



**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE
TRATAMIENTO COMPACTO PARA ARD UTILIZANDO MATERIALES
ALTERNATIVOS EN EL SISTEMA BIOLÓGICO Y DE FILTRACIÓN**

MEDINA MORENO LUISA MARIA

ROMERO MORENO GINA LICETH

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL

FACATATIVA- COLOMBIA

2019

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE
TRATAMIENTO COMPACTO PARA ARD UTILIZANDO MATERIALES
ALTERNATIVOS EN EL SISTEMA BIOLÓGICO Y DE FILTRACIÓN**

MEDINA MORENO LUISA MARIA

ROMERO MORENO GINA LICETH

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

INGENIERO AMBIENTAL

DIRECTOR:

ING. MSc. DIEGO FERNANDO BEDOYA

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL

FACATATIVÁ - COLOMBIA

2019

Agradecimientos

En principio agradecemos a Dios por permitirnos culminar esta etapa tan importante para nosotras y permitirnos compartir este gran triunfo con los que más queremos, nuestra familia, amigos y demás personas que también fueron parte de este proceso.

Gracias a nuestro director de tesis el Ingeniero Msc. Diego Fernando Bedoya, quien estuvo siempre presente, guiándonos y compartiéndonos su conocimiento para que lleváramos a cabo este importante proyecto. Del mismo modo agradecemos al Ingeniero Héctor Medina por brindarnos su experiencia y conocimiento, por su compromiso y colaboración a lo largo del desarrollo del proyecto.

Agradecemos también a todas y cada una de las personas que estuvieron presentes y fueron parte de cada una de las etapas del proyecto, a nuestra familia que siempre nos brindó apoyo en los momentos difíciles, al personal de laboratorio de la Universidad de Cundinamarca, extensión Facatativá por permitirnos llevar a cabo la parte experimental junto con la asesoría de la docente Gabriela Romo, y finalmente a nuestros amigos que aportaron un granito de arena para que esto fuera posible.

Dedicatorias

Gina Romero

Este gran logro va dedicado a mi mamá Mary Luz Moreno, quien en su ausencia siempre fue mi motor, mi fortaleza y mi motivo más grande para hacer este sueño realidad, y mi familia que siempre estuvo incondicionalmente. "por tí y para tí mamita".

Luisa Medina

Este logro está dedicado a Dios que me ayudo a no darme por vencida bendiciéndome con una promesa que tome como un regalo de él y mi familia, quienes estuvieron siempre presentes apoyándome en todo momento, ellos fueron mi mayor motivación y fortaleza. "Bendito el hombre que confía en el señor y pone su confianza en él. Será como un árbol plantado junto al agua, que extiende sus raíces hacia la corriente; no teme que llegue el calor, y sus hojas están siempre verdes. En época de sequía no se angustia, y nunca deja de dar fruto".

Jeremías 17:7-8 amén

TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción.....	3
2.	Planteamiento del problema	5
3.	Justificación	7
4.	Objetivos.....	9
4.1	General.....	9
4.2	Específicos	9
5.	Marco conceptual	10
6.	Marco teórico.....	11
6.1	Aguas residuales	11
6.1.1	Tipos de aguas residuales.....	11
6.1.2	Agua residual doméstica.	12
6.2	Tratamiento de agua residual	19
6.2.1	Planta de tratamiento de agua residual (PTAR).....	19
6.2.2	Niveles de tratamiento	20
6.2.3	Etapas de tratamiento	20
6.3	Semillas de <i>Inga Edulis</i> (guama).....	23
6.4	Piedra pómez.....	24
6.5	Carbón activado a base de cáscara de coco	24
7.	Metodología.....	25

7.1	Objetivo 1	25
7.2	Objetivo 2	26
7.2.1	Carbón activado a partir del endocarpio del coco.....	28
	31
7.3	Metodología para el objetivo 3	31
7.4	Construcción, operación y mantenimiento del sistema de tratamiento.....	32
7.5	Dirección del flujo	34
7.6	Etapas de tratamiento.....	34
7.6.1	Tratamiento primario.	36
7.6.2	Tratamiento secundario.....	39
7.6.3	Manual de mantenimiento.....	45
7.7	Medición de caudales.....	46
7.8	Evaluación técnica del sistema	47
8.	Análisis y resultados.....	48
8.1	Determinación de caudal	48
8.2	Alcalinidad.....	53
8.3	Dureza total.....	55
8.4	Turbiedad	56
8.5	Cloruros	58
8.6	pH.....	59

8.7	Temperatura	61
8.8	DQO	62
8.9	Oxígeno disuelto	64
8.10	Sólidos totales	66
8.10.1	Sólidos fijos.....	67
8.10.2	Sólidos volátiles	68
8.11	Sólidos sedimentables	69
8.12	Evaluación del diseño del sistema de tratamiento.....	70
8.13	Evaluación económica.....	79
9.	Conclusiones.....	84
10.	Referencias	86
11.	Anexos	94
11.1	ANEXO 1.....	94
11.2	Anexo 2.	120
11.3	Anexo 3	132

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Caracterización del agua residual, Autoras.....	25
Ilustración 2. Metodología utilizada para cumplir con el objetivo 2 (Bravo & Garzon, 2017).....	26
Ilustración 3. Diseño de un Sistema de Tratamiento Compacto para Aguas Residuales Domésticas, Autoras.	31
Ilustración 4. Comparación de dos tratamientos para aguas residuales uno compacto y convencional.	47

TABLA DE TABLAS

Tabla 1.	11
Tabla 2	14
Tabla 3	28
Tabla 4	30
Tabla 5	32
Tabla 6	36
Tabla 7	37
Tabla 8.	45
Tabla 9	46
Tabla 10	48
Tabla 11	49
Tabla 12	51
Tabla 13	54

Tabla 14	56
Tabla 15	57
Tabla 16.	59
Tabla 17:	60
Tabla 18	62
Tabla 19	63
Tabla 20	65
Tabla 21	67
Tabla 22	68
Tabla 23	69
Tabla 24	70
Tabla 25	76
Tabla 26.	79
Tabla 27	81
Tabla 28	83

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Dirección del flujo de agua en la Planta piloto, Autoras.....	34
Figura 2. Prototipo Planta de Tratamiento de Agua Residual Doméstica, Autoras.	35

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo evaluar la eficiencia de un sistema de tratamiento compacto de agua residuales domésticas utilizando materiales reutilizables como canecas y tubo PVC de 10 in, de igual manera utilizar materiales alternativos en el sistema biológico y la unidad de filtración de fácil adquisición para la población rural. En la parte interna del reactor aerobio se dispuso de la piedra pómez como soporte y carbón activado fabricado con cáscara de coco (endocarpio) como lecho filtrante y de adsorción, por otro lado, la grava en la parte del filtro se reemplazó por la semilla de guama y se complementó con el carbón activado elaborado con el endocarpio del coco y arena torpedo. Para evaluar la eficiencia de los materiales mencionados anteriormente se construyó una planta piloto, donde se le realizó el tratamiento al agua residual doméstica proveniente de la Finca las Delicias, ubicada en la vereda Mancilla en el municipio de Facatativá, al mismo tiempo se realizaron los análisis fisicoquímicos en las diferentes etapas de tratamiento. De acuerdo a los resultados obtenidos se infiere que los materiales utilizados fueron positivos para este proceso con bajos costos de construcción, operación y mantenimiento.

Palabras claves: Procesos biológicos, endocarpio de coco, filtro, reactor biológico, semillas de guama, piedra pómez, tratamiento.

Abstract

The present project has as objective assess the efficacy of a compact treatment system of domestic wastewater utilizing reusable materials as standard and PVC tube of 10 inch, otherwise, using alternative materials in the biological system and the filtration unity is easy acquisition by the rural population. In the internal parts of the aerobic reactor provide it of pumice as support and the carbon active it's made in home as coconut skin (endocarp), filter bed and absorption, differently the gravel in the filter part have been replaced by the Guama seed and complemented with the active carbon elaborated with the coconut endocarp and torpedo sand. Qualify for the efficiency of the materials aforementioned an experimental plant was built when it was done the treatment to the domestic wastewater that it came from Las Delicias farm located in Mancilla path from Facatativa municipality in the same time there did it the physicochemical analysis in different treatment stages. Agree with the get results it's conclude that the materials did it was positive for this process with low prices for construction, operation and maintenance.

Keywords: Biological processes, coconut endocarp, filter, biological reactor, seeds Guama, pumice, treatment.

1. Introducción

El agua es uno de los temas más tratados e investigados últimamente, debido a su importancia para la vida, desafortunadamente y durante años se ha malgastado este recurso hídrico sin prestar mayor atención. Las aguas residuales son un producto inevitable de la actividad humana, por consiguiente, se supone la escasez del agua potable en un tiempo no muy lejano considerándose que las zonas más pobladas y desarrolladas han sido incapaces de controlar el uso del recurso hídrico y de igual manera la contaminación por vertimientos a las masas receptoras como lo son los ríos, lagos, estuarios, etc.

Por otro lado, la agricultura es la actividad que demanda la mayor cantidad de agua dulce en el planeta, y utiliza globalmente el 70% de dicho recurso con una extracción hídrica superior a los 11,767 km³ (Alianza Uninorte con el heraldo, 2015). Se estima que el porcentaje a nivel mundial de agua para uso agrícola aumente un 20 % para el año 2035, lo cual significa una evidente presión a los recursos hídricos para satisfacer la demanda alimentaria en el mundo (Cocuy & Arteaga, 2016).

En cuanto a las zonas rurales se evidencia una gran preocupación, ya que no se tiene un manejo adecuado de aguas residuales pues estas son depositadas a cuerpos de agua superficiales, modificando sus características tanto fisicoquímicas como microbiológicas, por consiguiente, se identifica la necesidad de implementar tratamientos efectivos para aguas residuales, asequibles para la población rural y así mismo otorgar un nuevo uso de las aguas residuales en otras actividades.

Las aguas residuales domésticas (ARD), son el resultado de las actividades de viviendas u hogares, establecimientos comerciales, públicos y similares, tanto en zonas

urbanas como rurales, siendo descargadas al sistema de alcantarillado por medio de redes hidráulicas que consecuentemente confluyen en plantas de tratamiento de aguas residuales o son descargadas directamente a los ríos, lagos, etc. Estas aguas se caracterizan principalmente por su alto contenido de materia orgánica y microorganismos procedentes de la orina, heces humanas, aseo personal y la cocina, uno de los mayores problemas al tratar este tipo de aguas es la fracción de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos, que causan mal olor, cambio de color y contaminación en las fuentes hídricas (Díaz, Alvarado, & Camacho, 2012).

Generalmente el mecanismo más importante para la remoción y/o eliminación de la materia orgánica son los procesos biológicos (reactores biológicos), dado que funcionan bajo el principio del metabolismo microbiano, es decir el trabajo que realizan las bacterias en la descomposición de la materia orgánica, siendo esta su fuente de energía y carbono.

Ante tal problemática, se ha planteado una alternativa para el diseño e implementación de un sistema de tratamiento compacto para aguas residuales domésticas que permita reutilizar las aguas tratadas para diferentes actividades agrícolas, en este sistema se evaluarán materiales alternativos como medio de soporte (pepa de guama, piedra pómez y carbón activado a base de cascara de coco) en la unidad de filtración y el reactor biológico, los cuales tienen como ventaja su fácil manipulación, instalación, bajos costos de implementación en el contexto rural.

2. Planteamiento del problema

Durante la última década la descarga de aguas residuales no tratadas se ha intensificado, causando graves problemas ambientales, entre los cuales se destaca, la contaminación del recurso hídrico, pérdida del ecosistema, de la flora y la fauna (acuática), problemas de salud pública asociados a vertimientos de aguas residuales, entre otras. En la actualidad hay una gran preocupación a escala global debido al crecimiento demográfico lo cual ha conllevado a una mayor contaminación de los cuerpos de agua generando un riesgo para la salud de los seres vivos gracias a la inexistencia de PTARs y redes sanitarias hidráulicas para su recolección, la falta de conocimiento de la población, escaso interés de entes gubernamentales, etc. (Arocutipa, 2013).

A nivel global se viene buscando una efectiva implementación de programas para el tratamiento y disposición final de aguas residuales no tratadas; Colombia no ha sido ajena a esta tendencia, implementando alternativas con el fin de controlar la contaminación hídrica; que no han logrado los resultados esperados en términos de eficiencia, (República de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Departamento Nacional de Planeación, 2004).

Las zonas rurales se caracterizan por estar muy cerca al entorno natural (ríos, quebradas, humedales, etc.), asimismo se ha evidenciado una gran problemática en cuanto a la contaminación de fuentes hídricas por vertimientos de agua residual, debido a que en algunas de estas zonas no se cuenta con acueducto, alcantarillado ni plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que resulta costoso la implementación de estos sistemas, no obstante, se desconoce la importancia que estos tienen en cuanto al tratamiento de las aguas

lo que implica su contaminación modificando las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas de las fuentes hídricas donde son descargadas.

Actualmente existen diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas eficientes y de alta tecnología que, sin embargo, pueden resultar costosos; dificultando y limitando a los campesinos acceder a estas tecnologías. Este trabajo pretende lograr una reducción de los contaminantes del efluente mejorando la calidad del agua a bajos costos y de una manera más ecológica dando como solución un modelo de PTAR compacta. Dicho lo anterior, y en razón a buscar soluciones al problema de desaprovechamiento y contaminación de los efluentes en las zonas rurales, se plantea la siguiente pregunta: ¿Cuáles son los materiales alternativos, parámetros de diseño y procesos unitarios que pueden ser utilizados en la construcción de plantas de tratamiento residuales domésticas compactas?

3. Justificación

Al presentar problemáticas de tipo socio ambiental, asociadas entre otras cosas a la disposición final de aguas residuales domésticas que en la mayoría de los casos resulta ser en cuerpos de aguas cercanos, se genera un impacto ambiental significativo, (Xu, y otros, 2018), lo cual hace necesario la instalación de depuradoras y unidades de tratamiento de las aguas servidas (Metacalf & Hedí, 2005) como se citó en (Torres Medina & Briceño Pinzón , 2016) que permitan garantizar el cumplimiento de estándares de calidad de acuerdo con las reglamentaciones existentes, aprovechar el potencial del efluente y minimizar los problemas de salud pública (Agronomía Colombiana, 2008).

Algunos sistemas de tratamiento se caracterizan por tener generalmente tratamiento aeróbico y/o anaeróbico, acompañado de un sistema de floculación/decantación, con el fin de degradar las cargas contaminantes de las aguas residuales. (Cantillo Gonzalez , 2016) afirma, “estas plantas tienen una alta eficiencia, gracias a las tecnologías implementadas en ellas para la depuración de agua, logran una reducción de contaminantes hasta del 93.9 %, permitiendo su vertimiento en fuentes hídricas o su reutilización en algunos casos”.

De este modo se ha diseñado un sistema de tratamiento compacto de aguas residuales domésticas que permita reducir el impacto por vertido de aguas residuales domésticas con miras a reutilizar las aguas tratadas en actividades agrícolas de acuerdo a la normatividad vigente, en este sistema se reemplaza los soportes con materiales alternativos en la unidad de filtración como semillas de *Inga Edulis* (pepa de guama) y carbón activado a partir del endocarpio de coco (cáscara), en el tratamiento aerobio se adiciono carbón activado a partir del endocarpio del coco y piedra pómez, los cuales tienen como ventaja su

fácil manipulación, instalación, bajos costos de implementación y de alcance a la población rural, de igual manera contribuir a la disminución de la contaminación de fuentes hídricas, y/o el uso del recurso en actividades agrícolas como lo son (Cultivos de pastos y forrajes para consumo animal, cultivos no alimenticios para humanos o animales, entre otros), garantizando el reuso adecuado y un mejor aprovechamiento del agua residual doméstica.

Se consideró necesario hacer un análisis fisicoquímico de las aguas residuales antes y después del tratamiento con el fin de evaluar el porcentaje de remoción de la planta de tratamiento compacta, igualmente resulta importante realizar la valoración económica de la construcción, operación y mantenimiento de la planta, y de esta manera justificar su implementación como una alternativa viable para reducir los contaminantes de las aguas residuales domésticas.

4. Objetivos

4.1 General

Evaluar la eficiencia de un sistema de tratamiento compacto para aguas residuales domésticas utilizando materiales alternativos en los reactores biológicos y la unidad de filtración.

4.2 Específicos

- Realizar una caracterización físico – química del agua residual doméstica objeto de estudio.
- Evaluar la eficiencia de la piedra pómez y la cáscara de coco como soporte en el reactor biológico, y las semillas de guama en la unidad de filtración.
- Evaluar el diseño del sistema de tratamiento compacto para aguas residuales domésticas.

5. Marco conceptual

A continuación, se encuentran una serie de conceptos que son punto clave para el desarrollo y la comprensión del trabajo:

- **Caudal:** Es la cantidad de fluido que avanza en una unidad de tiempo. Se denomina también caudal volumétrico o índice de flujo fluido, y que puede ser expresado en masa o en volumen.
- **Anaerobio:** proceso fermentativo que se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y de CO_2 , en ausencia de oxígeno. En este proceso la materia orgánica se transforma más no se destruye.
- **Aerobio:** en este proceso se llevan a cabo procesos catabólicos oxidativos, estos procesos requieren de la presencia de un oxidante de materia orgánica que, mediante la aireación, se introduce por la disolución del oxígeno de la atmósfera, ya que, en el agua residual no se encuentra.
- **Tratamiento biológico:** Procesos de tratamiento en los cuales se intensifican la acción natural de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente. Usualmente se utilizan para la remoción de material orgánico disuelto.
- **Sistema compacto:** Conjunto de elementos unidos de manera organizada, y con dimensiones reducidas.

6. Marco teórico

6.1 Aguas residuales

Son aquellas aguas que contienen residuos, es decir, materias sólidas o líquidas evacuadas como desechos tras un proceso antrópico, en consecuencia, sus propiedades y características originales son modificadas, disminuyendo su potencialidad de uso. Estas aguas están compuestas de componentes físicos, químicos y biológicos; es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos, (Díaz, Alvarado, & Camacho, 2012).

6.1.1 Tipos de aguas residuales.

En la siguiente tabla se detalla la clasificación de las aguas residuales, según su fuente y sus características.

Tabla 1.

Tipos de aguas residuales y características.

TIPOS DE AGUAS RESIDUALES		
Tipo de aguas	Definición	Características
Agua residual domestica	Producidas en las diferentes actividades al interior de las viviendas, colegios etc.	Los contaminantes están presentes en moderadas concentraciones.
Agua residual municipal.	Son transportadas por el alcantarillado de una ciudad o población.	Contiene materia orgánica, nutrientes y patógenas, etc.

