas. la vegetación comúnmente utilizada en estas tres zonas de humedales son espadañas, aneas, juncos, y los carrizos, otro factor importante en los humedales es la distribución uniforme del agua residual el cual afecta directamente la eficiencia de estos (Ibáñez & Bautista, 2018). En comparación con otros métodos este presenta ventajas y desventajas que se observan en la **Tabla 20**.

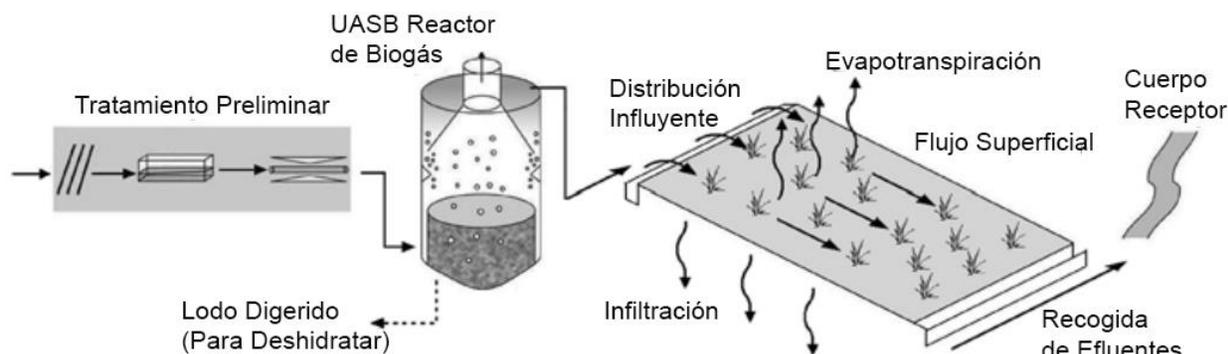
En los humedales se tiene que tener en cuenta el mantenimiento y operación de este, considerando que en el arranque se debe eliminar las malas hierbas manualmente que compiten con la vegetación principal. También se debe prevenir y controlar las plagas y evitar animales que se alimenten de las plantas del humedal (Fuentes, 2010). La configuración típica de UASB y humedal se observa en la **Figura 29**, teniendo en cuenta el pretratamiento.

Figura 28. Humedal de la PTAR Sotaquira.



Nota: Humedal a escala real, ubicado en la PTAR Sotaquira - Boyacá, utiliza como postratamiento de un reactor UASB, Fuente (Ibáñez & Bautista, 2018).

Figura 29. Configuración típica de un reactor UASB más Humedal artificial.



Fuente: (Chernicharo, 2007)

Tabla 20. Ventajas y desventajas de los Humedales

Ventajas	Desventajas
Es apropiado para el tratamiento de aguas residuales de comunidades rurales y de industrias estacionales que generan aguas residuales orgánicas.	El método está limitado por el clima, la tolerancia de la cultura en relación con el agua y la pendiente del terreno
Proporciona un tratamiento secundario avanzado, con una operación relativamente simple y barata.	Las tasas de carga pueden estar restringidas por el patrón de crecimiento de la planta de cultivo o la tierra muy empinada no es adecuada para este tipo de tratamiento.
La cubierta vegetal se puede reutilizar o utilizar comercialmente	Requieren de un espacio amplio para su instalación
Presenta la restricción mínima en cuanto a las características del terreno, requiriendo solo suelo relativamente impermeable para su instalación y una pendiente adecuada	En climas fríos las bajas temperaturas reducen la tasa de remoción de DBO y de las reacciones biológicas y desnitrificación.

Ventajas	Desventajas
Sistemas flexibles y poco susceptibles a cambios en caudales y carga.	

Fuente: Adaptado de (Chernicharo, 2007; Ibáñez & Bautista, 2018).

4.5.4.3 Alternativa 4.3. infraestructura postratamiento Filtro percolador

En la depuración de aguas residuales, los filtros percoladores o filtro de goteo siempre se han destacado por sus grandes porcentajes de remoción y su sencillez. Para estos sistemas se han reportado remociones en el rango 60 al 90% con cargas orgánicas entre 0.6 y 3.2 kg DBO/ m³, sin poder remover nutrientes (Muñoz & Reyes, 2013), por lo cual se recomienda la instalación de un filtro percolador como postratamiento del reactor UASB.

Este método consiste en un tanque o columna llena de un material permeable, en el cual las aguas residuales son distribuidas en forma de gotas o chorros hacia el fondo, favoreciendo el crecimiento bacteriano en la superficie del empaque. Las partículas deben tener un diámetro de 7 a 10 cm y en los extremos cuentan con ventilación para permitir que el oxígeno pase por toda la superficie. este filtro con gran potencial tiene grandes ventajas y pocas desventajas las cuales se observan en **Tabla 21**.