Agua residual industrial.	Los resultantes de las descargas de industrias.	Sus contenidos dependen del tipo de industria y/o procesos industriales.
Agua negra.	Contiene orina y heces.	Alto contenido de nutrientes, patógenos, hormonas y residuos farmacéutico.
Agua amarilla.	Es la orina transportada con o sin agua.	Alto contenido de nutrientes, hormonas y alta concentración de sales
Agua café.	Agua con pequeña cantidad de heces y orina.	Alto contenido de nutrientes, patógenos, hormonas y residuos.
Agua gris.	Provenientes de lavamanos, duchas y lavadoras.	Tiene pocos nutrientes y agentes patógenos, por el contrario, presentan máxima carga de productos y detergentes.

Tomado de: Romero R. J. (2001), como se citó en (Arocutipa, 2013).

6.1.2 Agua residual doméstica.

Las aguas residuales domésticas provienen en su gran mayoría de áreas residenciales (cocinas, lavado de ropa, baños, drenajes, entre otros), comerciales y otros usos similares, incluyendo instituciones, que en general se recolectan mediante el sistema de alcantarillado público. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y

microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, y grasas (Espigares & Pérez, s.f.). La composición del agua residual está en función de su uso y las costumbres socio-económicas influyen hasta cierto punto en la composición y en la concentración de los constituyentes más importantes de los residuos líquidos, así mismo estos otorgan al agua residual propiedades físicas, químicas o biológicas indeseables. Según (Arocutipa, 2013) esta agua “se constituye básicamente en; agua, sólidos disueltos y sólidos en suspensión. Los sólidos son una fracción más pequeña (representan menos del 0.1% en 25 peso), pero representa el mayor problema a nivel de tratamiento”.

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica, descritas a continuación:

6.1.2.1 Propiedades físicas.

Sólidos Totales

Los sólidos son materiales suspendidos o disueltos en el agua, que pueden afectar adversamente la calidad del agua, algunas de las fuentes potenciales de aporte de sólidos a las aguas residuales son las actividades agrícolas, pecuarias, domésticas e industriales.

Los sólidos totales son el material resultante en un recipiente, luego del proceso de evaporación de la parte líquida y secado del remanente en horno a 105 °C, durante 24 horas. Al llevar la muestra a un secado de 550 °C se realiza la separación de los componentes orgánicos e inorgánicos, donde las cenizas residuales representan los sólidos inorgánicos también llamados sólidos totales fijos (Argandoña & Macías, 2013), consecuentemente el material que se volatiliza se considera material orgánico dando lugar a los sólidos totales volátiles. Cuando se realizan procesos de filtración se hace la distinción

entre sólidos disueltos y sólidos no disueltos, a los cuales también se les practica el proceso de evaporación.

Los sólidos sedimentables son aquellos que se sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhoff), en un tiempo de 60 min, (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010), esta sedimentación está dada por la densidad de las partículas, una cantidad elevada de estos materiales obstruye el paso de luz a los cuerpos de agua disminuyendo la actividad fotosintética de las plantas acuáticas, por consiguiente se presenta la disminución de OD en el agua, induciendo a la creación de un ambiente anaerobio indeseable (Giraldo, 1995).

En la tabla 2, se resume la clasificación de los diferentes tipos de sólidos que se pueden encontrar en el agua.

Tabla 2

Sólidos en aguas residuales.

	MUESTRA		
	Sólidos totales (residuo a 103°C)	Inorgánicos (residuo a 550°C)	Orgánicos (pérdida a 550°C)
Sin filtrar (en suspensión + disueltos)	Sólidos totales (ST)	Sólidos totales fijos	Sólidos totales volátiles
Filtrada (disueltos)	Sólidos totales disueltos (STD)	Sólidos disueltos fijos	Sólidos volátiles disueltos
Por diferencia	Sólidos en suspensión (SS)		Sólidos volátiles en suspensión (SVS)

Tomado de: (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

Temperatura

La temperatura del agua residual es mayor que la temperatura del agua potable o para abastecimiento, debido a las descargas de agua caliente provenientes del uso doméstico o industrial. Este es un factor importante, ya que interfiere en las reacciones químicas, velocidades de reacción y en distintos procesos que se llevan a cabo durante el tratamiento de las aguas residuales domésticas, algunos de estos son el grado de saturación de oxígeno disuelto, la actividad biológica y el valor de saturación con carbono de calcio (Cruz, 2008).

Turbidez

La turbidez es definida por la cantidad de material particulado o en suspensión tales como arcilla, lodos, materia orgánica o inorgánica finamente disueltos, compuestos orgánicos coloreados y otros microorganismos, que interfiere en su transparencia (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010), para mayor confiabilidad es recomendable que la medición de este parámetro se realice in situ, aunque también puede ser medida en laboratorio, teniendo en cuenta los procedimientos de preservación, transporte y almacenamiento.

La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que hace que la solución se disperse y absorba en lugar de transmitirse en línea recta a través de la muestra (Casanova Acosta, 2017) (Giraldo, 1995), a menor tamaño de partículas se tendrá mayor turbidez del agua, resulta importante su consideración por tres aspectos fundamentales: anti estética, movilidad y filtrabilidad de contaminantes y eficacia de la desinfección (Ramos, 2003).

6.1.2.2 Propiedades Químicas.

Alcalinidad

La alcalinidad se define como la capacidad de neutralización de ácidos (Sette, 1996), algunos ácidos orgánicos pocos resistentes a la oxidación biológica forman sales que aumentan la alcalinidad en las aguas contaminadas y en estado anaerobio, se pueden producir sales de ácidos débiles (Giraldo, 1995), sin embargo, la alcalinidad está dada principalmente en función el contenido de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

Estudios como el realizado por (Glynn & Gary, 1999), no muestra una asociación concluyente de los valores de alcalinidad con problemas en la salud, sin embargo, aguas con alta alcalinidad pueden generar problemas técnicos en la infraestructura de la (PTAR) y rechazo por los usuarios.

Dureza total

La dureza total corresponde a la suma de las concentraciones de los iones calcio y magnesio, causada también por la presencia de iones de estroncio y bario en forma de carbonato o bicarbonato, capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados, (Giraldo, 1995). En el momento en que los bicarbonatos de calcio y magnesio se precipitan como carbonatos insolubles cuando el dióxido de carbono se expulsa por ebullición se presenta una dureza temporal llamada dureza carbónica, en cambio si los sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y de magnesio no se eliminan por ebullición se presenta la dureza no carbónica, descrita también como dureza permanente (Glynn & Gary, 1999).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ corresponde a la cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura específica (generalmente cinco días a 20 ° C) (Argandoña & Macías, 2013). Esta medida es, por tanto, un indicador de la cantidad de OD que será removido del agua durante la asimilación de contaminantes orgánicos (Ramos, 2003), como resultado de las acciones bioquímicas aeróbicas la DBO₅ se usa para medir la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica biodegradable que este inmersa en el agua residual.

(Meseth, 2013) cita en su trabajo:

“La carga orgánica biodegradable de un habitante equivalente se corresponde con un caudal de 250 l/día y una demanda bioquímica de oxígeno de 5 días (DBO₅) de 60 g de oxígeno por día, de acuerdo con la Directiva 91/271 (1991) de la Unión Europea.”

La biodegradabilidad es la capacidad que tiene un material en ser degradado, para su determinación en el agua residual se hace la relación entre la DBO₅ sobre la DQO, esta no es una propiedad intrínseca ya que depende en gran medida de la población microbiológica presente, de este modo se puede dar una aproximación del tipo de tratamiento que se puede realizar (Cisterna & Peña), por consiguiente si la relación resulta más cercana a 1, quiere decir que tiende a ser más biodegradable pudiéndose utilizar tratamientos como lodos activados o lechos bacterianos, por el contrario si el resultado se aproxima a 0.1 quiere decir que es poco biodegradable, donde se tendrá que recurrir a tratamientos más exigentes.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas (Sette, 1996). Para su determinación se mide la cantidad de oxígeno consumido por la porción de la materia orgánica presente en la muestra y oxidable por agente químico oxidante fuerte (Argandoña & Macías, 2013).

El principal objetivo al realizar un tratamiento biológico en aguas residuales es remover la materia orgánica contenida mediante microorganismos presentes tanto en ambientes anaerobios como aerobios, es por ello que la medición de La DBO₅ resulta importante, ya que se presenta una oxidación bioquímica de esta materia orgánica.

Oxígeno disuelto

El oxígeno se encuentra disuelto en el agua debido a la presión del vapor saturado y la temperatura a la que se encuentra el agua (Ramos, 2003), este resulta de diversas fuentes, como por ejemplo las plantas acuáticas y el oxígeno proveniente de la atmósfera siendo este último la principal fuente. Este parámetro es importante para la respiración de los seres vivos y microorganismos aeróbicos que se encuentran en el agua. A medida que la concentración de OD aumenta, la velocidad del crecimiento microbiano también lo hace (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

pH

El pH en cualquier tipo de agua indica la concentración de iones hidronio en una solución, esta es una de las pruebas más importantes y frecuentes (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010), esta notación permite determinar qué tan acida o alcalina es una muestra de agua, ya que si la concentración del ion hidronio no es la adecuada puede

interferir de manera negativa en los diferentes procesos de tratamiento, por lo anterior este debe ser monitoreado constantemente y controlado en caso de alguna alteración, se considera que las aguas residuales domésticas se encuentran en un rango de 6.5 y 8.5 según (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

6.2 Tratamiento de agua residual

El tratamiento de aguas residuales, tiene como objetivo principal remover la mayor cantidad de contaminantes y sustancias objetables que contiene el agua, después de someterse a procesos antrópicos y antes de ser vertidas, de forma que los cauces receptores las puedan asimilar de forma natural y sin causar impactos adversos en el ecosistema.

El tipo de tratamiento que se le realice al agua va a depender de las características del residuo líquido, de su procedencia y la diversidad de contaminantes que se puedan presentar, por ende, existen diversas técnicas que se pueden utilizar, estas se clasifican según su operación en convencionales y alternativas. (Díaz, Alvarado, & Camacho, 2012)

6.2.1 Planta de tratamiento de agua residual (PTAR).

Es una instalación donde a las Aguas Residuales se les retiran los contaminantes, para hacer de ella un agua sin riesgos a la salud y/o medioambiente al disponerla en un cuerpo receptor natural (mar, ríos o lagos) o para la reutilización en otras actividades de nuestra vida cotidiana con excepción del consumo humano (no para ingerir o aseo personal) (Hernández & Sánchez).

En términos generales se puede considerar que las reacciones bioquímicas que ocurren en una PTAR son los mismos que se realizan en la naturaleza (ríos, lagos, suelos, etc.) (Arocutipa, 2013), ya que se llevan a cabo procesos físicos, químicos y biológicos, con

la diferencia de que son controlados y acelerados en tanques o reactores para una mayor efectividad.

6.2.2 Niveles de tratamiento

Según las características del agua residual, se establece el nivel de tratamiento adecuado, dependiendo igualmente del grado de purificación al que se quiera llegar. En algunos casos las aguas pueden ser tratadas en una sola planta de acuerdo a su composición, sin embargo, si el agua proviene de usos industriales, requerirá de tratamientos más exigentes en comparación con el agua de origen doméstica; así mismo el agua proveniente de uso agropecuario, requerirá tratamientos especiales debido a la presencia de gran contenido de materia orgánica.

En una PTAR existe tres tipos de tratamiento, esto son: El tratamiento primario, que radica en remover contaminantes que puedan precipitarse, mediante la sedimentación u otros procesos con el objetivo de realizar una separación parcial de sólidos suspendidos y materia orgánica, para el tratamiento secundario se habla de una remoción de DBO y sólidos suspendidos, y por último para prevenir la eutrofización de fuentes receptoras se retiran nutrientes, siendo este el tratamiento terciario, lo anterior con el objetivo de mejorar la calidad de un efluente y del mismo modo permitir una reutilización y darle nuevos usos.

6.2.3 Etapas de tratamiento

Dentro del proceso de tratamiento que se lleva a cabo en una PTAR, existen diferentes etapas, las cuales cumplen diferentes procesos en función de la remoción de diversos componentes del agua residual en tratamiento. Según (Repsol, gas del Perú) la principal función de un sistema compacto para tratar aguas de origen doméstico está basado en un proceso estándar de tratamiento biológico en donde los efluentes son colectados en

un tanque de equalización (homogeneización de la concentración de materia orgánica), desde donde se bombea a caudal regulado las aguas servidas hasta la Cámara de Aireación (Reactor Biológico). Previamente se cuenta con una Cámara de Rejas para la retención de sólidos gruesos no biodegradables, los que se retiran para su posterior evacuación y disposición final, (Hernández & Sánchez). Las características y la cantidad de lodos que se generan en una planta de tratamiento dependen de varios factores, tales como la composición del agua residual y el tipo de tratamiento utilizado, dice (Araque, 2006).

Para la primera etapa es decir el pretratamiento los procesos son de vital importancia debido a que se realiza la remoción de algunos componentes como aceites y grasas, ya que, pueden generar dificultades tanto en la parte de operación como en la de mantenimiento y pueden asimismo afectar algunos procesos posteriores.

6.2.3.1 Tanque de almacenamiento y/o homogenización.

Estos tanques son concebidos para reducir los picos de caudal, temperatura, pH y contenidos orgánicos para ser introducidos de manera homogénea en los reactores para su tratamiento (Movius, s.f.)

6.2.3.2 Retención de sólidos gruesos (criba).

su principal función es retener los sólidos gruesos que floten o se encuentren suspendido en el agua, pueden ser de limpieza manual (gruesas) o de limpieza mecánica (finas). (Lizarazo Becerra & Orjuela Gutiérrez, 2013)

6.2.3.3 *trampa de grasas.*

Son tanques pequeños de flotación donde la grasa sale a la superficie, y es retenida mientras el agua aclarada sale por una descarga inferior. No lleva partes mecánicas y el diseño es parecido al de un tanque séptico. (RAS , 2000)

6.2.3.4 *reactores biológicos (anaerobio y aerobio).*

El proceso aerobio es un proceso de respiración de oxígeno en el cual el oxígeno libre es el único aceptador final de electrones; el oxígeno es reducido y la materia orgánica o inorgánica es oxidada. Todos los organismos que usan oxígeno libre como aceptor de electrones son aerobios. (Gonzales & Gómez, 2016).

En el Reactor Biológico, se emplea un proceso de oxidación de la materia orgánica (DBO) mediante la formación de lodos activados y por una aireación extendida mediante la inyección de oxígeno y control de los microorganismos aeróbicos los cuales descomponen la materia orgánica presente (digestión aerobia). Estos microorganismos aerobios son elementos primarios y básicos en el lodo activado y son capaces de digerir y depurar la materia orgánica presente en el efluente.

6.2.3.5 *recirculación.*

Este proceso se lleva a cabo dentro de tanques totalmente cerrados, denominados reactores debido a la reacción bioquímica de descomposición que se realiza en ellos (RAS , 2000).

6.2.3.6 *Clarificación.*

Tanque de sedimentación rectangular o circular usado para remover sólidos sedimentables del agua residual. (RAS , 2000)

Como resultado de la separación de la fase solida-liquida (sedimentación, flotación, etc.) o durante los procesos químicos o biológicos y en la mayoría de los procesos de tratamiento normalmente empleados en el tratamiento de las aguas residuales se generan lodos. (Torres, y otros, 2005) los cuales, en la etapa de clarificación por la decantación de lodos pequeños en suspensión, normalmente no podrían sedimentar por gravedad. (Donado, 2013) afirma que cuando se aplica un sistema aerobio a un determinado afluente lo que se espera es que haya una alta cantidad de lodos como subproducto. En los procesos anaerobios el crecimiento celular es bajo, por lo tanto, la tendencia a producir lodo es baja (Romero Rojas, 2004). Sin embargo, como consecuencia de las características aglutinantes del lodo, este se separa del agua por gravedad hacia el fondo de la Cámara de Decantación para su posterior recirculación al Tanque Primario. Posteriormente el Efluente clarificado sale por rebose hacia el Tanque de Almacenamiento de agua tratada desde el cual es bombeada a caudal y presión constante hasta el Filtro donde se remueven los sedimentos y partículas finas.

6.3 Semillas de *Inga Edulis* (guama)

La guama es una planta nativa de Centroamérica, hace parte de las leguminosas (familia Fabácea) y su especie es *Inga Edulis*, (Flórez & Henao, 2013), los estudios sobre el procesamiento y el comportamiento de las propiedades físicas de las semillas son escasos en la literatura, resultando interesante para este estudio.

Según Novoa (1992) citado por (Vela, 2011) la guama es un “un árbol de copa densa, ancha, aparasolada con ramificación simpodial desde el segundo tercio... Los frutos son legumbres de 40 a 190 cm. de largo, color café verduscas, profundamente estriadas,

carneas, que contienen numerosas semillas negras en su interior, rodeadas por un arilo blanquecino, algodonoso y comestible”. (p. 5)

6.4 Piedra pómez

La piedra pómez o pumita es una roca ígnea volcánica de baja densidad y muy porosa, formada principalmente por cuarzo y feldespatos. Sus usos son muy variados y es utilizada en la fabricación de filtros en la industria, esta piedra ejerce una acción de filtro mecánico, gracias a su granulometría y porosidad, y al mismo tiempo retiene en los primeros centímetros de espesor gran parte de sólidos en suspensión que previamente no han sido eliminados, sus poros cerrados le confieren una baja densidad, posee una textura porosa, esponjosa o espumosa. La Escoriácea, cuenta con muchos huecos y cavidades lo que permite que en estas se adhieran a los microorganismos, es decir que allí se van a reproducir (Sanchez, 2016).

6.5 Carbón activado a base de cáscara de coco

El carbón activado es un material extremadamente poroso, con una estructura cristalina reticular similar a la del grafito, teniendo como función principal la adsorción de partículas finas. Puede llegar a desarrollar áreas superficiales internas del orden de 500 a 1500 m² por gramo de carbón (Ramirez, s.f.).

La cáscara de coco se considera favorable para la elaboración de carbón activo gracias a su fácil adquisición, sus características naturales y a su bajo contenido de cenizas luego de la carbonización, (Bravo & Garzon, 2017) mencionan en su tesis que “la cascara de coco es un residuo lignocelulósico procedente de la agroindustria, mediante el cual se puede obtener carbón activado de excelentes características para el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico” (p.2). Puesto que la superficie del carbón es altamente porosa y

extensa, es apta para la adherencia de microorganismos y contaminantes orgánicos, incluyendo los que dan olor, sabor y color, adicionalmente su bajo peso específico permite que las infraestructuras de contención sean menos complejas (Bravo & Garzon, 2017).