Tabla 21. *Ventajas y desventajas de los filtros percoladores*

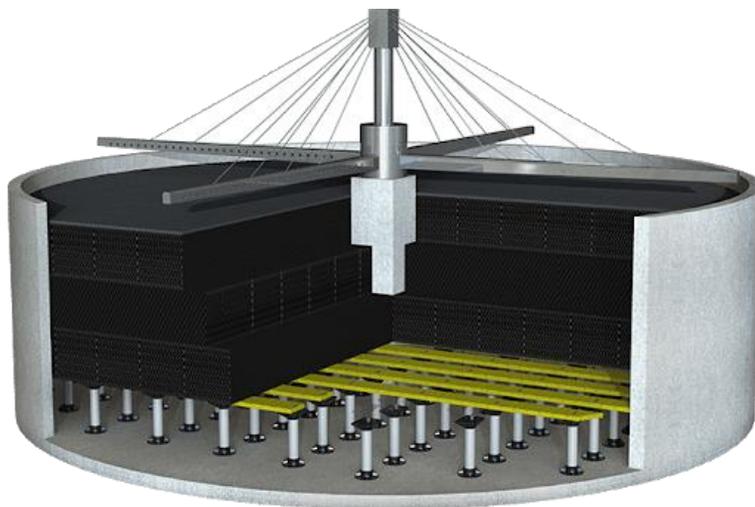
Ventajas	Desventajas
Bajos costos de mantenimiento	Aplicación limitada en aguas residuales con altas cargas orgánicas contenidas en los efluentes.
Operación sencilla	Requiere de un medio de soporte costoso
No requiere de energía eléctrica y el costo de inversión es el más bajo de los sistemas aireados.	Requiere un área o espacio físico moderado, mucho menor al sistema de lagunas
Si se incluye una unidad de tratamiento primario de buena eficiencia, puede reducir su volumen	Su proceso es seriamente afectado por la temperatura. La baja temperatura puede disminuir la actividad biológica e incluso en zonas de inviernos severos podría ocasionar la formación de escarchas de hielo mermando la eficiencia del proceso.
Baja producción de lodos	

Fuente: adaptado de (Castañeda et al., 2014).

La geometría de estos filtros es de forma cilíndrica o rectangular, la más utilizada es la forma cilíndrica con diámetros hasta de 60 m y profundidades de 0.9 m hasta 12 m, también cuenta con una losa perforada la cual sostiene el fondo y permite que se recolecte el efluente y los excesos de lodos, en la **Figura 30** se observa el esquema de un filtro percolador y en la **Figura 31** se observa un UASB + filtro percolador a escala real.

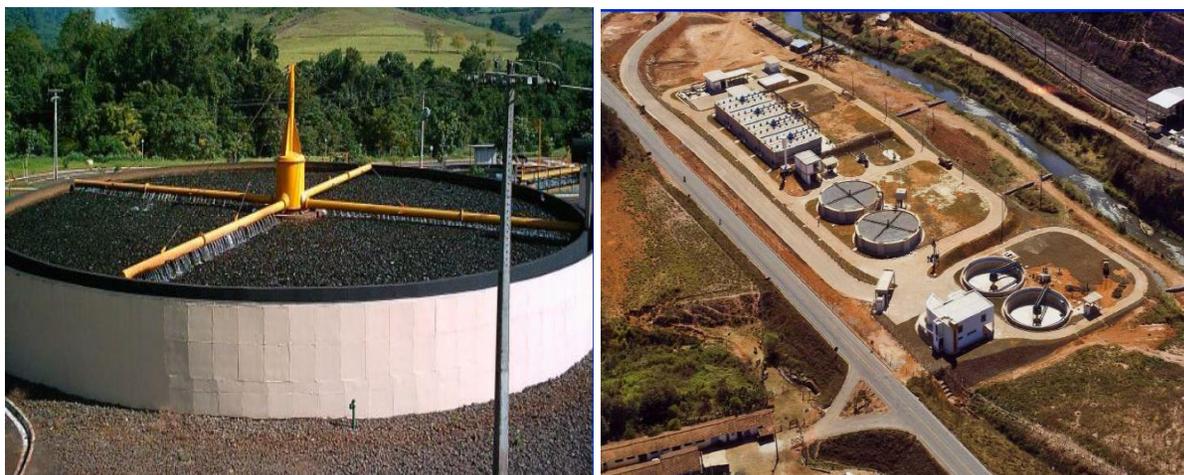
Este filtro está constituido por cultivos bacterianos llamados biopelículas o biofilm, las cuales se adhieren a piezas de material plástico con alta superficie específica. El medio filtrante puede ser piedras o rosetones con diámetro entre 5 y 10 cm, un rosetón común de los filtros percoladores se puede observar en la **Figura 32**.

Figura 30. Esquema general de un filtro percolador



Fuente: (Perez et al., 2018)

Figura 31. Filtro percolador a escala real



Nota: Planta de tratamiento de aguas residuales de Itabira-Brasil con un tratamiento UASB + filtro percolador, diseñado para tratar aproximadamente 60.000 habitantes. Fuente: (Sperling, 2012)

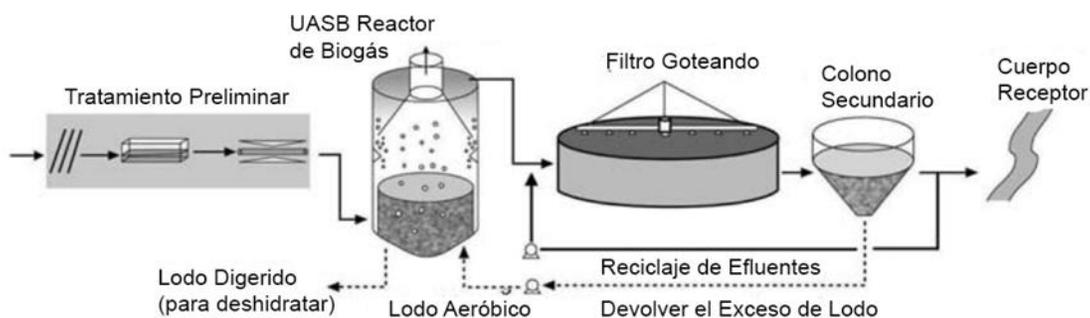
Figura 32. Medio filtrante- rosetón material plástico



Fuente: (BIO-FIL, 2012).

En estos filtros después de cumplir con cierto tiempo de operación, se forma una capa bacterial de un grosor significativo, el cual se desprende hidráulicamente del medio soportado, pasando a un sedimentador secundario en donde se realiza la separación del lodo (Castañeda et al., 2014; Chernicharo, 2007). Una configuración típica de UASB más filtro percolador teniendo en cuenta el pretratamiento y sedimentador secundario se observa en la **Figura 33**.

Figura 33. Configuración típica de UASB más filtro percolador



Fuente: (Chernicharo, 2007).

Por último, en la **Tabla 22** se presentan un rango de los costos de instalación y de mantenimiento para un filtro anaerobio de flujo ascendente, un humedal artificial y un filtro percolador en función del número de habitante.

Tabla 22. Rango de costos de instalación y mantenimiento de unidades de postratamiento.

Unidad	Costo instalación (€/ habitante)	Costo explotación y mantenimiento. (€/ habitante)	Población (habitante)
Filtro FAFA	60-240	6-30	<20000
Humedal artificial	200- 300	15-20	1000
Filtro percolador	180-350	16-25	2000

Fuente:(Guerrero et al., 2007; Huertas et al., 2013).

Capítulo V

5 Conclusiones

De acuerdo con el análisis de los resultados presentados en este documento, así como basados en la experiencia del autor durante su pasantía institucional, puede concluirse lo siguiente:

Este trabajo presentó los resultados del programa de mejoramiento desarrollado en la PTARD Comfenalco y demostró la utilidad del correcto procesamiento e interpretación de datos históricos, así como la pertinencia de la formación del ingeniero químico para llevar a cabo este tipo de diagnósticos desde el enfoque de procesos.

Los resultados de caracterizaciones históricas y previas muestran que la PTARD no cumple en su totalidad con algunos de los límites máximos permitidos por la Resolución 0631 de 2015, específicamente con los parámetros de DBO_5 , DQO y SST. Esto puede generar requerimientos por parte de la autoridad ambiental que obliguen a IBAL a promover acciones de mejoramiento.

El diagnóstico arrojó que las principales causas del no cumplimiento de la normatividad de vertimiento son el no tener un control adecuado de la cantidad y actividad microbiana presente en el reactor y el no cumplimiento óptimo del tiempo de retención hidráulico. Para estas causas se formularon alternativas a corto, mediano y largo plazo, que pueden ser consideradas por la empresa dentro de su estrategia de mejoramiento.

Es indispensable realizar evaluaciones periódicas que permitan visualizar el estado de la planta y hacer seguimiento frecuente dando respuesta a los hallazgos de las evaluaciones.

5.1 Recomendaciones y perspectivas

Presentada la panorámica de la PTARD Comfenalco en cuanto a su estado, la comparación con la normatividad ambiental, sus posibles fallas y las alternativas que se ofrecen a partir del análisis realizado, se procede a plantear unas perspectivas que tienen como objetivo dar respuesta a aspectos que quedaron sin abordar y que podrían aportar al mejoramiento de la planta o puede ser de interés para un próximo pasante.