“Entre las propiedades que debe tener una materia prima para la producción de carbón activado se cuentan su abundancia, su dureza, una estructura inherente de poros, alto contenido de carbono, bajo contenido de ceniza y alto rendimiento en masa durante el proceso de carbonización. (Gómez, Klose, Rincón, & Wolfgang, 2004, pág. 462)

7. Metodología

7.1 Objetivo 1

Realizar una caracterización fisicoquímica del agua residual doméstica objeto de estudio.

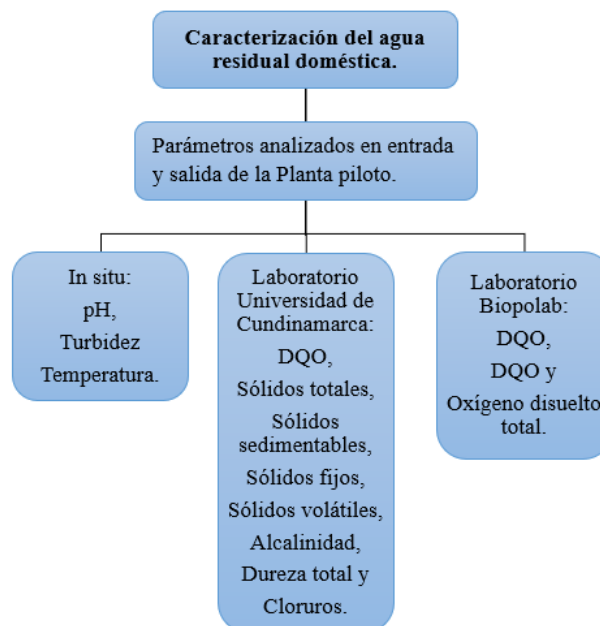


Ilustración 1. Caracterización del agua residual, Autoras.

Durante el monitoreo se recolectaron muestras a través de las metodologías de referencia y en cumplimiento con los lineamientos establecidos en las guías de caracterización, aforo y toma de muestra de agua residual del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), que al mismo tiempo se encuentran bajo los lineamientos del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Apha, Awwa, Wef. 22st Edition, 2012*. Para cada parámetro a evaluar se tuvo en cuenta la metodología descrita en el Anexo 1.

7.2 Objetivo 2

Evaluar la eficiencia de la piedra pómez y la cáscara de coco como soporte en el reactor biológico y la pepa de guama junto con la cáscara de coco en la unidad de filtración.

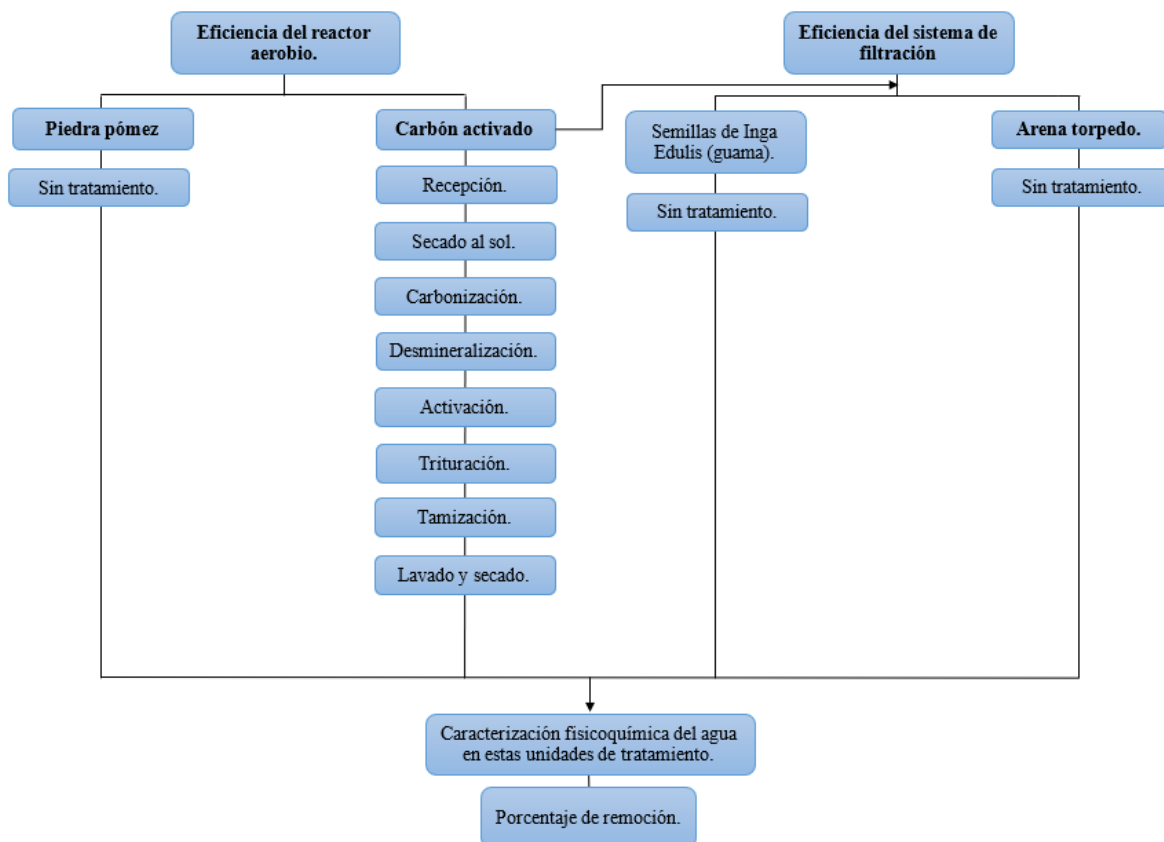


Ilustración 2. Metodología utilizada para cumplir con el objetivo 2 (Bravo & Garzon, 2017)

Para dar cumplimiento al segundo objetivo se diseñó un reactor biológico compuesto por dos unidades uno anaerobio y otro aerobio, adicionalmente se construyó una recirculación de lodos que va conectada del reactor aerobio al anaerobio, en la parte superior del reactor aerobio se inyecta aire por medio de una bomba compresor que va conectada a una manguera y al difusor que se localiza en la parte interna de este; como biofiltro se utilizó 8 kg de piedra pómez equivalente a una capa de 8 cm y 10 kg de carbón activado a partir del (endocarpio del coco) aproximadamente una capa de 7 cm, con el fin de evaluar la eficiencia del reactor biológico.

En cuanto al sistemas de filtración se evaluó la eficiencia del carbón activado como medio filtrante, de este se adiciono 6,8 kg es decir una capa de 7 cm y 5,5 kg de Semillas de *Inga Edulis* (guama) como medio de soporte que corresponde a una capa de 6 cm; para ello se llevó a cabo una caracterización fisicoquímica del agua con los parámetros anteriormente establecidos ver ilustración 1 tanto a la entrada como en la salida de cada sistema por separado. En la ilustración 2 se muestra la metodología para la producción del carbón activado a base del endocarpio del coco que se utilizó en el sistema aerobio y filtración, de igual manera, el proceso que debe tener la piedra pómez en la unidad del reactor y la pepa de guama junto con la arena torpedo en el tratamiento de filtración.

7.2.1 Carbón activado a partir del endocarpio del coco.

Tabla 3

Proceso para la obtención del carbón activado.



 <p>Imagen a. Endocarpio de coco, Autoras.</p>	<p>En primer lugar, se separó el endocarpio “cáscara” del coco, seguido a esto se dejó al secado del sol durante 2 días por 6 horas con el objetivo de eliminar humedad remanente, pasado este tiempo la cáscara se partió en varios trozos para que el proceso de carbonización fuera más uniforme.</p>
 <p>Imagen b. Brasa roja después de carbonización, Autoras.</p>	<p>Cuando se carbonizo se humedeció con agua desmineralizada hasta estar en brasa roja y se dejó enfriar a temperatura ambiente por 15 minutos, en seguida se separaron los trozos de carbón de cenizas y otros residuos, esta carbonización se realizó en el horno de una herrería.</p>



Imagen c. Mufla, Autoras.



Imagen d. DeseCADora, Autoras.



Imagen e. Carbón activado, Autoras.





Para su posterior activación se dejó por 1 hora en la mufla del laboratorio de la universidad de Cundinamarca a 700°C, esta activación se hace mediante un proceso térmico que consisten en provocar una oxidación parcial del carbón y así lograr que se formen los poros, pero evitando que se gasifique y se pierda más carbón del necesario, luego de esto se llevó a la desecadora por aproximadamente 30 minutos para adsorber la humedad persistente. Es de aclarar que en la imagen del material desecante no estaba activo, dado que este ya había reaccionado.

Después se pasó por un tamiz de 1,7 mm con el fin de separar las partículas de menor diámetro, seguido a esto se lavó con abundante agua el carbón para eliminar cualquier tipo de impurezas (cenizas), terminada esta etapa el carbón se llevó al horno precalentado a 150°C por 30 minutos aproximadamente para secarlo.

Fuente: Autoras.

Tabla 4

Materia prima del sistema de tratamiento.

 <p>Imagen a. Piedra pómez, autoras.</p>	<p>La piedra pómez se implementó en el reactor aerobio, sin realizarle ningún tipo de modificación.</p>
 <p>Imagen b. Pepa de Guama, Autoras.</p>	<p>Semilla de <i>Inga Edulis</i> (guama), se implementó en el sistema de filtración.</p>
 <p>Imagen c. Carbón activado</p>	<p>Carbón activado a partir del endocarpio del coco (ver tabla 3)</p>
 <p>Imagen d. Arena torpedo, Autoras.</p>	<p>La arena torpedo se adiciono a la unidad de filtración.</p>

Fuente: Autoras.

7.3 Metodología para el objetivo 3

Evaluar el diseño del sistema de tratamiento compacto para aguas residuales domésticas.

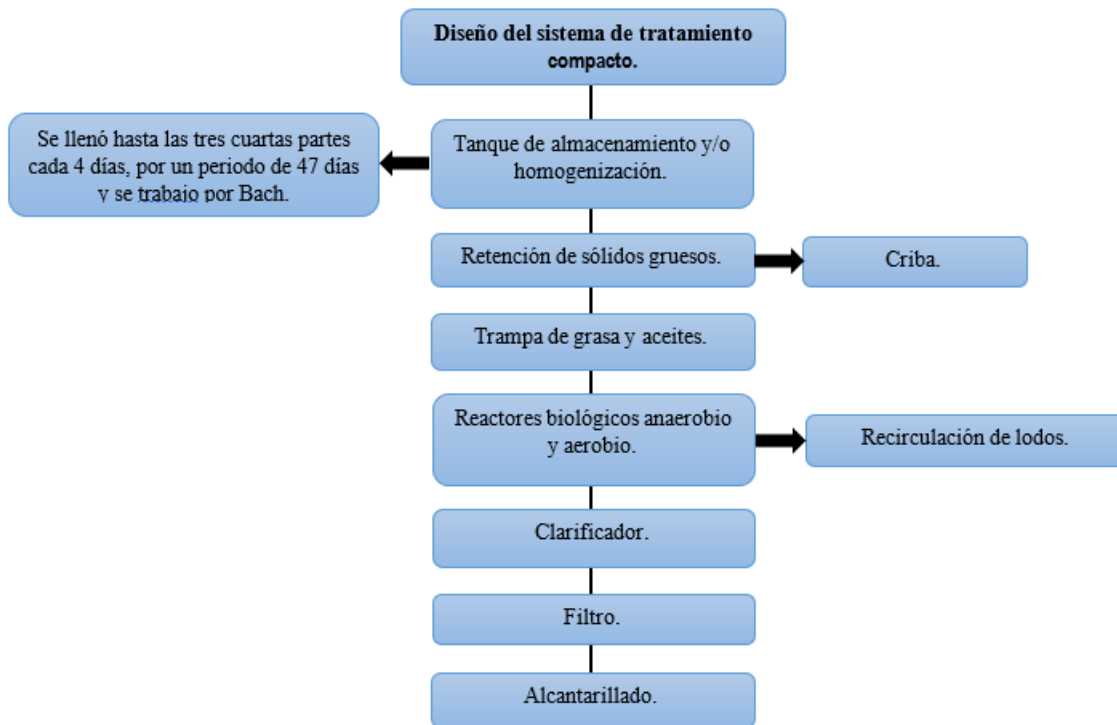


Ilustración 3. Diseño de un Sistema de Tratamiento Compacto para Aguas Residuales Domésticas, Autoras.

Para la construcción de la planta de tratamiento compacta de agua residual doméstica piloto, se tuvo en cuenta el caudal e información extraída de literatura respecto a los parámetros contemplados en el primer objetivo (ver ilustración 1.) debido a que todas las aguas residuales domésticas tienen características similares. Para ello se realizaron aforos utilizando el método volumétrico descrito en el anexo 1, debido a que es aplicable en la medición de caudales pequeños. Dentro de las etapas de construcción se empleó un tratamiento primario (tanque de almacenamiento y/o homogenización, retención de sólidos, trampa de grasas) y un tratamiento secundario (reactores biológicos aerobio y anaerobio, sistema de clarificación y filtración), como se puede evidenciar en la ilustración 3.



7.4 Construcción, operación y mantenimiento del sistema de tratamiento

El diseño del sistema de tratamiento de agua residual doméstica es compacto, construido con tubería PVC de 10 in que permite una fácil instalación, esta planta funciona con un tratamiento biológico, es totalmente hermética y adicionalmente trabaja a gravedad.

Cada una de las unidades que la conforman está construida con los siguientes materiales:

Tabla 5

Materiales utilizados para la construcción de la PTAR.

 <p><i>Imagen a. Tubo PVC de 10 in, Autoras.</i></p>	<p>Se utilizó tubería sanitaria de 5 m x 10 in, y dividió en 6 tramos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 4 de 75 cm • 1 de 40,6 cm • 1 de 26 cm
 <p><i>Imagen b. Tapas plásticas, Autoras.</i></p>	<p>Tapas en material reciclable (canecas plásticas), estas se utilizaron para sellar y unir los 6 tramos de tubo y se perforaron con una broca de 1 in.</p>



Fuente: Autoras.

Toma muestra.

Se instalaron 4 registros:

- 3 de 1 in
- 1 de ½ in

Los 3 registros de 1 in son utilizados como toma muestras y el registro de ½ in es utilizado para graduar la velocidad de la recirculación de los lodos, estos se encuentran ubicados de la siguiente manera:

- Tanque de almacenamiento o homogenización (registro 1).
- Salida trampa de grasas (registro 2).
- Conexión entre el reactor aerobio y clarificador (registro 3).
- Recirculación de lodos (registro 4)

7.5 Dirección del flujo

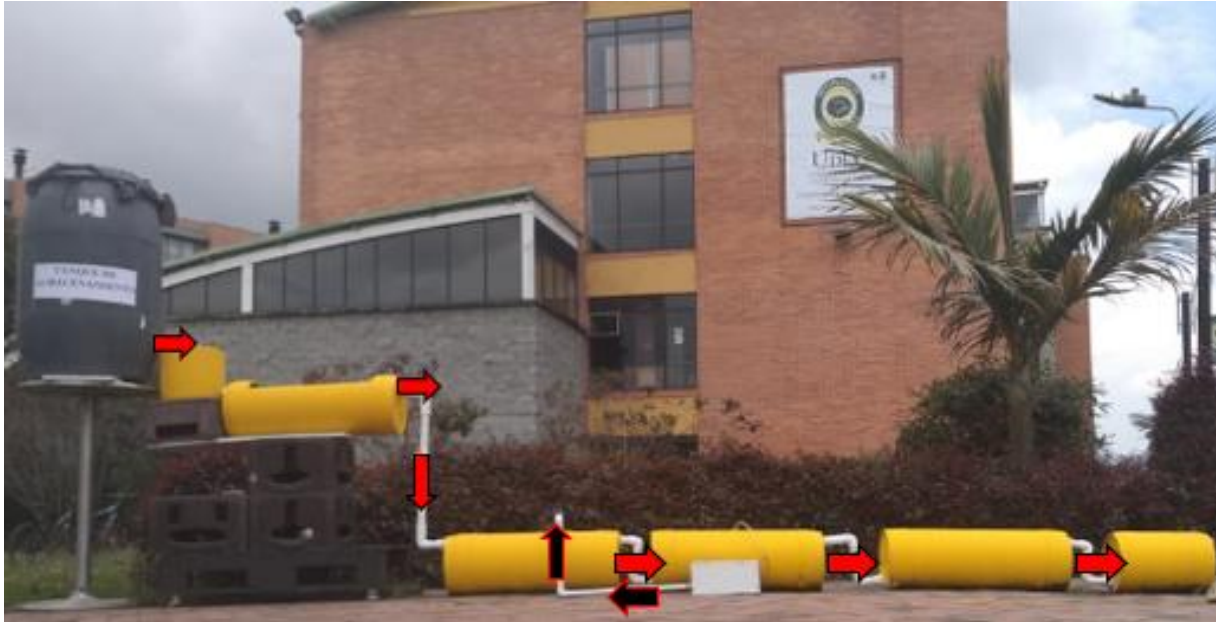


Figura 1. Dirección del flujo de agua en la Planta piloto, Autoras.

En la Figura 1 se muestra la dirección del agua a tratar, las flechas de color rojo indican la trayectoria del flujo y las de color negro la recirculación de lodos.

7.6 Etapas de tratamiento

En el sistema de tratamiento que se construyó, se identifican las siguientes etapas de tratamiento:

❖ Tratamiento primario

- Tanque de homogenización o recepción de caudal.
- Retención de sólidos gruesos o criba.
- Trampa de grasas.

❖ Tratamiento secundario

- Reactores biológicos (anaerobio y aerobio).
- Clarificador.
- Filtro.