- Se propone realizar un análisis económico que determine las posibles inversiones que debe hacer la empresa IBAL S.A OFICIAL, para ajustar sus procesos a lo que exige la normatividad, esto en términos de mejoramiento del laboratorio (Implementación de nuevas técnicas para un mejor control del proceso), unidades adicionales (Para el pretratamiento y postratamiento de las aguas residuales) y mejoramiento a infraestructura actual.
- Se plantea realizar un estudio de actividad metanogénica completo utilizando microorganismos de otras PTAR y/o vinculando a la academia a través de proyectos de investigación que aporte sustentos teóricos y prácticos.
- Se puede analizar la variabilidad de las cargas contaminantes de entrada, a partir del levantamiento de caudales y caracterizaciones en un periodo de estudio.
- Finalmente realizar un estudio para dar uso a los desechos sólidos (lodos) y aprovecharlos como insumo de cultivo o mejoramiento del suelo.

Capítulo VI

6 Referencias

- BASF. (2018). *Plantas de tratamiento de aguas residuales Soluciones de reparación, protección e impermeabilización.*
- Batero, Y., & Cruz, E. (2007). *Evaluacion de filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFAS) con medio de soporte en guadua para la remocion de materia organica de un agua residual sintetica.* UNIVERSIDAD TECNÓLOGICA DE PEREIRA.
- Bermúdez, R., Rodríguez, S., Martínez, M., & Brown, A. (2003). Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos para la obtención de biogás. *Tecnología Química*, 23(2), 37–45.
- BIO-FIL. (2012). *Modelos de soportes A y B para filtros percoladores : Bio-Fil.*
<https://www.bio-fil.es/es/plastic-media-biofill-2021/for-trickling-filters-biofill-a-b/>
- Bravo, D., & Henao, Z. (2016). *Desarrollo de una propuesta de mejora en el sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de lácteos Levelma, municipio Cajica.*
FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA.
- Camacho, A. (2012). *Evaluación de la operación y propuestas de mejora del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente del beneficio San Diego de volcafe S.A.* Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería Ambiental Evaluación.
- Castañeda, L., Castillo, J., Pérez, C., & Rodriguez, C. (2014). *Filtros percoladores, tratamiento secundario de aguas residuales.*
- Centro de capacitación Bepensa. (2015). *Tratamiento de Aguas Residuales - ppt descargar.*

Slideplayer. <https://slideplayer.es/slide/9543265/>

Chernicharo, C. (2007). Anaerobic Reactors. In Aptara INC (Ed.), *2007 IWA Publishing* (Vol. 4, Issue 0). IWA. <https://doi.org/10.2166/9781780402116>

CONAGUA. (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Procesos Anaerobios 49. In *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. secretaria del medio ambiente y recursos naturales. <http://mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro46.pdf>

CONAGUA. (2015). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: filtros anaerobios de flujo ascendente. In *Libro 29*.

CONAGUA. (2019). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Reactores anaerobios de flujo ascendente 28. In *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento* (p. 92).

Condorchem Envitech. (2021). *Tratamiento biológico de aguas residuales*. <https://condorchem.com/es/tratamiento-biologico-aguas-residuales/#>

Departamento Administrativo de la Función Pública, & Decreto. (2015). Decreto 1076 de 2015 Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. *Diario Oficial No. 49.523 de 26 de Mayo de 2015*, 1–659. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

Ecolagunas. (2021). *Humedales aireados – Ecolagunas – Depuración de aguas con humedales artificiales*. <https://ecolagunas.com/humedales-aireados/>

- Espinoza, A. (2017). Disminución de la DBO, DQO y STD del agua residual domestica de Santiago de Chuco empleando un biofiltro de piedra pómez. In *Universidad César Vallejo*.
- Fernández - Polanco, F., & Seghezzi, L. (2015). Diseño de reactores Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB). In *Mejora de las economías regionales y desarrollo local* (pp. 1–124). Delegación de la Comisión Europea en Argentina Ayacucho, Instituto Nacional de Tecnología Industrial Gerencia de Cooperación Económica e Institucionaria. <http://www.ue-inti.gov.ar/pdf/publicaciones/cuadernillo15.pdf>
- Fuentes, R. (2010). *Humedal de Flujo Subsuperficial Vertical (HFSV)*. Sistema de Depuración Natural. http://depuranatura.blogspot.com/2011/05/humedal-de-flujo-subsuperficial_02.html
- Garcia, C., & Fonseca, J. (2015). *Evaluación técnica de la planta de tratamiento de aguas residuales “quinta Brasilia” ubicada en el municipio de Honda - Tolima* (Issue 1). Universidad distrital francisco José de caldas.
- Gomez, L. (2015). *Informe preliminar de monitoreo y analisis de aguas residuales*.
- Gonzalez, S. (2014). *Mejoramiento de la eficiencia de sistemas anaerobios y aerobios de tratamiento de aguas residuales domesticas a través de humedades artificiales*. Corporación universitaria Minuto de Dios.
- Google Earth. (2021). *PTARD comfenalco -Google Earth*. <https://www.google.com/intl/es/earth/>
- Guerrero, J., Salas, D., & Zapata, M. (2007). Modelo de costos para el tratamiento de las aguas residuales en la región. *Scientia et Technica*, 5(37), 591–596. <https://doi.org/10.22517/23447214.4191>

- Huertas, R., Marcos, C., Ibarguren, N., & Ordas, S. (2013). *Guia practica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones* (Confederac). <http://idiaqua.eu/web/wp-content/uploads/2018/07/guiapractica-depuracionaguas-chd.pdf>
- iAguá. (2013, January 30). *Los humedales artificiales. componentes y tipos* .
<https://www.iagua.es/blogs/carolina-miguel/los-humedales-artificiales-componentes-y-tipos>
- Ibáñez, P., & Bautista, A. (2018). *Análisis técnico - económico del primer tren de tratamiento biológico, reactor UASB y humedal superficial, PTAR Sotaquirá – Boyacá*. Universidad de la Salle.
- Lettinga, G., Van, V., Hobma, W., Zeeuw, W., & Klapwijk, A. (1980). Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment. *Biotechnology and Bioengineering*, 22, 699–734.
- Lopera, A. (2010). *Manual de operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas*.
- Lopez, J. (2011). *Evaluación de la eficiencia de un reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos UASB para el tratamiento de aguas residuales – escala laboratorio*. Universidad san francisco de Quito.
- Lorenzo, Y., & Obaya, C. (2006). La digestión anaerobia y los reactores UASB. Generalidades. *ICIDCA : Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 40(1), 13–21.
- Lozada, P., & Perez, A. (2010). Actividad metanogénica específica: una herramienta de control y optimización de sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales. *Ingeniería de Recursos Naturales y Del Ambiente*, 9, 5–14.

- Minambiente. (2015). Resolucion 0631. In *Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible* (p. 62). <https://doi.org/10.4324/9780203861950>
- Ministerio de desarrollo economico. (2000). Resolucion 1096 de 2000. *Normatividad Colombiana, 1096*, 1–29.
- Molina, F., Sierra, J., Acevedo, S., Maya, G., Toro, M., Alvarez, C., & Uribe, J. (1999). *Manual de caracterización de aguas residuales industriales*. (ANDI (ed.); 2 Edicion).
- Muñoz, T., & Reyes, R. (2013). EVALUATION OF THE REMOVAL EFFICIENCY OF ORGANIC MATTER AND NITROGEN IN A TRICKLING FILTER WITH NEW PACKING. *Revista Mexicana de Ingenieria Quimica, 12*(3), 575–583.
- Orozco, A. (2005). *Bioingenieria de Aguas Residuales - Google Libros*. Acodal .
<https://books.google.es/books?hl=es&lr&id=t5w5EZf1VhMC&oi=fnd&pg=PP17&dq=aguas+residuales+&ots=MyV6hFEuX9&sig=XO6k4iMghmLWdWQ67QKLDH4gDrQ&pli=1#v=onepage&q=aguas+residuales&f=false>
- Pérez, M. (2020). *Desarrollo e implementación de un programa de ahorro y uso eficiente del agua para el mejoramiento de aguas residuales industriales*. Universidad de Antioquia.
- Perez, R., Torres, Y., Alvares, A., Cortes, D., Vargas, O., García, J., Pérez, F., & Pérez Jose. (2018). *Sistema filtro percolador*. <https://lorenzomata95.wixsite.com/misitio/>
- Pineda, L. (2017). *Diagnóstico de la planta de tratamiento de agua residual (PTARD) de Tunja – Boyacá* (Vol. 13, Issue 3). Universidad catolica de colombia.
- Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Journal of the American Chemical Society, 1*, 71–80.

<https://doi.org/10.1021/ja00334a047>

Rodriguez, J. (2008). *Tratamiento anaerobio de aguas residuales*. 1, 1–15.

http://www.ing.unal.edu.co/catedra/drs_diaz_collazos/Salud, Calidad y Tratamiento de AR/TRATAMIENTO ANAEROBIO DE LAS AGUAS RESIDUALES BASICO.pdf%5Cn

Ruiz, B. (2013). Implementación de protocolos de Operación en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domesticas del Municipio de Timaná en el Departamento del Huila. In *Universidad De Manizales* (Vol. 1). universidad de manizales.

Saldaña, R. (2020, August 5). *Colombia frente al tratamiento de las aguas residuales* / iAgua.

<https://www.iagua.es/blogs/rossemer-saldana-escorcia/colombia-frente-al-tratamiento-aguas-residuales>

Sperling, M. (2012). *Tecnologías disponibles y parámetros de diseño para el mejoramiento de efluentes de reactores anaerobios* (Issue February).

Standard Methods. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. In L. Bridgewater, R. Baird, A. Eaton, & Rice.Eugene (Eds.), *Encyclopedia of Forensic Sciences: Second Edition* (WEF, chair). American public health association; american water works association; water environment federation. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382165-2.00237-3>

Tilley, E., Ulrich Lukas, Luthi, C., Reymond, P., schertenleib, R., & Zurbrugg, C. (2018). *Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente* / SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management! Adaptado de Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento.