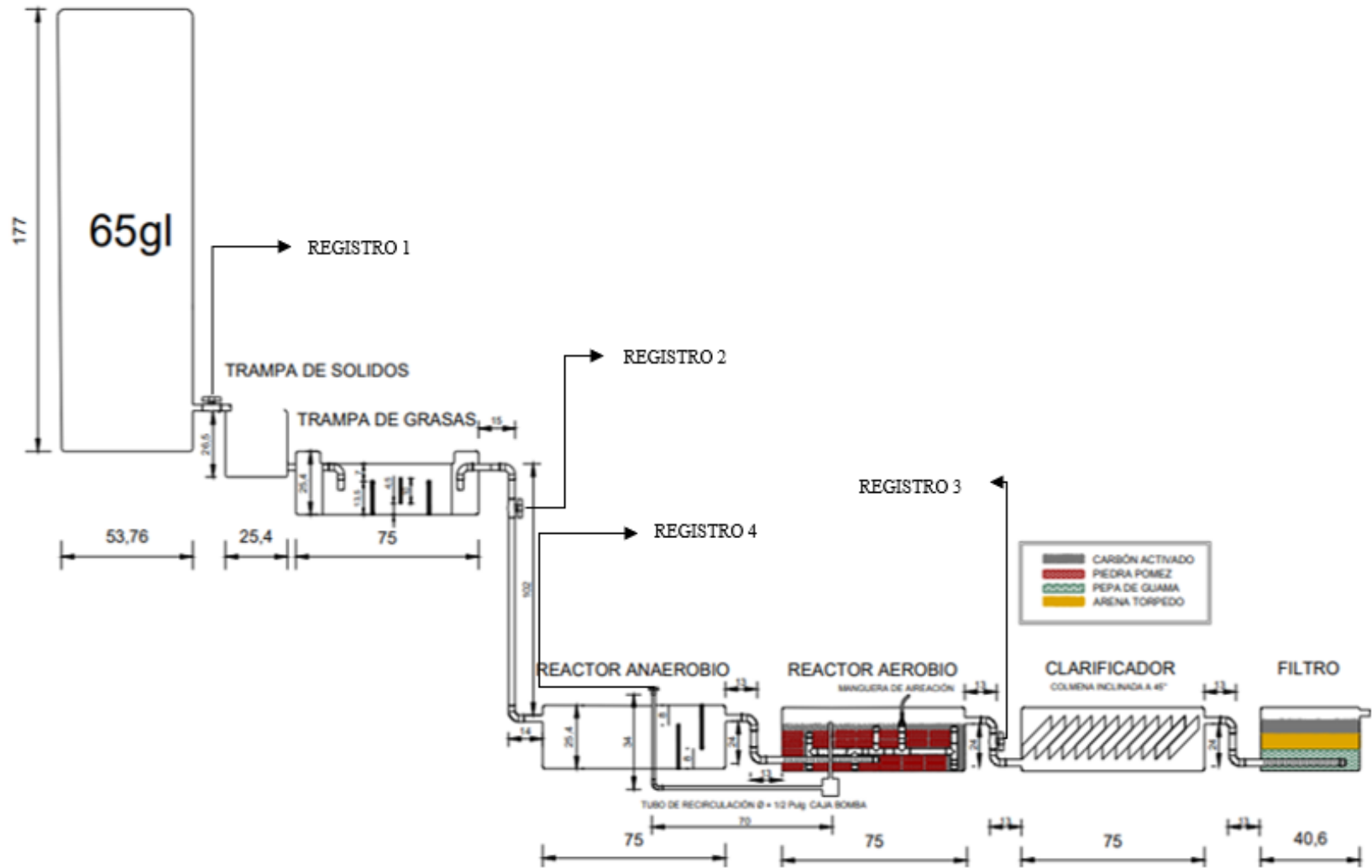


Figura 2. Prototipo Planta de Tratamiento de Agua Residual Doméstica, Autoras.

7.6.1 Tratamiento primario.

Tabla 6

Tanque de almacenamiento u homogenización



Unidad	Descripción.
 <p><i>Imagen a. Tanque de almacenamiento u homogenización, Autoras.</i></p>	<p>Para el tratamiento primario se instaló un tanque con capacidad para 65 galones que hace la función de almacenamiento y permite homogenizar el agua de entrada al sistema.</p> <p>Este se llenó hasta las tres cuartas partes de agua residual doméstica y se dejó totalmente hermético con el fin de mantener similares las condiciones fisicoquímicas del agua a tratar desde el inicio hasta el final del bach, en la parte inferior del tanque se instaló un registro PVC de 1 in para controlar el caudal que requiere la PTAR para su óptimo funcionamiento Figura 2 (registro 1).</p>
 <p><i>Imagen b. Depósito de agua cruda, Autoras.</i></p>	<p>El agua a tratar fue recogida en la finca Las Delicias ubicada en la vereda Mancilla del municipio de Facatativá, esta se transportó a la Universidad de Cundinamarca.</p>



Imagen c. Trampa de sólidos o Criba.

El flujo que ingresa a la trampa de sólidos por medio de un registro de 1 in que se encuentra ubicado en la parte inferior del tanque de almacenamiento o homogenización, esta unidad se construyó con un tubo PVC sanitario con las siguientes dimensiones:

- Largo: 26 centímetros
- Diámetro: 10 in

Este proceso se encarga de retener los sólidos ayudado por un tamiz o rejilla fina de limpieza manual de 1,7 mm con una inclinación a 45° respecto a la horizontal, a fin de evitar que se pasen los sólidos gruesos mayores a 1.7 mm al siguiente proceso y puedan interferir en el tratamiento de los demás sistemas.

Fuente: Autoras.

Tabla 7

Construcción de la trampa de grasas



Imagen a. Construcción trampa de grasas, Autoras.

Para la construcción de la trampa de grasas se perforo una ventana en la parte superior del tubo de PVC, con el objetivo de poder verificar su funcionamiento. Esta unidad, trabaja en forma de flujo vertical.

dimensiones:

- Largo: 75 cm
- Diámetro: 10 in



Imagen b. Corte de la parte inferior de las canecas, Autoras

Seguido a esto se cortaron 3 canecas solo la parte inferior, y se utilizaron como pantallas a 90° de inclinación.

Fuente: Autoras.

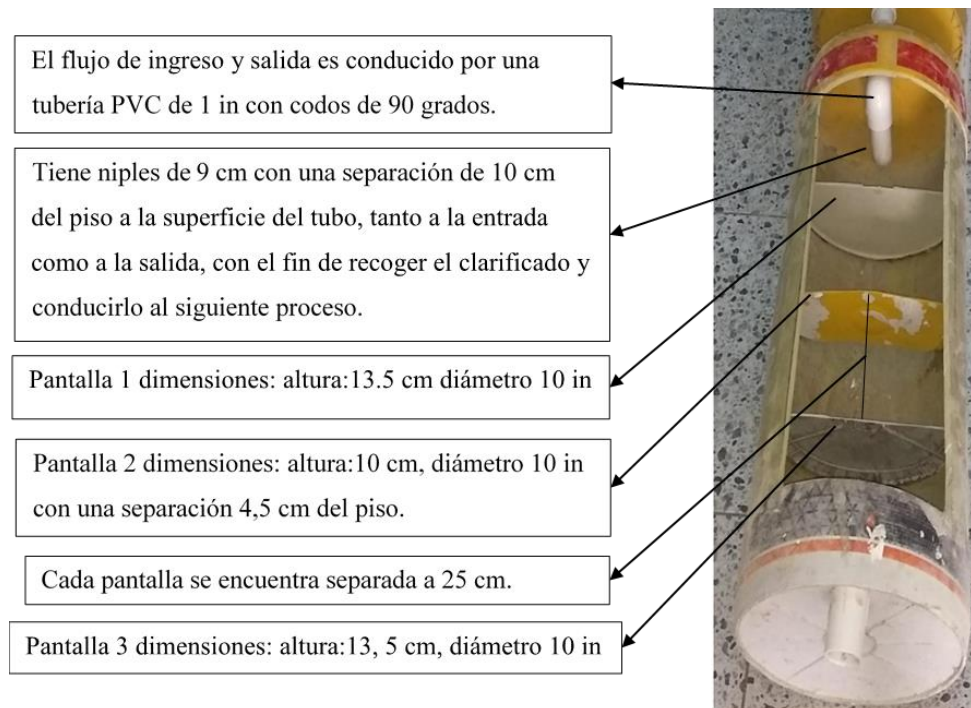


Imagen c. Especificaciones de la trampa de grasas, Autoras

Se instaló un registro de PVC de ½ in ver figura 2 (registro 2), como toma muestra en la tubería de salida para realizar los análisis descritos anteriormente en la *ilustración 1*.

7.6.2 Tratamiento secundario.

Se instalaron dos reactores biológicos (anaerobio y aerobio) con el fin de reducir la carga orgánica bajo un proceso microbiano eliminando componentes solubles presentes en el agua.



REACTOR ANAEROBIO

REACTOR AEROBIO

Imagen a. Reactores anaerobio y aerobio, Autoras.

7.6.2.1 Reactor anaerobio.

Esta unidad opera herméticamente y es la encargada de realizar la transformación de la materia orgánica, está construida en tubo PVC de 75 cm x10 in, en su parte interna se instalaron dos pantallas a 90° una se encuentra pegada a la parte inferior del tubo y la segunda en el parte superior, esto con el objetivo de retener el aire que es inyectado en el reactor aerobio.



Imagen a. Reactor anaerobio, Autoras.







Imagen b. Pantalla pegada en la parte inferior del reactor anaerobio, Autoras.



Imagen c. Pantalla pegada en la parte superior del reactor anaerobio, Autoras.

7.6.2.2 Reactor aerobio.

 <p><i>Imagen a. Difusor entrada del flujo, Autoras.</i></p>	<p>El flujo entra a este sistema por la parte inferior del tanque el cual conecta a un difusor construido en una tubería PVC de 1 in, este tiene ranuras con espacios de 5 mm, y al final lleva un tapón de 1 in, esta unidad trabaja de forma ascendente.</p>
 <p><i>Imagen b. Difusor espina de pescado, Autoras.</i></p>	<p>A un costado de este se instaló un difusor en PVC de ½ in en forma de espina de pescado por donde se inyecta el aire.</p>
 <p><i>Imagen c. Compresor de aire, Autoras.</i></p>	<p>Compresor de aire, el cual es utilizado para la inyección de aire en el sistema aerobio.</p> <p>Especificaciones técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dos entradas de aire • 0.006 potencia Hp • 0,004476 kw • 110 volts • 0,05 Amp • 0,01 Kva

 <p>Imagen d. otros materiales requeridos, Autoras.</p>	<p>Para llevar a cabo la inyección de aire se utilizaron los siguientes materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manguera transparente para bombas de acuario pequeña, de plástico siliconado de alta resistencia y duración, de 9 mm x 1 m, • una Tee y • un Buje de reducción de bronce de ½ a 3/8 in.
---	---

Fuente: Autoras.

❖ Construcción inyección de aire.



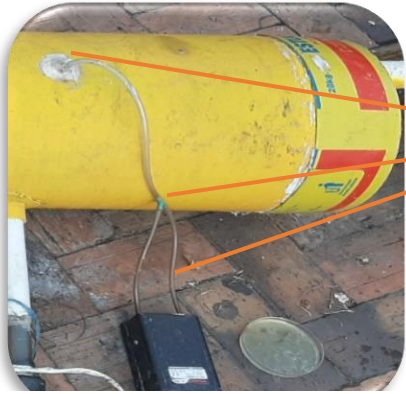
Imagen e. Reactor aerobio, Autoras.

Para inyectar del aire al reactor aerobio fue necesario perforar un tubo de PVC de 75 cm x 10 in, en la parte superior con un agujero de 9 mm por donde se introdujo la manguera.

En el interior del tubo se ensambló la manguera al difusor, por medio de un buje de reducción de ½ a 3/8 in.



Imagen f. Inyección de aire interna, Autoras.



Por la parte superior externa del mismo tubo se extrajo la manguera y se unió a una tee de 3/8 para conectar las dos entradas al compresor.

Imagen g. Inyección de aire, Autoras.

Adicionalmente, con el objetivo de aumentar el área de retención y el crecimiento de microorganismos, el reactor se cargó con:

- 8 kilos de piedra pómez equivalente a una capa de 8 cm.
- 10 kilos de carbón activado obtenido del endocarpio de coco equivalente a una capa de 7 cm.



Imagen h. Capa de piedra pómez, Autoras



Imagen i. Capa de carbón activado, Autoras.

❖ Construcción recirculación de lodos

Para la recirculación de lodos se perforo la parte inferior del reactor aerobio y en la parte superior del reactor anaerobio.



Imagen j. Reactor aerobio, Autoras.

Para el bombeo de la recirculación se usa una bomba centrífuga con las siguientes especificaciones:

- 0.010 potencia Hp
- 0,00746 kw
- 110 volts
- 0,08 Amp
- 0,02 Kva



Al adaptador macho que se encuentra en la parte inferior de reactor aerobio se soldó un niple de 1 in y se conectó una manguera tipo cristal de 1 in con soldadura de sika flex, la otra punta de la manguera va conectada a la bomba centrífuga.

Para la salida de la bomba se conecta una manguera cristal de ½ in la cual se fija a la bomba y la otra punta se ensambla a una tubería de ½ in PVC alta presión.

Imagen k. Entrada y salida de bomba de recirculación de lodos, Autoras.

La tubería de ½ in de alta presión se conecta al reactor anaerobio por su parte superior, a esta tubería se le instaló un registro de ½ in de PVC, ver Figura 2 (registro 4) para graduar el caudal de la recirculación de lodos.



Imagen l. Recirculación de lodos, Autoras.

7.6.2.3 Clarificador.

Esta estructura fue diseñada para la retención de sólidos, está construido en tubo PVC sanitaria, en su parte interna contiene una colmena a 45° de inclinación y trabaja de forma ascendente.

Dimensiones:

- Largo: 75 cm
- Diámetro 10 in



Imagen a. Colmena, Autoras.



Imagen b. Ubicación de la colmena al interior del reactor, Autoras.

7.6.2.4 Sistema de filtración.

El flujo entra a este sistema por la parte inferior del tanque con una tubería de 1 in PVC de alta presión, la cual va conectado a un difusor con ranuras espaciadas a 5 mm y al final de este un tapón de 1 in.

Dimensiones

- Altura 26 cm
- Diámetro 10 in



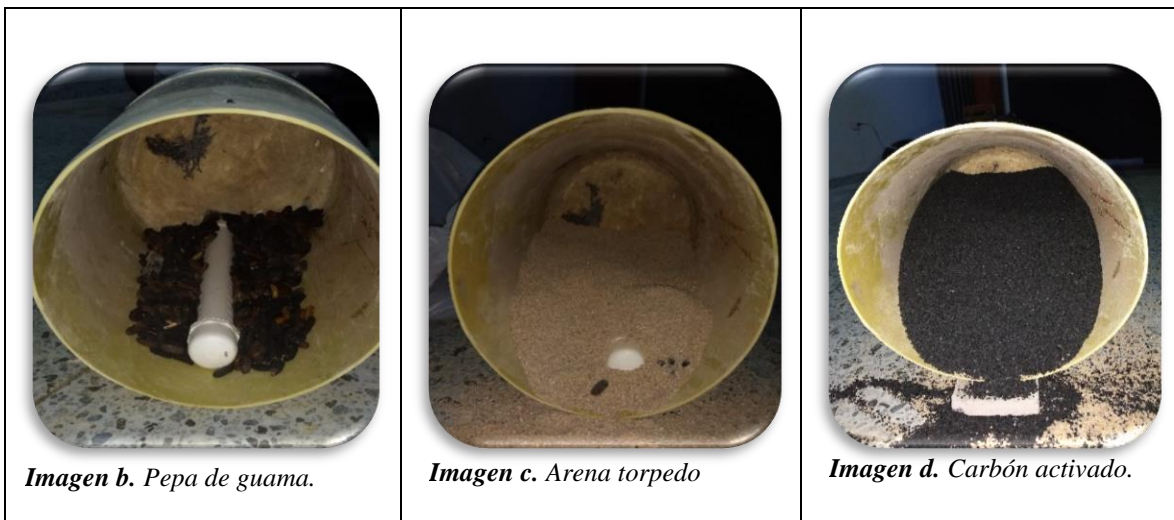
Imagen a. Filtro, Autoras.

Este sistema se cargado al 60 % con Semillas de Inga Edulis (guama) como soporte y como medios filtrantes (arena torpedo y carbón activado) de la siguiente manera.

- Pepa de guama capa de 6 cm equivale a 5.5 kg
- Arena torpedo capa de 4 cm equivale a 4.5 kg
- Carbón activado capa de 7 cm equivale a 6.8 kg

Tabla 8.

Materia prima en el interior del filtro.



Fuente: Autoras.


7.6.3 Manual de mantenimiento


El manual de mantenimiento ha sido desarrollado en el anexo 2, con el propósito de indicar los procedimientos básicos para que el personal ejecute cada una de las actividades de mantenimiento correspondientes a la planta de tratamiento de agua residual compacta, obteniendo una adecuada calidad de servicio y así poder conservar la vida útil del sistema, el mantenimiento se debe realizar cada 6 meses antes de que se colmate la unidad de filtración.

7.7 Medición de caudales

Tabla 9

Descripción del procedimiento para la medición del caudal.

Unidad	Descripción
 <p><i>Imagen a. Medición de caudal de entrada, registro 1, Autoras.</i></p>	<p>Para determinar el caudal se abrió el registro que se encuentra en la parte inferior del tanque de almacenamiento u homogenización, ver figura 2 (registro 1), para ello se realizó un monitoreo por el método volumétrico ya que tiene como ventaja ser el más sencillo y confiable además de ser utilizado para medir caudales pequeños, el caudal se midió tanto a la entrada como a la salida de la PTAR, por un periodo de 4 horas durante 1 día, este monitoreo se efectuó desde las 9:11 am hasta las 12:20 pm. Los instrumentos que se utilizaron en este proceso fueron:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un vaso aforado de 1000 ml, • Un cronómetro

 <p>Imagen b. Medición de Caudal en el filtro, Autoras.</p>	<p>Para hallar el caudal de entrada se ubicó el vaso aforado de 1000 ml en la criba, y se gradúo el registró con el fin de calcular el tiempo que tardo en llenar el vaso hasta 800 ml con ayuda del cronómetro conservando un nivel constante en el tanque de alimentación, el vaso aforado siempre se mantuvo bajo la descarga de tal manera que recibiera todo el flujo, conservando el nivel del tanque de alimentación el cual permaneció constante, de igual manera se determinó el caudal de salida directamente en el filtro, los datos obtenidos se evidencian en la tabla 10 y 11.</p>
---	--

Fuente: Autoras.

7.8 Evaluación técnica del sistema

Para la evaluación técnica del sistema se realizó un análisis fisicoquímico al inicio y final del tratamiento, a fin de generar un comparativo y evaluar la eficiencia de la PTAR.