<https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/recoleccion-y-almacenamiento/filtro-anaerobio-de-flujo-ascendente>

Valdez, A. (2016). Aplicación de microorganismos eficaces (EM) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la localidad de Chucuito [Universidad Nacional del Altiplano]. In *Universidad Nacional del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4085>

Anexos

Anexo 1. Resultados de laboratorio Acreditado IDEAM Primer cuatrimestre 2021.



INFORME DE RESULTADOS V1-N° M21-05502

Bogotá D.C. martes, 20 de abril de 2021

Página: 1 de 1

INFORMACION DEL CLIENTE							
Cliente:	GEOAMBIENTAL			Fecha de reporte:	2021-04-20		
Contacto:	DANIELA QUIROGA			Ciudad:	IBAGUÉ		
Dirección:	-			Departamento:	TOLIMA		
Teléfono:	3103832401			E-mail:	geoambientalconultores@gmail.com		
INFORMACION DE LA MUESTRA							
Proyecto:	IBAL COMFENALCO			Punto de muestreo:	2112-2 SALIDA PTAR COMFENALCO		
ID Plan de Muestreo:	CT-21-0226-V2			Coordenadas Muestra:	-		
Matriz:	AGUA	Tipo de muestra:	COMPUESTO	Procedencia:	IBAGUÉ/ TOLIMA		
Clase de muestra:	RESIDUAL DOMESTICO			Fecha y hora de muestreo:	2021-03-15	16:00	
Fecha de recepción:	2021-03-15			Condiciones Ambientales:	-		
Fecha de entrega:	2021-04-20			Responsable de Muestreo:	GERMAN GULUMA		
RESULTADOS							
Item	Parámetro	Método	Técnica	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis	Límite de cuantificación
A454	b - DBO (5 días)	SM 5210 B - ASTM D888-09 Metodo C	Incubación 5 días y Electrodo de Luminiscencia	mg/L	121	16/03/2021 - 21/03/2021	6
A525	a - DQO	SM 5220 C	Reflujo Cerrado Colorimétrico	mg/L	177,36	2021-04-05	36,00
A1158	a - Sólidos Suspendidos Totales	SM 2540 D	Gravimétrico (Secado a 103 - 105°C)	mg/L	100	2021-03-19	10
A7	a - Aceites y Grasas	SM 5520 C	Partición Infrarrojo	mg/L	29,26	2021-04-07	1,00
A1179	a - Tensoactivos SAAM (Surfactantes)	SM 5540 C	Colorimétrico (SAAM)	mg/L	27,58	2021-03-17	0,05
A1191	a - Hidrocarburos en Agua "TPH"	SM 5520 C, F	Partición Infrarrojo	mg/L	7,06	2021-04-07	1,00
A914	a - Fósforo Reactivo total (Orotofosfatos)	SM 4500-P E	Colorimétrico	mg P-PO4L	5,06	2021-03-17	0,20
A559	a - Fósforo Total	SM 4500-P B, E	Colorimétrico	mg P-PO4L	8,09	2021-04-05	0,20
A897	a - Nitrato	SM 4500-NO3- D	Electrodo Ión Selectivo	mg N- NO3L	2,72	2021-03-17	1,00
A902	a - Nitrito	SM 4500-NO2- B	Colorimétrico	mg N- NO2L	<0,02	2021-03-17	0,02
A19	a - Nitrogeno Amoniacal (Amonio)	SM 4500-NH3 B,C	Destilación - Volumétrico	mg N-NH3L	63,61	2021-04-05	4,00
A908	a - Nitrogeno Kjeldahl	SM 4500-Norg C, 4500-NH3 B, C	Digestión, Destilación -Volumétrico	mg N-NH3L	77,53	2021-04-05	4,00
FIN DE ANÁLISIS							
a. Parámetro acreditado en S.G.I.S.A.S., Resolución N° 1392 del 04 de Diciembre de 2020 del IDEAM.				d. Parámetro validado No acreditado a nivel nacional.			
b. Parámetro acreditado laboratorio Subcontratado.							

Anexo 2. Brigadas de limpieza vigencia 2019

Brigadas de limpieza y mantenimiento

Brigada No. 01 de 09/01/2019



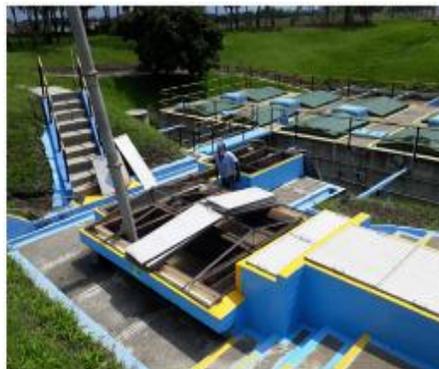
Brigada No. 02 de 06/02/2019



Brigada No. 03 de 06/03/2019



Brigada No. 04 de 10/04/2019



Brigada No. 05 de 08/05/2019



Brigada No. 06 de 05/06/2019



Brigada No. 07 de 10/07/2019



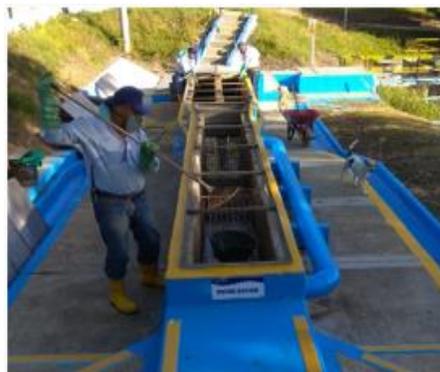
Brigada No. 08 de 07/08/2019



Brigada No. 09 de 04/09/2019



Brigada No. 10 de 09/10/2019



Brigada No. 11 de 06/11/2019



Brigada No. 12 de 04/12/2019



*Anexo 3. Brigadas de limpieza vigencia 2020***Brigadas de limpieza y mantenimiento**

Brigada No. 01 de 08/01/2020



Brigada No. 02 de 05/02/2020



Brigada No. 03 de 11/03/2020



Brigada No. 04 de 8/04/2020



Brigada No. 05 de 06/05/2020



Brigada No. 06 de 10/06/2020



Brigada No. 07 de 08/07/2020



Brigada No. 08 de 05/08/2020



Brigada No. 09 de 09/09/2020



Brigada No. 10 de 07/10/2020



Brigada No. 11 de 04/11/2020



Brigada No. 12 de 09/12/2020



Anexo 4. Instructivo de SSV y IVL.

INSTRUCTIVO

PRUEBAS DEL LABORATORIO

DE AGUAS RESIDUALES-

CONTROL DE LODOS



1. OBJETIVO:

Establecer los procedimientos para realizar las pruebas de laboratorio para tener un buen control de los lodos anaeróbicos, muestras tomadas en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

2. CONDICIONES GENERALES

Para el desarrollo de las actividades expuestas en este instructivo los responsables deberán usar el equipo de protección personal idóneo, el cual está compuesto por:

Bata de laboratorio

Guantes de nitrilo

Gafas de seguridad

Calzado apto (Cerrado y de material diferente a tela)

Protección respiratoria (tapabocas o mascara de vapores orgánicos y partículas)

3. APLICABILIDAD

Este método es aplicable a la determinación de sólidos totales y sus fracciones volátiles en muestras sólidas y semisólidas como sedimentos de ríos y lagos, lodos separados de los procesos de tratamiento de aguas residuales, y otros procesos de deshidratación de lodos

4. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	RESPONSABLE	REGISTRO
<p>1. Sólidos totales, fijos y volátiles en muestras sólidas y semisólidas</p> <p>1.1 Frecuencia De Medición:</p> <p>Este parámetro se realiza en días hábiles a las muestras de las PTARD Tejar, Américas, Comfenalco, programados una vez por mes.</p> <p>1.2 Equipos Y Reactivos Requeridos:</p> <p>Platos evaporadores de 100 ml (Platino, porcelana o vidrio con contenido de sílice), Horno de mufla para funcionamiento a 550 ° C,</p> <p>Desecador, Horno de secado, para funcionamiento de 103 a 105 ° C, Balanza analítica, probeta, Baño de vapor, Beaker.</p> <p>1.3 Solidos Totales.</p> <p>1.3.1 Procedimiento:</p> <p>Preparación de plato de evaporación.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Calentar el plato de 103 a 105 ° C durante 1 h en un horno. Enfriar en el desecador, pesar y 	<p>Auxiliar</p> <p>Laboratorio</p> <p>Aguas Residuales</p>	

almacenar en el desecador hasta que esté listo para usar.

Análisis de la muestra

Muestras de fluidos

- Si la muestra contiene suficiente humedad para fluir fácilmente, homogeneizar, colocar de 25 a 50 g en un plato evaporador preparado y pesar.
- Evaporar hasta sequedad en el horno, a 103 a 105 ° C durante 2 h.
- Equilibrar la temperatura en un desecador individual que contenga desecante fresco durante 1 h y pesar.
- Analizar al menos el 10% de todas las muestras por duplicado. Las determinaciones duplicadas deben coincidir dentro del 5% de su peso medio.