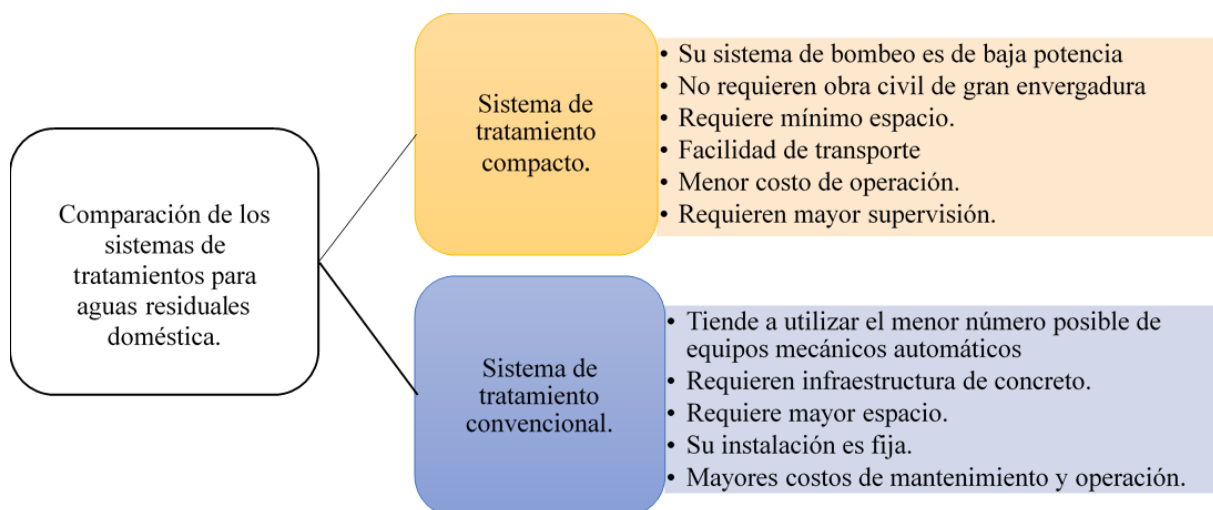


Ilustración 4. Comparación de dos tratamientos para aguas residuales uno compacto y convencional.

8. Análisis y resultados

8.1 Determinación de caudal

Se realizó la determinación de un caudal máximo con el fin de determinar la capacidad a la cual puede llegar la planta y un caudal operativo con el que trabajo durante la etapa de experimentación.

El caudal con el que se operó la planta piloto fue de 0.0217 l/seg, de acuerdo a las mediciones realizadas en campo, datos que se reflejan en las tablas 10 y 11.

❖ ENTRADA

Tabla 10

Resultados medición de caudal en la entrada de la PTAR.

Hora	Volumen ml	Tiempo s	Promedio ml/s
9:11 am	800	36	22.22
10:11 am	800	35	22.86
11:11 am	800	40	20,00
12:11 am	800	41	19,51
TOTAL			84,59

Fuente: Autoras.

❖ SALIDA

Tabla 11*Resultados medición de caudal en la salida de la PTAR.*

Hora	Volumen ml	Tiempo s	Promedio ml/s
9:20 am	800	32	25,00
10:20 am	800	35	22,86
11:20 am	800	40	20,00
12:20 am	800	42	19,05
TOTAL			86,91

Fuente: Autoras.

Cálculos

❖ ENTRADA

Tiempo promedio:

Ecuación 1.

$$\text{Tiempo promedio} = \frac{\text{Total Promedio}}{\text{Periodo}} = \text{ml/seg}$$

Donde:

Ecuación 2.

$$\text{Promedio Caudal} = \frac{84,59\text{ml/seg}}{4} = 21,15\text{ml/seg}$$

Caudal:

Ecuación 3.

$$Caudal = \frac{Total L}{seg} = \frac{l}{seg}$$

Donde:

Ecuación 4.

$$Caudal = 0.021 \frac{l}{seg}$$

Se realiza la conversión a m³/h:

Ecuación 5.

$$Caudal = 0.021 \frac{l}{seg} * \frac{0.001 m^3}{1 l} * \frac{3600 seg}{1 h} = 0.0756 \frac{m^3}{h}$$

❖ SALIDA

Se utiliza la ecuación 1, para hallar el tiempo promedio:

Ecuación 6.

$$Promedio Caudal = \frac{86,91 ml / seg}{4} = 21.73 ml / seg$$

Luego con la ecuación 3, se halla el caudal.

Ecuación 7.

$$Caudal = 0.0217 \frac{l}{seg}$$

De igual manera se realiza la conversión a m³/h:

Ecuación 8.

$$Caudal = 0.0217 \frac{l}{seg} * \frac{0.001 m^3}{1 l} * \frac{3600 seg}{1 h} = 0.078 \frac{m^3}{h}$$

En las tablas 10 y 11 se evidencia que las fluctuaciones de los tiempos en las diferentes muestras no tuvieron mayor diferencia, por lo cual no se consideró necesario realizar más muestreos para el cálculo del caudal.

A continuación, se describen los resultados obtenidos de las diferentes pruebas que se realizaron al agua residual doméstica, en diferentes etapas de tratamiento y en diferentes fechas, con el fin de evaluar la efectividad de los materiales que se utilizaron, de la misma manera se analiza la efectividad del sistema de tratamiento en general.

Tabla 12

Resultados de los parámetros analizados, en las diferentes etapas de tratamiento.

PARAMETROS	ENTRADA	TRAMPA	REACTOR	FILTRO
Alcalinidad mg/L (CaCO ₃)	39	36	24	20
	40	35	21	19
	42	38	20	15
Dureza total mg/L (CaCO ₃)	110	106	100	82
	113	99	90	80
	113	102	90	60
	95	81,1	80,07	75,06
Turbiedad (NTU)	353			201
	300			124
	212			180
	200			115
	289			97
	294			99
	195			51
	183			50
Cloruros mg/L	27,5	22,12	21,9	21,3
	28	20,21	19,49	18,43
	28,7	20,56	18,79	17,02
	28,62	19,5	18,43	14,53

	7,76	6,86	7,17	6,65
	7,85	7,59	7,8	6,8
Ph	8,08	7,4	7,53	7,37
	8,08	7,42	7,5	7,4
	7,9	7,47	7,64	7,34
	7,8	7,7	7,6	7,6
Temperatura °C	26	26	26	26
	26	18,8	18,6	18,3
	17	17	17	17
DQO mgO ₂ /L	914		759	588
	900		720	570
	885		359	203
	871		331	260
Oxígeno disuelto mg/L	0,12		0,11	0,06
solidos totales mg/L	1160,0			874,3
	1411,4			930,0
	648,6			498,6
solidos fijos mg/L	277,1			121,4
	332,9			167,1
	281,4			224,3
solidos volátiles mg/L	882,9			752,9
	1078,6			762,9
	367,1			274,3
solidos sedimentables mg/L	4,0			0
	3,8			0
	3,5			0

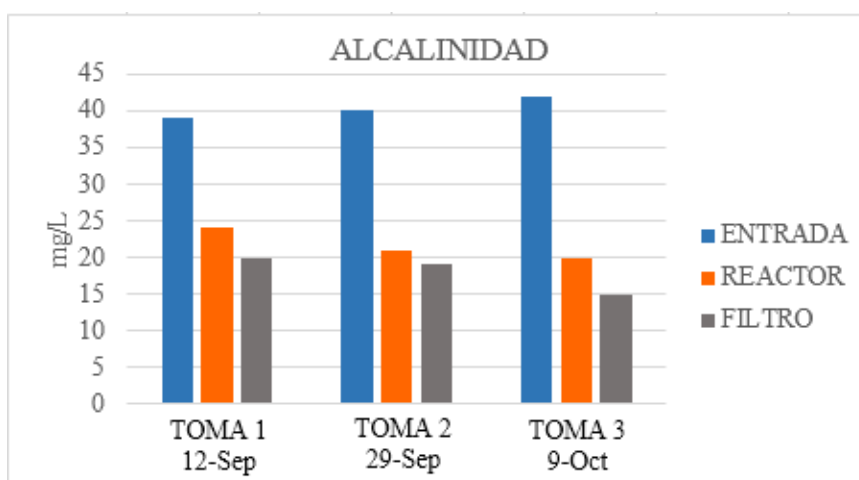
Fuente: Autoras.

Los parámetros que se estudiaron para la caracterización fisicoquímica del agua residual en las diferentes etapas de tratamiento se compilan en la tabla 12, algunos se llevaron a cabo en campo (turbiedad, pH, temperatura y sólidos sedimentables) y otros en

laboratorio (alcalinidad, dureza total, cloruros, DBO₅, DQO, Sólidos totales), las muestras fueron tomadas en fechas distintas desde el 4 de septiembre hasta el 9 de octubre.

Es de importancia mencionar que las pruebas de DBO₅, DQO y oxígeno disuelto se realizaron en el laboratorio Biopolab en Bogotá sin embargo los resultados de DBO₅, no fueron coherentes en relación a los resultados de DQO y oxígeno disuelto, razón por la cual no se tiene en cuenta el análisis de este parámetro.

8.2 Alcalinidad



Gráfica 1. Relación de la alcalinidad entrada, reactor y filtro, Autoras.

La alcalinidad del agua residual está dada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos, que pueden variar con el pH (Bojaca, 2005). En la Gráfica 1 se puede evidenciar que los datos obtenidos disminuyeron considerablemente en relación de la entrada al reactor y al filtro en cada una de las tomas, se infiere que los subproductos generados del metabolismo microbiano tienden a bajar el pH, implicando el consumo de una gran cantidad de alcalinidad, que será reflejada en la reducción de este parámetro (Casanova Acosta, 2017); durante el proceso se pueden producir sales de ácidos débiles formados a partir de algunos ácidos orgánicos poco resistentes a la oxidación biológica,

estos pueden aumentar la alcalinidad en el agua residual contaminada y en estado anaerobio (Giraldo, 1995), si la alcalinidad se aumenta descontroladamente hace que el pH aumente de la misma forma, alterando los procesos químicos llevados a cabo en el tratamiento y por los microorganismos allí presentes llegando a ocasionar su muerte afectando la efectividad del proceso, es por ello que resulta ser un parámetro de gran importancia en este tipo de tratamientos y debe ser controlado en la medida de lo posible para evitar este tipo de alteraciones. En la Tabla 13 se estipula que el porcentaje de remoción en el reactor tubo una eficiencia del 46% respecto a la entrada, es decir, que cada uno de los materiales adicionados apporto de manera positiva al tratamiento, permitiendo llevar a cabo reacciones con iones hidrógeno, aceptación de protones y neutralización de ácidos (Romero, 2009).

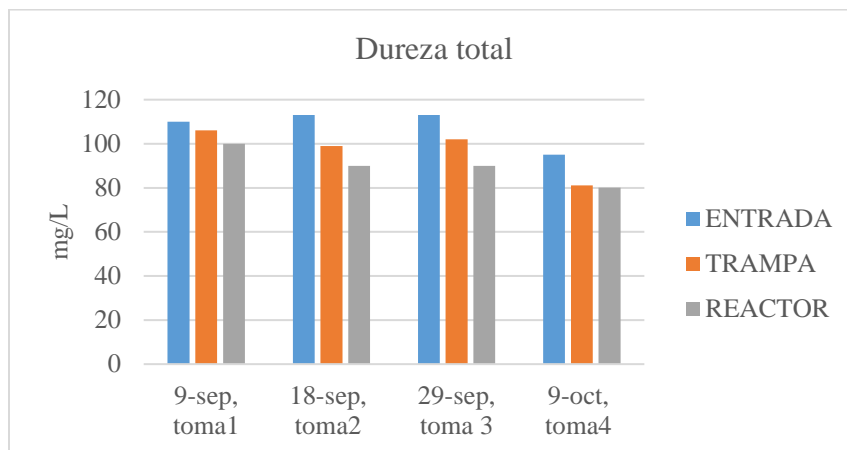
Tabla 13

Porcentajes de remoción de alcalinidad en reactor y filtro, respecto a la entrada.

Toma de muestras	% Remoción entrada- reactor	% Remoción entrada -filtro
12-sep	38,5	49
29-sep	47,5	53
9-oct	52,4	64
% REMOCIÓN (Promedio)	46	55

Fuente: Autoras.

8.3 Dureza total



Gráfica 2. Relación dureza total en entrada, reactor y filtro, Autoras.

La dureza del agua es causada por la presencia de iones de calcio, magnesio, en forma de carbonato o bicarbonato, capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados, (Rodríguez, 2007), En cuanto a la dureza total, corresponde a la suma de las concentraciones de los iones calcio y magnesio. La dureza es indeseable en algunos procesos de lavado debido a que no produce espuma con el jabón al contrario genera precipitados gracias a los iones metálicos divalentes como calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), estroncio (Sr^{2+}), fierro (Fe^{2+}) y aniones como bicarbonato (HCO_3^-), sulfatos (SO_4^{2-}), cloruros (Cl^-), nitratos (NO_3^-) y silicatos, (Soto, 2010) presentes (Soto, 2010). Según la clasificación de (Romero, 2009), el agua en estudio se encuentra dentro del rango de moderadamente dura dados los valores obtenidos en la Tabla 12. En la Gráfica 2, se evidencia una disminución de la dureza a la salida del filtro en los diferentes muestreos, esto quiere decir que los bicarbonatos de calcio y de magnesio se precipitan como carbonatos insolubles cuando el dióxido de carbono se expulsa por ebullición (Glynn & Gary, 1999), adicionalmente por la presencia de carbonato de potasio que se precipita como sales de carbonatos (Gómez, s.f.), lo anterior expresa una eficiencia del 30.6% en el filtro

respecto a la entrada, ver Tabla 14. De igual manera se realizó un muestreo en la salida del reactor, dando una eficiencia del 16.4% en ese proceso, por lo cual se infiere que este proceso influyo positivamente en la reducción de la dureza.

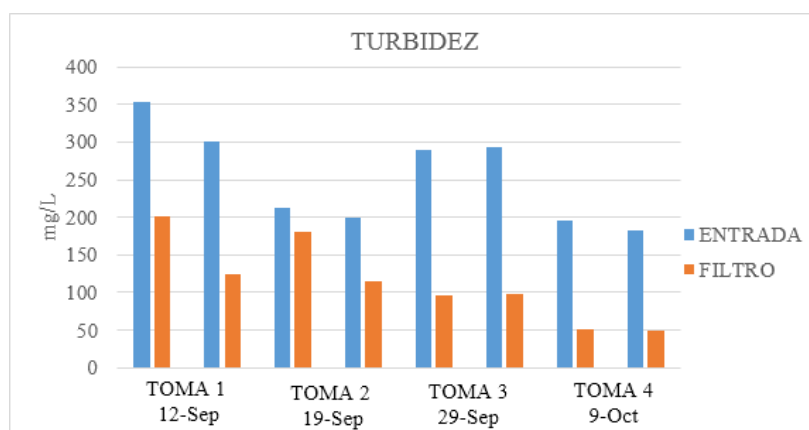
Tabla 14

Porcentaje de remoción de dureza total en reactor y filtro, respecto a la entrada.

Toma de muestras	% Remoción entrada-reactor	% Remoción entrada -filtro
9-sep	9.1	25
18-sep	20.4	29
29-sep	20.4	47
9-oct	15.7	21
% REMOCIÓN (Promedio)	16.4	30.6

Fuente: Autoras.

8.4 Turbiedad



Gráfica 3. Relación de la turbidez en entrada y filtro. Autoras.

La turbiedad es un indicador importante en cuanto se refiere a contaminación del agua (Vargas Palacios, 2016) dado que esta es una propiedad óptica causada por la dispersión de la luz, puede ser ocasionada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas,

entre otras (Romero, 2009); como se observa en la Gráfica 3, los valores de turbiedad en el agua cruda son elevados, esto se debe a que la presencia de sólidos es alta, pero una vez pasa por el sistema de tratamiento y hace contacto con el carbón activado y la piedra pómez que se encuentran en el reactor aerobio, la arena y la pepa de guama en el sistema de filtración, se observa una reducción significativa del 55% en el filtro en relación a la entrada de sólidos totales, disueltos y algunas impurezas contenidas en el agua ver Tabla 15, mejorando así las condiciones organolépticas y la calidad del fluido, esto es dado a que la turbidez tiene una relación directa con el color y los sólidos totales (Betanzos Vega, Capetillo Piñar, & Lopeztegui Castillo, 2011), es de aclarar que la planta piloto desde su puesta en marcha el fluido en el sistema de filtración genero un color café que pudo estar dado al contenido de melaza que se agregó, sin embargo este fue disminuyendo con el paso del tiempo, demostrando la efectividad positiva de los materiales.

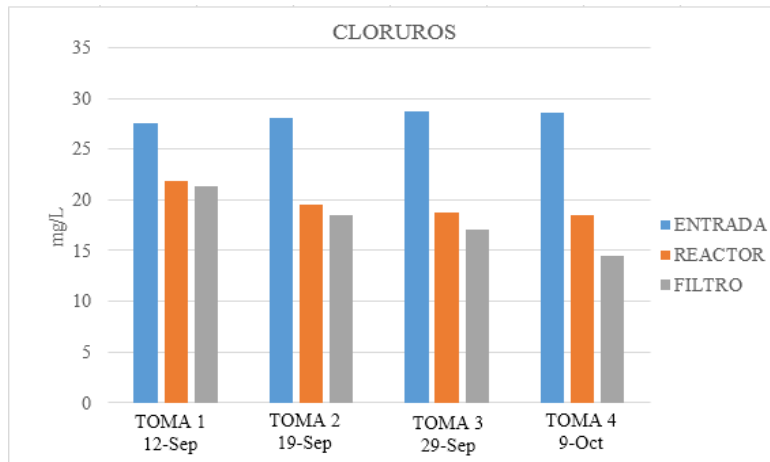
Tabla 15

Porcentaje de remoción de turbiedad en el filtro respecto a la entrada.

Toma de muestras	% Remoción entrada - filtro
12-sep	43
	59
19-sep	43
29-sep	66
	66
9-oct	74
	73
% REMOCIÓN (Promedio)	55

Fuente: Autoras.

8.5 Cloruros



Gráfica 4. Relación de cloruros en entrada, reactor y filtro, Autoras.

Los cloruros son comunes encontrarlos en agua residual, dado que la contribución diaria por persona es de 6 a 9 gr, esto se debe a que los cloruros se encuentran en alimentos y en el agua (Metcalf-Eddy). Como se puede evidenciar en la Tabla 12 los resultados obtenidos estuvieron en un rango de 28,7 a 14,53 mg Cl/L lo cual cumple con la resolución 1207 del 2014 (por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas) con un valor máximo permisible de 300,0 mg Cl/L, concentraciones por encima de 250 mg/L dan un sabor salino al agua haciéndola desagradable para el consumo humano (Giraldo, 1995). En la Gráfica 4 se observa una disminución de la concentración de cloruros tanto en el reactor como en el filtro en relación al tiempo, esta disminución se dio en mayor medida en el filtro puesto que su remoción fue de 37 % a comparación del reactor el cual obtuvo un porcentaje de remoción del 30 % respecto a la entrada como se puede observar en la Tabla 16, esto dado que en las dos unidades se encuentra carbón activado ya que este tiene gran capacidad de adsorción de compuestos orgánico e inorgánicos pero la absorción potencial es baja es por ello que su remoción no fue tan alta (García Úbeda,

2013), este analito se analizó considerando que es un indicador de la calidad de agua y puede interferir en el proceso biológico por ello se debe controlar. (Romero Rojas, 2004).

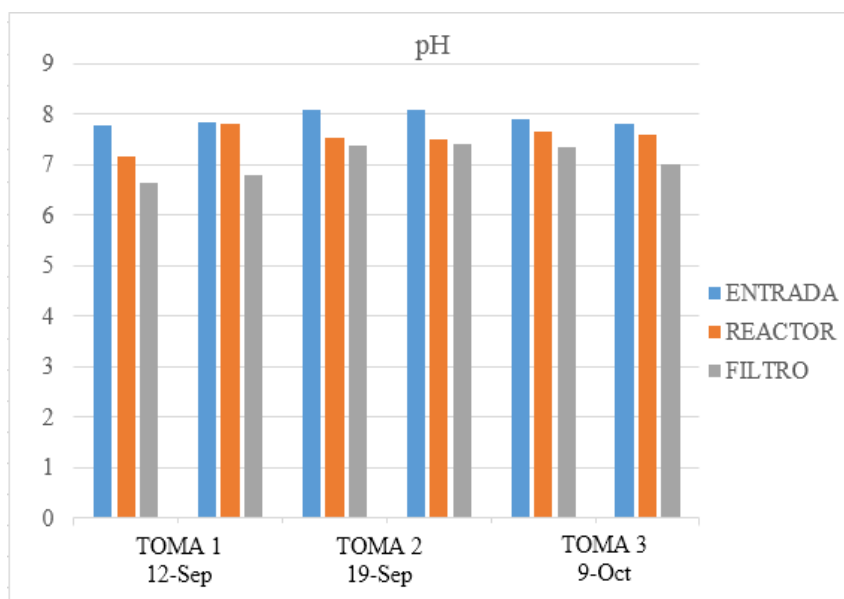
Tabla 16.

Porcentaje de remoción de cloruros en reactor y filtro, respecto a la entrada.

Toma de muestras	% Remoción entrada- reactor	% Remoción entrada - filtro
12-sep	20.4	22.5
19-sep	30.4	34.2
29-sep	34.5	40.7
9-oct	35.6	49.2
% REMACION (Promedio)	30	37

Fuente: Autoras.

8.6 pH



Gráfica 5. Relación de pH en entrada, reactor y filtro.

Los valores obtenidos de pH siempre se conservaron en el rango de (6,00 a 9.00) como se establece en la 1207 del 2014, es decir, se mantuvieron con tendencia neutra-

básica y/o ligeramente alcalina con valores que oscilan entre 6,65 a 8,08 presentándose el menor valor en la unidad de filtración en la toma 1 donde se puso en marcha de la PTAR, en la Tabla 17 se puede evidenciar que los resultados de entrada y el reactor fueron básicos a diferencia del filtro que estuvo ácido, lo anterior se debe a que los microorganismos se encontraban en una fase acidogénica (Casanova Acosta, 2017), además de esto se debe tener en cuenta que la PTAR no trabajó continuamente sino por lapsos de tiempo, es decir, el proceso de inoculación no fue el adecuado, mientras que en la toma 2, 3 y 4 los datos fueron disminuyendo con el paso del tiempo como se puede evidenciar en la Gráfica 5, es decir, que el pH estuvo en condiciones normales para el crecimiento óptimo de los microorganismos dado que la mayoría de las bacterias se desarrollan en condiciones de pH neutro, aunque algunas especies pueden existir en ambientes altamente ácidos. (Corrales, Romero, Bohórquez, & Corredor, 2015), a este parámetro se le debe hacer un seguimiento ya que este puede modificar el equilibrio químico que permite que los procesos se lleven a cabo.

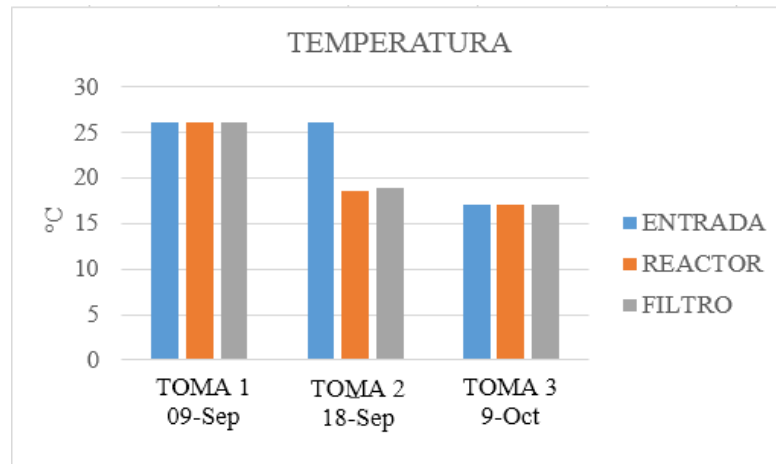
Tabla 17:

Porcentaje de remoción de pH en reactor y filtro, respecto a la entrada.

Toma de muestras	Entrada	Reactor	Filtro
12-Sep	7,76	7,17	6,65
	7,85	7,8	6,8
19-Sep	8,08	7,53	7,37
	8,08	7,5	7,4
9-Oct	7,9	7,64	7,34
	7,8	7,6	7,6

Fuente: Autoras.

8.7 Temperatura



Gráfica 6. Temperatura, Autoras.

Este parámetro es un factor condicionante en la interacción biológica de bacterias (Corrales, Romero, Bohórquez, & Corredor, 2015), es importante ya que la eficiencia en la actividad microbiana depende de la temperatura, puesto que en las reacciones bioquímicas hay una liberación de energía y esta ayuda a la degradación de la materia orgánica, siendo esta fundamental para el metabolismo y longevidad de las bacterias (anónimo, 2014), en la Tabla 18, se evidencia que la medición de este parámetro se mantuvo siempre en un rango de 17 °C a 26 °C, indicando un ambiente óptimo para el desarrollo microbiano, y por consiguiente de las reacciones químicas que se llevan a cabo dentro de los sistemas, ya que este también es un catalizador de reacciones químicas, cabe destacar que la hora en la que se toma la muestra influye en el resultado, pues en horas de la mañana la temperatura va a ser más baja, que en horas de la tarde. Se debe estar monitoreando la temperatura del agua ya que esta influirá en la cantidad de oxígeno presente en el agua ya que a mayor temperatura se acelerará los procesos fotosintéticos, así como la remoción de materia orgánica (Ecofluidos ingenieros S.A, 2012). Este parámetro se debe monitorear dado que puede afectar el proceso biológico de depuración.

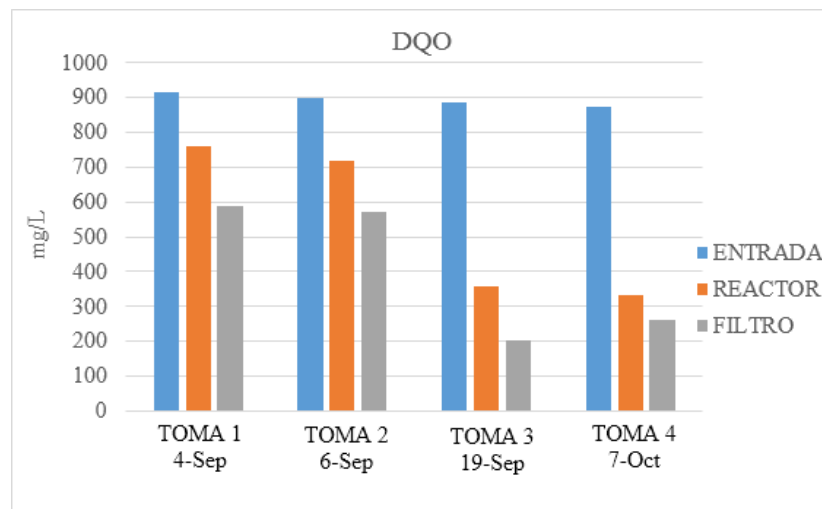
Tabla 18

Resultado de temperaturas, en las diferentes etapas de tratamiento.

Toma de muestras	Entrada (°C)	Reactor (°C)	Filtro (°C)
9-sep	26	18.6	18.8
18-sep	26	26	26
9-oct	17	17	17

Fuente: Autoras.

8.8 DQO



Gráfica 7. Relación de DQO en entrada reactor y filtro, Autoras.

La DQO es uno de los parámetros más importantes a la hora de realizar una caracterización del agua residual, ya que esta nos permite cuantificar el contenido de materia orgánica que es susceptible a oxidación (Giraldo, 1995).

Teniendo en cuenta la resolución 1207 del 2014, este parámetro no cumple los límites estipulados, sin embargo en la Gráfica 7 se puede observar una disminución de la DQO respecto a la entrada, es necesario recalcar que las primeras fechas de toma, esto es en la toma 1 y 2, como se ve en la Tabla 19 los porcentajes de remoción no son tan altos, dado que el muestreo se realizó en el arranque de la planta piloto, motivo por el cual los

microorganismos no tuvieron un tiempo de permanencia suficiente en el sistema para que se reprodujeran, es decir, que pasaran de un estado de latencia o transición a una fase estacionaria. Este período depende de la tasa de crecimiento, la cual está directamente relacionada con la velocidad a la que metabolizan o utilizan el sustrato, que en este caso, es el residuo como lo indica (Moeller & Tomasini Ortíz, s.f.), mientras que las tomas 3 y 4 tuvo una disminución eficiente debido a que los microorganismos con el tiempo fueron obteniendo mayor capacidad de biodegradación y adaptación en el medio, como resultado se tuvo una eficiencia de remoción del 55% del tratamiento lo cual indica que los materiales alternativos por su porosidad fueron aptos como medio de soporte para la población microbiana la cual ayuda en gran parte a la degradación de la materia orgánica y diferentes contaminantes, a medida de que el agua a tratar pasaba a través del soporte.

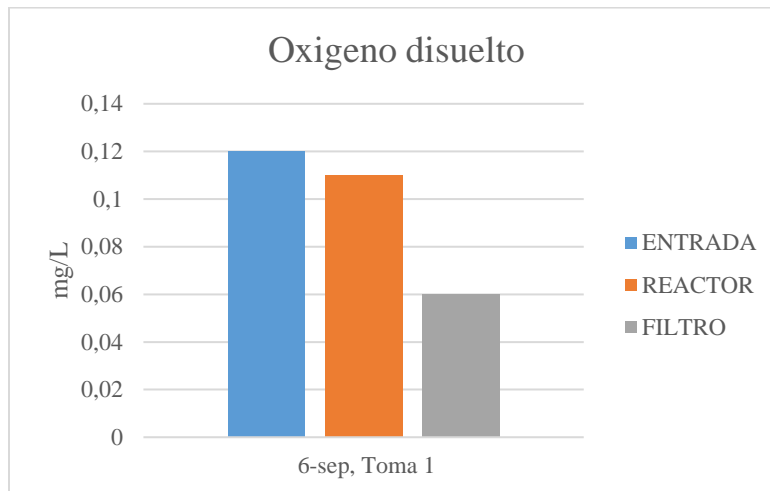
Tabla 19

Porcentaje de remoción de DQO en reactor y filtro, respecto a la entrada.

Toma de muestras	% Remoción entrada- reactor	% Remoción entrada - filtro
4-sep	17	36
6-sep	20	37
19-sep	59	77
7-oct	62	70
% REMOCIÓN (Promedio)	40	55

Fuente: Autoras.

8.9 Oxígeno disuelto



Gráfica 8. Relación de oxígeno disuelto en entrada reactor y filtro, Autoras.

La concentración de Oxígeno Disuelto (OD) resulta ser clave en el control de la contaminación en aguas naturales y al mismo tiempo en los procesos de tratamiento de las aguas residuales domésticas; depende de las características fisicoquímicas y la actividad bioquímica de los organismos (Gaitán, 2004). En la Gráfica 8, se demuestra que el valor obtenido en este parámetro fue bajo, uno de los factores que influyó en este resultado fue la medición puesto que la medición no se realizó en campo, sino que se transportó al laboratorio de (Biopolab) lo que pudo conllevar a errores en la determinación.

El oxígeno es clasificado como un gas poco soluble y no reacciona químicamente con el agua, sin embargo, su solubilidad es directamente proporcional a su presión parcial de vapor y de la temperatura del agua, de igual manera es afectada por el contenido de sólidos solubles; si la temperatura aumenta la oxidación biológica también se incrementa y por consiguiente la demanda bioquímica de oxígeno también se va a incrementar (Giraldo, 1995), en la Tabla 18 se muestra que la temperatura estuvo en un rango de 17 ° a 26 °C y los valores de OD expuestos en la Tabla 12, estuvieron bajos, lo cual indica que la temperatura al no ser tan alta también influyó en el resultado de este parámetro, no obstante

es de mencionar que los resultados de la temperatura están sujetos a la hora en la que se toma la medición puesto que si es en horas de la mañana esta será significativamente baja en comparación de las horas de la tarde.

En la Tabla 20, se expone una remoción de 50%, lo cual indica que durante el proceso hubo consumo de oxígeno, sin embargo, es un dato de poca confiabilidad, debido a las condiciones de muestreo. Otro factor a tener en cuenta es la aireación que se realiza en el reactor aerobio, puesto que si la bomba es de muy poca capacidad no satisface los requerimientos para la supervivencia de los microorganismos dependientes de este gas, entre más presencia de OD haya menor será la putrefacción y la producción de sulfuros, mercaptanos, y otros compuestos de mal olor, ya que la biooxidación aerobia produce sustancias finales inofensivas como CO₂ y H₂O (Giraldo, 1995).

Tabla 20

Porcentajes de remoción de oxígeno disuelto en reactor y filtro, respecto a la entrada.

Toma de muestras	% Remoción entrada- reactor	% Remoción entrada -filtro
6-sep	8.3	50
% REMOCIÓN (Promedio)	8.3	50

Fuente: Autoras.

8.10 Sólidos totales



Gráfica 9. Relación de sólidos totales en entrada y filtro, Autoras.

El agua por naturaleza contiene cierta cantidad de impurezas o sólidos, de forma suspendida o disuelta, para el caso se hallaron los sólidos totales por medio de la evaporación a altas temperaturas, teniendo como resultado un decrecimiento al final del tratamiento en comparación a la entrada, ver Gráfica 9. La presencia de estos sólidos puede estar dada en mayor medida a la procedencia del agua residual, siendo esta doméstica, puesto que por sus características aporta gran cantidad de impurezas. En la Tabla 21, se muestra que el tratamiento tuvo un 27% de remoción, indicando que los materiales alternativos que se utilizaron y los procesos realizados en la planta piloto si contribuyeron en la remoción de los sólidos totales, este parámetro se analizó para controlar y verificar la eficiencia de operación de las unidades de la PTAR con el fin de que hubiera una correcta depuración.

Cabe resaltar que el flujo en el reactor aerobio y en la unidad de filtración fue ascendente y gracias a los dispersores se logró obtener un tiempo de retención considerable,

de igual manera las características de los materiales contribuyen favorablemente a la remoción de estos sólidos.

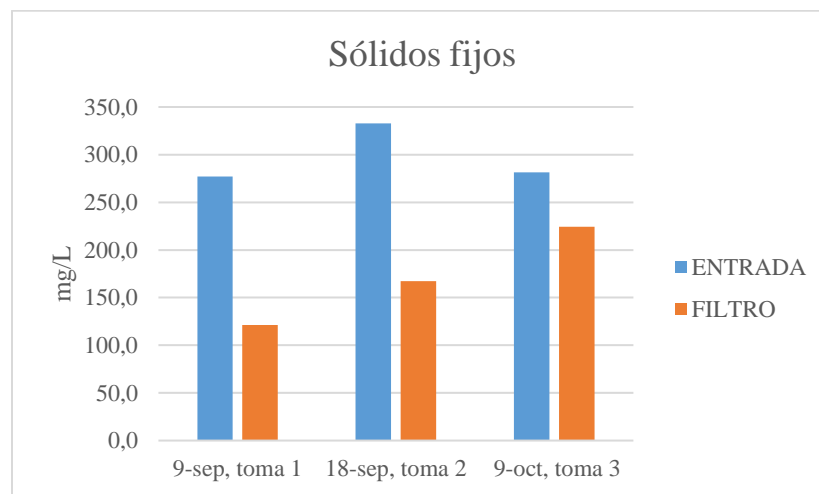
Tabla 21

Porcentaje de remoción de sólidos totales en filtro respecto a la entrada.

Toma de muestras	% Remoción entrada - filtro
9-sep	25
18-sep	34
9-oct	23
% REMOCIÓN (Promedio)	27.29

Fuente: Autoras.

8.10.1 Sólidos fijos



Gráfica 10. *Relación de sólidos fijos en entrada y filtro, Autoras.*

En los sólidos fijos, al igual que en los sólidos totales se observa que hay reducción en este parámetro, ver Gráfica 10, dado que al pasar el agua residual por el tratamiento se removieron los sólidos en un 27%, como se especifica en la Tabla 22. Los sólidos fijos corresponden al material remanente que queda en forma de cenizas, después de la

exposición a altas temperaturas de la muestra, esta fracción se puede decir que es la materia inorgánica, sin embargo, la interpretación no es exacta, por la descomposición o volatilización de ciertas sales minerales (Argandoña & Macías, 2013).

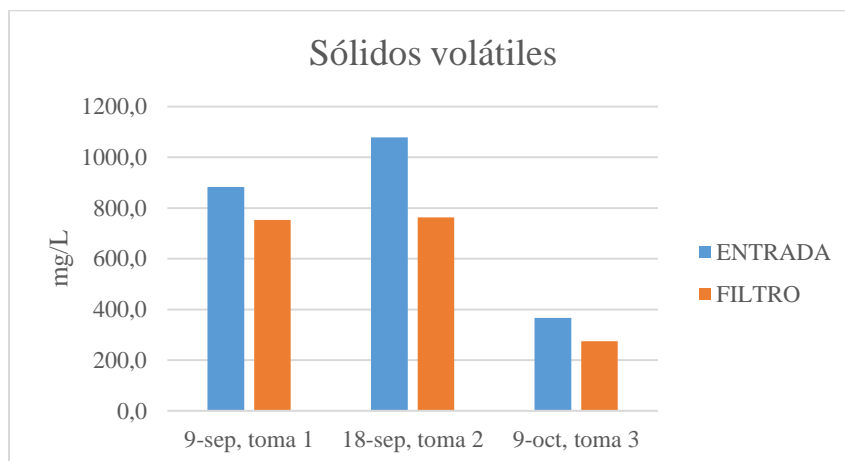
Tabla 22

Porcentaje de remoción en filtro respecto a la entrada.

Toma de muestras	% Remoción entrada – filtro
9-sep	56
18-sep	50
9-oct	20
% REMOCIÓN (Promedio)	42

Fuente: Autoras.