Se realiza el cálculo de los resultados:

$$\% \text{ solido totales} = \frac{(A - B) * 100}{C - B}$$

A: peso de residuo seco (mg) + plato (mg)

<p>B: Peso del plato (mg)</p> <p>C: Peso de la muestra húmeda + plato (mg)</p> <p>1.4. sólidos fijos y volátiles</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Transferir el residuo seco de los sólidos totales al plato preparado a 550°C▪ Calentar el horno a 550 ° C y encender durante 2 h. (Si el residuo contiene grandes cantidades de materia orgánica, primero enciéndalo sobre un quemador de gas y debajo de una campana extractora en presencia de aire adecuado para disminuir las pérdidas debido a las condiciones reductoras y evitar olores en el laboratorio).▪ Enfriar en un desecador durante 1 h para equilibrar temperatura y peso.▪ Pesar la muestra seca.▪ Analizar al menos el 10% de todas las muestras por duplicado. Las determinaciones duplicadas deben coincidir dentro del 5% de su peso medio.		
---	--	--

<p>Se realiza el cálculo de los resultados:</p> $\% \text{ solido volatiles} = \frac{(A - D) * 100}{A - B}$ $\% \text{ solido Fijos} = \frac{(D - B) * 100}{A - B}$ <p>A: peso de residuo seco (mg) + plato (mg)</p> <p>B: Peso del plato (mg)</p> <p>C: Peso de la muestra húmeda + plato (mg)</p> <p>D: peso del residuo + plato, después de la ignición (mg)</p>		
<p>2. Índice volumétrico de lodos (IVL)</p> <p>2.1 Frecuencia De Medición:</p> <p>Este parámetro se realiza en días hábiles a las muestras de las PTARD Tejar, Américas, Comfenalco, programados una vez por mes.</p> <p>2.2 Equipos Y Reactivos Requeridos:</p> <p>Embudo de decantación y solución buffer sulfato.</p>		

<p>15.3 Procedimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Poner en el cono imhoff de 1000 mL, 100 mL de lodo y aforar a 1000 mL con buffer de fosfatos. ▪ Se dejó reposar por 45 minutos para después agitar su contenido con una varilla de vidrio. ▪ Transcurridos 30 minutos de sedimentación se midió el volumen ocupado por el lodo. ▪ IVL se calculó dividiendo este volumen por los g de SST presentes en los 100 mL de lodo. <p>Solidos suspendidos totales (SST)</p> <p>Selección de filtros y tamaños de muestra:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Elija un volumen de muestra para obtener entre 2,5 y 200 mg de residuo seco. ▪ Si el volumen filtrado no alcanza el rendimiento mínimo, aumente el volumen de la muestra hasta 1L. ▪ Si la filtración completa tarda más de 10 minutos, aumente el diámetro del filtro o disminuya el volumen de la muestra. 	<p>Auxiliar</p> <p>Laboratorio</p> <p>Aguas</p> <p>Residuales</p>	
---	---	--

<p>muestra:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Monte el aparato de filtrado y el filtro y comience a aspirar. Filtro húmedo con un pequeño volumen de agua de grado reactivo para asentarlos.▪ Agitar la muestra con un agitador magnético, para obtener un tamaño de partícula más uniforme (preferiblemente homogéneo).▪ Mientras agita, pipetee un volumen medido sobre el filtro de fibra de vidrio asentado.▪ Para muestras homogéneas, pipetee desde el punto medio aproximado del recipiente, pero no en vórtice.▪ Lave el filtro con tres volúmenes sucesivos de 10 ml de agua de grado reactivo, permitiendo un drenaje completo entre lavados▪ Continuar con la succión durante aproximadamente 3 minutos después de que se complete la filtración.▪ Las muestras con alto contenido de sólidos disueltos pueden requerir lavados adicionales.		
--	--	--

<ul style="list-style-type: none">▪ Retire con cuidado el filtro del aparato de filtración y transféralo a un plato de pesaje de aluminio como soporte.▪ Secar durante al menos 1 hora a 103 a 105 ° C en un horno.▪ Enfriar en un desecador para equilibrar la temperatura y previamente pesar en una balanza analítica el soporte y el filtro.▪ Repetir el ciclo de secado, enfriamiento, desecación y pesado hasta obtener un peso constante o hasta que el cambio de peso sea menor al 4% del peso anterior o 0.5 mg, lo que sea menor.▪ Analizar al menos el 10% de todas las muestras por duplicado.▪ Las determinaciones duplicadas deben coincidir dentro del 5% de su peso medio.		
---	--	--

<p style="text-align: center;">Realizar calculo</p> $mg\ SST/L = \frac{(A - B) * 1000}{Volumen\ de\ la\ muestra\ (ml)}$ <p>A: peso del filtro (mg) + residuo seco (mg)</p> <p>B: Peso del filtro (mg)</p> <p style="text-align: center;">Valores</p> <ul style="list-style-type: none">▪ IVL < 50 ml/g mala indica mala sedimentabilidad.▪ IVL 80 - 150 ml/g muy buena indica un efluente bueno.▪ IVL 150 - 200 ml/g tolerable indica peligro de pérdida de lodo▪ IVL 200 – 400 ml/g mal lodo indica lodo con problemas▪ IVL > 400 ml/g muy mala indica pérdida total del lodo.		
---	--	--