8.10.2 Sólidos volátiles



Gráfica 11. *Relación sólidos volátiles en entrada y filtro, Autoras.*

El contenido de sólidos volátiles se interpreta en términos de materia orgánica que se oxida a una temperatura de 550 °C aproximadamente, en forma de gas como CO₂ y agua que se volatilizan, (Argandoña & Macías, 2013). En las tres muestras que se realizaron se identifica que el contenido de sólidos volátiles decrece, como se muestra en la Gráfica 11,

se evidencia que estos se reducen considerablemente, demostrando una eficiencia del 23%, como se observa en la Tabla 23.

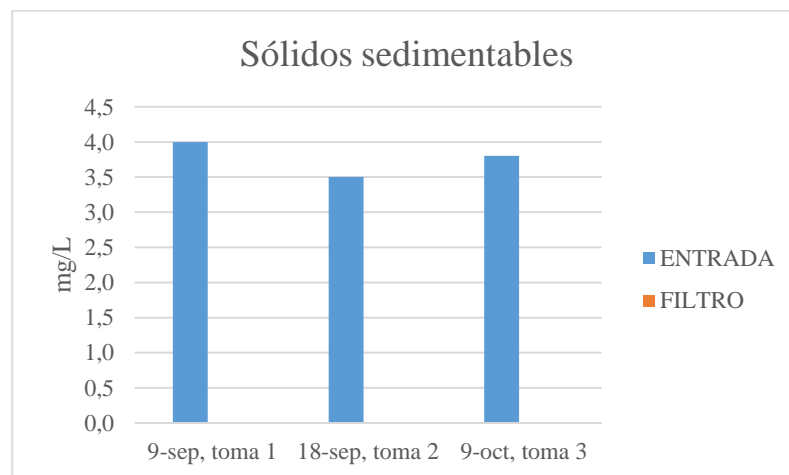
Tabla 23

Porcentaje de remoción de sólidos volátiles en filtro respecto a la entrada.

Toma de muestras	% Remoción entrada-filtro
9-sep	15
18-sep	29
9-oct	25
% REMOCIÓN (Promedio)	23

Fuente: Autoras.

8.11 Sólidos sedimentables



Gráfica 12. *Relación de sólidos sedimentables en entrada y filtro, Autoras.*

La determinación de los sólidos sedimentables permite hacer una aproximación de la cantidad de sedimentos que pueden acumularse en los sistemas de tratamiento, (Ramos, 2003). Como se observa en la Gráfica 12, hay una diferencia considerable entre los sólidos sedimentables de la entrada respecto al filtro, por consiguiente, se atribuye una buena capacidad de retención de sólidos sedimentables, según la Tabla 24 su porcentaje de

remoción fue del 100%, en todos los casos, dado que, en la salida del filtro, no se reconocieron este tipo de sólidos. El tiempo de retención y la unidad de clarificación, contribuyen de manera favorable a la sedimentación de estos sólidos.

Tabla 24

Porcentaje de remoción en filtro respecto a la entrada.

Toma de muestras	Entrada	Filtro	% Remoción entrada -filtro
9-sep	4.0	0	100%
18-sep	3.5	0	100%
9-oct	3.8	0	100%
% REMOCIÓN (Promedio)			100%

Fuente: Autoras.

8.12 Evaluación del diseño del sistema de tratamiento.

En la Ilustración 1 se indica los parámetros que se evaluaron en diferentes etapas de tratamiento, estos se seleccionaron con el fin de reducir los contaminantes en el agua a tratar dado que la mayoría de estos son indicadores de la calidad de agua y se encuentran relacionados entre ellos, así mismo, se reduce la carga orgánica y los sólidos que son la principal problemática de las aguas residuales domésticas, con el sistema de tratamiento se busca disminuir estos contaminantes eficientemente, pero para llevar esto cabo se monitorea continuamente el pH, la turbiedad y la temperatura con el propósito de tener un adecuado tratamiento primario y secundario garantizando un correcto proceso de depuración y/o calidad del agua, utilizando diferentes tipos de materiales alternativos en los reactores biológicos y la unidad de filtración.

Como podemos ver los sólidos tienen una incidencia casi directa en la mayoría de los parámetros a estudio. Debido a que estos ayudan o son parte de la formación de compuestos que aportan a una mayor concentración de parámetros como; DBO₅, DQO, Turbiedad, Dureza Total etc., es decir, que en un vertimiento no industrial “vertimiento doméstico” a mayor concentración de sólidos, podríamos esperar una mayor concentración de los parámetros o analitos anteriormente descritos, y lógicamente en viceversa, es decir en concentraciones bajas de sólidos esperaríamos concentraciones bajas en los demás analitos. También es el caso del parámetro de Oxígeno disuelto el cual nos ayuda a ver la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias para degradar compuestos orgánicos” DBO₅” e inorgánicos “DQO”.

El agua de entrada se obtuvo de la finca Las Delicias, en la vereda Mancilla, del municipio de Facatativá. Los datos obtenidos de las pruebas de laboratorio, arrojan la constitución típica de un agua residual doméstica, la cual se caracteriza por sus altos niveles de carga orgánica, sólidos, grasas y aceites.

Para el tratamiento de los sólidos mayores a 1.7 mm, se construyó una criba, la cual contiene un tamiz que permite retener los sólidos más grandes, evitando así bloqueos en la tubería, seguido de esto se encuentra la trampa de grasas cuyo objetivo principal fue retener las grasas y aceites en la parte superior, este proceso se da cuando el flujo al pasar por la criba se enfría coagulando así las grasas y aceites, este enfriamiento hace que las grasa floten y permanezcan en la superficie dejando así pasar el agua clarificada por la parte inferior, además de ello los sólidos menores a 1,7 mm se precipitan en el fondo de la trampa (Guitérrez & Sánchez, 2015).

El siguiente proceso consta de los reactores biológicos, uno anaerobio y el otro aerobio, el primero cumple la función de descomposición de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno realizado por grupos bacterianos específicos que se encuentran contenidas en el agua residual, de igual manera los átomos de carbono presentes son aceptores de electrones y se reducen, mientras que otros compuestos orgánicos se oxidan a dióxido de carbono y ácidos volátiles (Fernandez, 2013), esta materia se transforma en biomasa (lodo estabilizado) del mismo modo produce biogás (metano y dióxido de carbono) de elevado poder energético.

En el segundo, se inyecta aire a través de una bomba compresor con el fin de garantizar un ambiente óptimo y para mantener los procesos metabólicos realizados por los organismos que dependen del oxígeno y así mismo activarlos. El flujo del agua residual en este reactor es ascendente, logrando un tiempo de retención considerable mientras pasa por la piedra pómez y el carbón activado utilizados, este tiempo de retención es importante para que los microorganismos trabajen en la descomposición de la materia orgánica.

Lo anterior quiere decir, que el tratamiento biológico fue eficiente gracias a que los compuestos orgánicos fueron susceptibles a la degradación de materia orgánica por medio de los microorganismos, dado que esta agua contiene materia orgánica natural, su degradación es relativamente fácil, aunque hay elementos excepcionales como aceite y grasas (Cisterna Osorio & Peña, s.f), para que esto se llevara a cabo se alimentaron los microorganismos en la puesta en marcha de la PTAR, mientras se adaptaban y asimilaban la materia orgánica y los nutrientes disueltos del agua a tratar para su propio crecimiento.

Se hizo uso de la piedra pómez, gracias a sus características de porosidad que permite la adhesión y reproducción de microorganismos capaces de reducir y/o eliminar

gran parte de la materia orgánica, puesto que esta, es su fuente de carbono y al mismo tiempo consumen compuestos que contienen nitrógeno y fosforo disueltos en el agua como nutrientes; esta porosidad también permitió la retención de gran parte de sólidos que no fueron eliminados por los anteriores procesos, hecho que se reflejó en el desarrollo y continuidad del crecimiento de la población microbiana. Este material demostró ser una buena alternativa como opción de soporte dado que facilito una rápida formación de un ecosistema bacteriano en el reactor aerobio, teniendo en cuenta que este tipo de procesos pueden tardarse aproximadamente 45 días que es el tiempo de inoculación (Jiménez & Villegas, 2005). De igual manera se utiliza el carbón activado proveniente de la cáscara de coco, como medio filtrante en el reactor aerobio, sin embargo, conviene destacar sus propiedades de adsorción, puesto que este carbón tiene una amplia área o superficie disponible para que las moléculas de cualquier sustancia puedan interactuar mediante fuerzas de atracción, por consiguiente, contribuye en la remoción de sustancias orgánicas (Lazo, 2015).

Como se mencionó anteriormente, en el proceso de descomposición de la materia orgánica se genera biomasa, parte de esta biomasa es recirculada al reactor aerobio con el fin de mantener una buena concentración de microorganismos y al mismo tiempo evitar la sedimentación en el reactor anaerobio (tiempo de retención celular), la otra parte de biomasa debe ser desechada, conduciéndola a un tratamiento de lodos, para evitar la sobrecarga de microorganismos en el sistema. Al observar la biomasa (lodos activados) que está en la recirculación, se evidencia un color café claro indicando que existe la formación de colonias bacterianas a altas concentraciones, es decir, si hubo un adecuado crecimiento de microorganismos, pese a los cortos tiempos en los que se trabajó el sistema.

La PTAR se arrancó, con un inóculo de microorganismos procedentes de otro sistema de tratamiento de agua residual doméstica, enriquecida con melaza (como fuente de hidratos de carbono y nitrógeno) y al mismo tiempo, por medio de la manguera de aireación se adicionaron los nutrientes por inyección directa (ácido fosfórico y urea) durante una semana, para dar paso al crecimiento y reproducción de los microorganismos, durante ese periodo se dejó trabajando la recirculación de lodos y la inyección de aire para garantizar un ambiente para su desarrollo, de igual manera en este transcurso de tiempo se pasó agua residual proveniente de la finca Las Delicias “agua de estudio” esporádicamente con el fin de que los microorganismos se adaptaran al medio, lo cual fue eficiente dado que hubo un óptimo crecimiento microbiano, consumo de materia orgánica y nutrientes derivados del agua residual a tratar.

Teniendo en cuenta los porcentajes de remoción de la DQO expuestos en la Tabla 25, los reactores biológicos alcanzaron una eficiencia del 55%, lo cual indica que los materiales alternativos de esa sección resultan ser una opción viable en el funcionamiento de los mismos, es de aclarar que la planta no estuvo trabajando constantemente, si no por lapsos de tiempo de 3 a 4 horas por 47 días aproximadamente, adicionalmente su tiempo de iniciación fue muy corto lo cual influyo directamente en la eficiencia final del sistema puesto que los microorganismos probablemente no alcanzaron su etapa estacionaria donde actúan en su máxima capacidad.

Finalmente, el agua residual pasa al proceso de clarificación y filtración, donde en el clarificador se dispuso una colmena a 45° de inclinación con el fin de decantar y sedimentar los sólidos pesados y remover la materia orgánica soluble que no fueron retenidos en los procesos anteriores, esta unidad trabaja por gravedad y en flujo ascendente permitiendo el

paso del agua clarificada al siguiente tratamiento, el cual permite el asentamiento de las partículas más grandes.

La unidad de filtración es de tipo mixta ya que está compuesta de tres materiales: Semillas de *Inga Edulis* (guama), carbón activado y arena torpedo, el flujo ingresa al sistema de filtración por medio de una red tipo flauta (difusores) ver 7.6.2.4. (sistema de filtración) Imagen a, este es distribuido sobre todo el área del medio filtrante trabajando de forma ascendente y utilizando como principio fundamental un proceso de tamizaje, de esta manera se logró la retención de sólidos y propiedades organolépticas presentes en el efluente. Esto dado que el agua toma caminos erráticos y largos trayectos lo cual incrementa la probabilidad de que el sólido tenga contacto directo con el medio de filtración y sea retenido por este, Oocities, 2015 como se citó en (Pérez Guzmán & Rincón Ojeda, 2016).

Según (Bueno Saldaña, y otros, 2018) “en el proceso de remoción que se da en la filtración intervienen fuerzas de cohesión entre el medio filtrante y las partículas, aunque también se puede manifestar fuerzas de atracción electroestáticas del tipo de fuerza de London y van de Waals”.

De acuerdo a los resultados obtenidos se evidencio que en este proceso los materiales funcionaron de la siguiente manera:

- Semillas de *Inga Edulis* (guama): Se utilizó como soporte en el filtro, reemplazando la grava. Esta pepa es negra y tiene una longitud de 3 cm y un ancho entre 1.4 y 4.5 cm (Flórez & Henao, 2013), su principal función es actuar como soporte evitando que el carbón activado obstruya los difusores

de agua, cabe anotar que esta pepa tiene poca degradabilidad, por lo cual se considera conveniente en el proceso de filtración, permitiendo al mismo tiempo retener sólidos en conjunto con los demás materiales incorporados en la unidad de filtración, lo anterior debido a los porcentajes de remoción expuestos en la Tabla 21 Y 24, donde se obtuvo remoción del 27,29 % para los sólidos totales y un 100 % para los sólidos sedimentables.

- **Carbón activado:** Se utilizó, se hizo a partir de la cáscara de coco, ya que este tiene una eficiencia en la depuración de materia orgánica, aporta en el mejoramiento de las propiedades organolépticas, compuestos orgánicos y volátiles ya que provee a los microorganismos de un ambiente favorable en términos de pH, temperatura, humedad, nutrientes y flujo de oxígeno (Bravo & Garzon, 2017). Por ser un material microporoso adsorbió con mayor eficiencia los contaminantes orgánicos.
- **Arena torpedo:** Según la Tabla 12, se demuestra que la turbidez del agua que sale del filtro disminuye en comparación de la inicial, esto se debe a la capacidad de las partículas de arena en la remoción de sólidos, que intervienen en la transparencia del agua en tratamiento, igualmente regula la capacidad y/o velocidad de filtración.

Tabla 25

Porcentajes de remoción de todas las pruebas realizadas.

Parámetros	% Remoción entrada- reactor	% Remoción entrada - filtro
Alcalinidad mg/L (CaCO ₃)	46	55

Dureza total mg/L (CaCO ₃)	16,4	30,6
Turbiedad (NTU)		55
Cloruros mg/L	30	37
DQO mgO ₂ /L	40	55
Oxígeno disuelto mg/L	8,3	50
Sólidos totales mg/L		27,29
Solidos fijos mg/L		42
Solidos volátiles mg/L		23
Solidos sedimentables mg/L		100

Fuente: Autoras.

Expuesto lo anterior, cabe resaltar que la planta piloto tuvo una eficiencia positiva lo que indica una remoción de contaminantes presentes en el agua gracias a los procesos biológicos y físicos que se llevaron a cabo en cada unidad de tratamiento, de igual forma se presenta la disminución de compuestos orgánicos e inorgánicos y materia orgánica por parte de los microorganismos. Este sistema de tratamiento compacto trabajo con un caudal de 0,021l/seg, pero su caudal máximo es de 0,3125 l/seg con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 10 minutos, es decir, que el fluido tarda 10 minutos en salir desde el tanque de almacenamiento hasta el sistema de filtración, el (TRH) es un elemento importante para el control de un sistema de tratamiento.

En la Tabla 25, se expresan los porcentajes de remoción que tuvieron los parámetros estudiados en las diferentes etapas de tratamiento, siendo así que la mayor remoción de contaminantes estuvo dada en el filtro, seguido del reactor biológico lo que quiere decir que cada uno de los materiales alternativos adicionados fueron eficientes, gracias a la función

que realizo cada uno de los componentes del sistema, por último, en la trampa de grasas, que aparte de retener las grasa y aceites de manera satisfactoria, tuvo remoción en algunos de los parámetros estudiados, favoreciendo positivamente el tratamiento del agua residual.

Conviene señalar que el sistema no se trabajó en flujo continuo, sino por baches, donde el tiempo de inoculación de los microorganismos fue corto dando lugar a porcentajes de eficiencia menores en comparación de un sistema convencional. Sin embargo, los materiales utilizados en esta planta (descritos en la Tabla 4) obtuvieron disminución en los parámetros analizados (ver Tabla 12 y 25), motivo por el cual se infiere, que pueden ser favorables para estos procesos de tratamiento siempre y cuando se deje trabajar continuamente permitiendo alcanzar la fase estacionaria de los microorganismos y del mismo modo su mayor eficiencia. Es preciso señalar que algunos muestreos se realizaron en el arranque de la planta, etapa que corresponde a la fase de latencia considerada la más inestable y crítica, por lo que debe iniciarse con Tiempos de Retención Hidráulicos – TRH elevados, para asegurar una buena asimilación del sustrato por parte de las bacterias, (Torres & Perez, Actividad metanogénica específica: una herramienta de control y optimización de sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales., 2010).

Una de las ventajas que presenta las semillas de *Inga Edulis* (pepa de guama) en comparación de la grava es la fácil adquisición al ser un residuo agroindustrial que no cuenta con una disposición adecuada y puede ser adquirida en lugares de clima templado, no obstante, en temporadas de cosecha se puede conseguir en los centros de distribución de frutas y verduras, resultando ser más económico que la grava.

En cuanto a la piedra pómez y el carbón activado se demuestra que, gracias a sus propiedades mencionadas anteriormente, (microporosidad y adsorción, respectivamente)

son eficientes en los procesos de tratamiento de las aguas residuales, contribuyendo en la disminución de los parámetros estipulados en la Tabla 12.

8.13 Evaluación económica.

La construcción de la planta de tratamiento de agua residual compacta tiene un valor de \$1.355.118 como se evidencia en la Tabla 26.

Tabla 26.

Costos de materiales para la construcción de la planta piloto.

MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Tanque	1	Global	\$ 55.000	\$ 55.000
Tubo de PVC 10 in	6	Metro	\$ 829.318	\$ 829.318
Canecas	14	Global	\$ 2.000	\$ 28.000
Tubo de 1 in	2	Metro	\$ 5.900	\$ 11.800
Tubo de ½ in	1	Metro	\$ 3.000	\$ 3.000
Unión lisa de 1 in	6	Global	\$ 1.000	\$ 6.000
Unión lisa de ½ in	3	Global	\$ 300	\$ 900
Tee PVC ½ in	5	Global	\$ 600	\$ 3.000
Tee PVC 1 in	2	Global	\$ 2.000	\$ 4.000
Codos de 1 in	10	Global	\$ 1.800	\$ 18.000
Codos de ½ in	3	Global	\$ 500	\$ 1.500
Empaques 1 in	24	Global	\$ 600	\$ 14.400
Registros ½ in	3	Global	\$ 1.800	\$ 5.400
Registro 1 in	1	Global	\$ 6.000	\$ 6.000
Manguera transparente ½ in	1	Metro	\$ 500	\$ 500
Tee plástica 3/8	1	Global	\$ 1.000	\$ 1.000
Buje reducción ½ a 3/8 in	1	Global	\$ 4.600	\$ 4.600
Reducción de 1 in a ½ in	2	Global	\$ 7.500	\$ 15.000
Adaptador hembra	11	Global	\$ 1.100	\$ 12.100
Adaptador macho	11	Global	\$ 1.000	\$ 11.000
Bomba de aire	1	Global	\$ 26.000	\$ 26.000
Bomba centrifuga	1	Global	\$ 24.000	\$ 24.000
Arena torpedo	10	Kg	\$ 1.400	\$ 14.000
Coco	1	Bulto	\$ 10.000	\$ 10.000
Pepas de guama	1	Global	\$ 6.000	\$ 6.000

Piedra pómez	1	Paquete	\$	13.500	\$	13.500
Colmena	1	Global	\$	35.000	\$	35.000
Manguera de ½ in	50	Centímetros	\$	2.500	\$	2.500
Manguera de 1 in	50	Centímetros	\$	3.000	\$	3.000
Sicaflex	5	Global	\$	20.000	\$	100.000
Pintura aerosol	8	Global	\$	8.000	\$	64.000
Limpiador	2	Global	\$	4.300	\$	8.600
Soldadura PVC	4	Global	\$	4.500	\$	18.000
TOTAL			\$	1.083.718	\$	1.355.118

Tabla 27*Costos operativos del sistema de tratamiento.*

COSTOS OPERATIVOS - PTAR 0,021 LPS							
COSTOS DE ENERGIA ELECTRICA							
	Potencia (Hp)	Número de unidades	Potencia (Kw)	Tiempo de operación(H)	\$ Kw/Hora (1)	Valor mensual	Valor anual
BOMBA CENTRIFUGA DE RECIRCULACION DE LODOS.	0,01	1	0,00746	12	473	\$ 1.101	\$ 13.211
BOMBA COMPRESOR	0,06	1	0,04476	12	473	\$ 6.606	\$ 79.266
TOTAL						\$ 7.706	\$ 92.477
COSTOS INSUMOS							
Producto	Dosificación	Consumo	Valor	Unidad	Valor Mensual	Valor Anual	
Melaza	6	Paquete	\$ 2.500	Kg	\$ 7.500	\$ 15.000	
carbonato de calcio	10	Bulto	\$ 14.900	Kg	\$ 7.450	\$ 14.900	
Urea	1	Global	\$ 12.500	Kg	\$ 6.250	\$ 12.500	
Ácido fosfórico	500	Global	\$ 30.000	MI	\$ 2.500	\$ 30.000	
Bacterias	1	Garrafa	\$ 86.870	Garrafa	\$ 7.239	\$ 86.870	
TOTAL					\$ 30.939	\$ 159.270	
COSTOS MANO DE OBRA							

	Sueldo mes	% Parafiscales	Total mes	Rendimiento	Valor mensual	Valor anual
OPERARIO	\$ 150.000	1,56	\$ 234.000	1	\$ 234.000	\$ 468.000
					TOTAL	\$ 468.000

FONDO DE MANTENIMIENTO UNIDADES

Descripción	Valor mensual	Valor anual
Fondo de mantenimiento estructuras y equipos. Incluye pintura, cambio de las tapas, empaques, mantenimiento bomba compresor, bomba centrifuga, cambios materiales alternativos (pepa guama, carbón activado, piedra pómez y lecho filtrante (arena torpedo).	\$ 105.000	\$ 210.000
	TOTAL	\$ 210.000

ANALISIS FISICOQUIMOCOS DE SALIDA

Descripción	Cantidad anual	Valor anual
Un (1) Análisis anual de salida puntual por laboratorio certificado para control de la eficiencia de la unidad.	1	\$ 870.000
	TOTAL	\$ 870.000

TOTAL COSTOS ANUALES

\$ 1.799.747

TOTAL COSTOS MENSUALES

\$149.978,92

VOLUMEN TRATADO MENSUAL

27

COSTO POR M³

\$ 5.511

Fuente: Autoras.

En la tabla 27, se evidencian el costo anual de operación por m³, el cual incluye costos de energía, pago del personal idóneo para realizar el mantenimiento, análisis fisicoquímico, compra de microorganismos y nutrientes para su óptimo crecimiento.

Tabla 28*Cargas eléctricas unidad de tratamiento.*

CALCULO DE CARGA ELECTRICA							
	POTENCIA (HP)	NUMERO DE UNIDADES	POTENCIA (KW)	VOLTAJE (Volts)	AMPERAJE (Amp)	CARGA POR EQUIPO (KVA)	CARGA TOTAL (KVA)
BOMBA CENTRIFUGA DE RECIRCULACION DE LODOS.	0,01	1	0,00746	110	0,08	0,02	0,02
BOMBA COMPRESOR	0,06	1	0,04476	220	0,25	0,09	0,09
CONSUMO TOTAL EN KVA							0,11

Fuente: Autoras.

En la Tabla 28 se muestran las características y el consumo total en KVA de las bombas utilizadas en el prototipo el cual corresponde a 0,11 KVA.

Por otro lado, se realizó una evaluación económica de todo el sistema en cuanto a costos de construcción, operación y mantenimiento, con el fin de identificar su viabilidad para las zonas rurales. En la Tabla 26, se estipulan los precios y costos generados por la PTAR en la escala que se trabajó como parte experimental, siendo estos considerablemente bajos en comparación con otro tipo de sistemas de tratamiento, adicionalmente su diseño garantiza el uso de poco espacio y su fácil transporte, que brinda mayores beneficios a la población rural. Adicionalmente la planta fue construida con materiales reutilizables, en este caso se reutilizó la cáscara de coco, la pepa de guama, las tapas de los reactores y el tubo PVC. En cuanto al consumo energético o carga eléctrica también resulta ser relativamente bajo (ver Tabla 28), sin embargo, este consumo va a depender del tiempo de operación de la planta y la capacidad que tengan las bombas utilizadas, de la misma manera se evaluó el costo que tiene tratar un m³ incluyendo en este el mantenimiento, mano de obra, costo energético etc. (ver Tabla 27)

9. Conclusiones

El agua residual doméstica objeto de estudio se obtuvo de la finca Las delicias, en la vereda de Mancilla, Facatativá. Se realizaron diferentes análisis a los parámetros más representativos de las aguas residuales, los cuales permitieron una aproximación de la eficiencia y los porcentajes de remoción.

La conceptualización del proyecto permitió identificar que la Planta Piloto elaborada con materiales reutilizables, tuvo una eficiencia positiva, demostrando que los materiales que se propusieron, realizaron un tratamiento favorable en cuanto a las condiciones iniciales del agua residual doméstica. Se considera que la piedra pómez y el carbón activado, utilizados en la unidad biológica y de filtración funcionan, a medida que el tiempo de operación sea continuo. Se

infiere que durante la etapa experimental no se logró la fase estacionaria de los microorganismos, dado que los resultados obtenidos en los muestreos no se estabilizaron, por el contrario, siempre estuvieron en decrecimiento, asumiendo que estos microorganismos estaban en la fase exponencial aumentando la eficiencia de la planta. Pese a la remoción que se obtuvo en el sistema algunos resultados obtenidos no cumplen los requerimientos legales tanto de vertimientos como de reusó.

Al terminar la etapa de experimentación y de muestreo que duro aproximadamente 45 días, se extrajeron varias pepas de guama de la unidad de filtración, con el fin de verificar el estado en el que se encontraba. Se observó que no sufrió degradación, algunas pepas se dividieron por la mitad probablemente por el peso, la fricción de los demás materiales o por absorción del agua, se puede concluir que este material puede ser usado como medio de soporte en un lecho filtrante reemplazando la grava.

En cuanto a la parte económica se considera que es un sistema viable y de fácil adquisición para poblaciones rurales, gracias a los bajos costos de construcción, operación y mantenimiento, adicionalmente el bajo consumo energético en comparación con otros sistemas de tratamiento.

10. Referencias

- Casanova Acosta, M. A. (2017). *Evaluación de un digestor anaerobio de fases separadas para el tratamiento de lactosuero de la microempresa “Lácteos La Delicia La Frontera”*.
Obtenido de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/10216/1/7720-0505593.pdf>
- Torres Medina , J., & Briceño Pinzón , Y. (2016). *tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico a partir de coleópteros scarabaeidae*. Obtenido de <https://stadium.unad.edu.co>
- anónimo. (noviembre de 2014). *Aguas residuales*. Obtenido de <https://es.slideshare.net>
- Araque, M. M. (2006). Evaluación de los tratamientos térmico y alcalino en la desinfección del lodo generado en la PTAR EL SALITRE. Bogotá, D.C.: Universidad de Los Andes.
- Argandoña, Z. L., & Macías, G. R. (2013). Determinación de sólidos totales, suspendidos, sedimentados y volátiles, en el efluente de las lagunas de oxidación situadas en la parroquia Colón, Canton Portoviejo, provincia de Manabí, durante el período de marzo a septiembre 2013. *Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Manabí*. Portoviejo, Ecuador.
- Arocutipa, L. J. (2013). Evaluación y propuesta técnica de una planta de tratamiento de aguas residuales en Massiapo del distrito alto de Inambari - Sandia (Tesis de pregrado). *Universidad Nacional del Altiplano*. Puno, Perú.
- Betanzos Vega, A., Capetillo Piñar, N., & Lopeztegui Castillo, A. (2011). Variaciones de la turbidez en aguas marinas costeras de la region norcentral de cuba. *UNACAR TECNOCENCIA*, 14-26.

- Bojaca, R. d. (Abril de 2005). *PSO Determinación de alcalinidad por potenciometría*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co>
- Bravo, M. K., & Garzon, M. A. (2017). Eficiencia del carbó activado procedente del residuo agroindustrial de coco (Cocos nucifera) para remoción de contaminantes en agua. *Escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, tesis de pregrado*. Calceta.
- Bueno Saldaña, J. A., Franco Espinoza, J., Gallegos González, L., Jiménez Badilla, F., López perez, R., Rocha Martínez, P., . . . Delgado, n. e. (9 de marzo de 2018). *Separación mecánica por el método de filtración*. Obtenido de <https://es.slideshare.net>
- Cantillo Gonzalez , Y. (2016). *Seguimiento y control del funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales de villa diana carolina 1 y 2, y la construccion de la ptar del yulo del municipio de ricaurte cundinamarca*. Obtenido de <http://repositorio.ucundinamarca.edu.co/>
- Castrillón, M. C., Giraldo, L., & Moreno, J. C. (2011). Preparación de carbones activados a partir de residuos de llantas. Activación Física y química. *Revista Colombiana de Química* , 269-282.
- Cisterna Osorio, P., & Peña, D. (s.f). *Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org>
- Cisterna, O. P., & Peña, D. (s.f.). *Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región*. Chile.

Corrales, Romero, Bohórquez, & Corredor. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *scielo*, 59.

Cruz, A. M. (06 de 2008). Caracterización y tratamiento de aguas residuales. *Universidad Autonoma del estado de Hidalgo*.

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba-Bolivia.

Díaz, C. E., Alvarado, G. A., & Camacho, C. K. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera, Vol. 14, num. 1, 78-97*.

Donado, H. R. (agosto de 2013). *Plan de gestión para lodos generados en la PTAR-D de los municipios de Cumaral y San Martín de los llanos en el departamento del Meta*.
Obtenido de respository.javeriana.edu.co

Ecofluidos ingenieros S.A. (enero de 2012). *Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en apurimac y cusco*. Obtenido de <http://www1.paho.org>

Espigares, G. M., & Pérez, L. J. (s.f.). Aguas Residuales. Composición.

Fernandez, F. R. (septiembre de 2013). Estudio del comportamiento de reactores anaerobios de tipo ASBR frente a compuestos de difícil degradación y/o efectos negativos.

Flórez, A. A., & Henao, H. M. (2013). Almacenamiento optimizado en la Inga Edulis. Medellín.

Gaitán, M. E. (2004). *Ideam*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/>

García Úbeda, F. (septiembre de 2013). *Planta de producción de carbón activo*. Obtenido de <http://zaguan.unizar.es>

Giraldo, G. G. (1995). Manual de análisis de aguas. *trabajo para optar al título de profesor asistente, Universidad Nacional de Colombia*. Manizales.

Glynn, H., & Gary, H. (1999). *Ingeniería ambiental*. México: Pearson Educación.

Gómes, a., Klose, W., Rincón, S., & Wolfgang, W. (2004). Proceso de producción de carbón activado a partir de cáscaras de palma de aceite en un horno rotatorio y su aplicación en la limpieza de NO. *Palmas*, 461-471.

Gómez, G. L. (s.f.). *Indicadores de calidad del agua*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec>

Gonzales, S. J., & Gómez, O. K. (2016). *Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de bojacá-cundinamarca*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13907/4/OPTIMIZACIÓN%20PLAN%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20DEL%20MUNICIPIO%20DE%20BOJACÁ.pdf>

Guitierrez, L. R., & Sánchez, G. A. (2015). *Manual Funciones - Procedimientos - Limpieza trampas de grasa*. Obtenido de <https://www.lacsonadezipaquira.com>

Hernández, D., & Sánchez, S. (s.f.). Diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Marcos-departamento de Sucre. Bogotá, D.C.: Universidad Católica de Colombia.

- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. (julio de 2013). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos)*. Obtenido de <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/7010manualTecnicasanaliticas..pdf>
- Jiménez, E., & Villegas, A. M. (2005). Diseño de un sistema de biofiltración para la remoción de estireno. *EIA*, 9-20.
- Lazo, C. R. (2015). Operaciones y procesos para la producción de carbón activado a partir de la cáscara de coco. Callao.
- Lizarazo Becerra, J. M., & Orjuela Gutiérrez, M. I. (2013). *Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/11112/1/marthaisabelorjuela2013.pdf>
- Mateus Traslaviña, M. P., & Poveda, I. A. (2016). *Desarrollo de una alternativa para el aprovechamiento del agua residual tratada de la par del frigorífico ble ltda*. Obtenido de <http://repository.uamerica.edu.co>
- Meseth, M. E. (2013). Estudio de una planta de tratamiento de aguas residuales de Irlanda y su impacto en el medioambiente. Lima, Perú: Ingeniería Industrial.
- Metcalf-Eddy. (s.f.). *INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES. T DATÁMIENTO, VERTIDO Y REUTILIZACION*. Buenos aires: FreeLibros.
- Moeller, G., & Tomasini Ortíz, A. C. (s.f.). *MICROBIOLOGÍA DE LODOS ACTIVADOS*. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co>

Montoya Tabares , C. M. (2012). *Modelo matemático que permita evaluar el cambio de la DBO5 soluble debido a agentes inhibitorios en un proceso de lodos activados*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co>

Movius. (s.f.). *Qué es una PTAR – Planta de Tratamiento de Aguas Residuales?* Obtenido de <http://mobius.net.co/que-es-una-ptar/>

Pérez Guzmán, J. A., & Rincón Ojeda, M. C. (2016). *Evaluación del proceso de filtración como tratamiento de aguas residuales de la fase de pelambre en la curtiembre camelo, barrio San Benito, Bogotá*. Obtenido de repository.lasalle.edu.co

Quintana, F. A. (Febrero de 2010). *Análisis estadístico de los parámetros DQO, DBO5 y SS de las aguas residuales urbanas en el ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa*. Obtenido de <https://accedacris.ulpgc.es>

Ramirez, A. G. (s.f.). *El carbón activado para el tratamiento del agua*. Obtenido de Biblioteca digital: <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=20980>

Ramos, O. R. (2003). *El agua en el medio ambiente: muetsreo y analisis*. Plaza y Valdes.

RAS . (noviembre de 2000). *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS - 2000 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*.

Obtenido de

http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e_.pdf

Repsol, gas del Perú. (s.f.). *Planta compacta de tratamiento de aguas residuales domésticas "ECOFIL"*. Repsol.

- República de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Departamento Nacional de Planeación. (junio de 2004). *Plan nacional de manejo de aguas residuales municipales en Colombia*. Obtenido de <http://www.minvivienda.gov.co>
- Rodríguez, m. C. (2007). Dureza total con EDTA por volumetría. *IDEAM*.
- Romero Rojas, J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Escuela Colombiana de ingeniería.
- Romero, R. J. (2009). *Calidad del agua*. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sanchez, F. S. (11 de 2016). Investigación experimental " Utilización de la laparita o vulcanita para la reducción de parámetros o indicadores físicos, químicos de aguas residuales domesticas". *Universidad de Guayaquil, trabajo de titulación, para la obtención de grado de magister en gestión ambiental*. Guayaquil, Ecuador.
- Sette, R. R. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Reverte.
- Soto, F. J. (2010). La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. *Redalcy.org*, 167-177.
- Torres, L. 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 del ambiente*, pp. 5-14.
- Torres, L. P., Escobar, J. C., Pérez, V. A., Imery, R., Nates, P., Sánchez, M., . . . Sanches, G. (2005). Influencia del material de enmienda en el compostaje de lodos de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales - PTAR. *Scielo*, 54-61.

Vargas Palacios, E. H. (2016). *Evaluación técnica de la planta de tratamiento de agua residual (ptar), de la inspección de pueblo nuevo del municipio de nilo cundinamarca*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co>

Vela, R. J. (2011). Efectos de las diferentes profundidades de la remoción del suelo e incorporación de biomasa vegetal en el crecimiento de guaba, en suelos degradados (ex cicales) de Supte San Jorge, Tingo María. *tesis para optar al título de Ingeniero en recursos naturales renovables* . Tingo María, Peru.

Xu, Z., Ben, Y., Chen, Z., Jiang, A., Shen, J., & Han, X. (2018). Aplicación y ecología microbiana de psicotrofos en el tratamiento de aguas residuales domésticas a baja temperatura. China: Elsevier.

11. Anexos

11.1 ANEXO 1.

Procedimientos a seguir en la caracterización fisicoquímica del agua

Parámetros	Metodología
Alcalinidad	<p style="text-align: center;">PSO DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD POR POTENCIOMETRIA</p> <p>Reactivos</p> <p>- Solución de carbonato de sodio, aproximadamente 0,05 N. Secar de 1 a 1,5 g de Na₂CO₃ estándar primario a 250 °C durante 4 h y enfriar en un desecador. El carbonato seco tiene a adquirir carga estática por lo que se aconseja pesar 0,6250 g o una cantidad cercana, exactamente medida, en un vaso de 50 mL y llevar a 250 mL (tener en cuenta este peso para el cálculo de la normalidad del ácido) No conservar por más de una semana.</p> <p>-Ácido sulfúrico estándar, 0,1 N: Coloque un vaso de 600 mL con unos 300 mL de agua desionizada, Agregue muy lentamente 2,8 mL de ácido sulfúrico concentrado del 98%, cuando este a temperatura ambiente complete a 1 Litro en un balón aforado.</p> <p>- Ácido sulfúrico 0,02 N. Coloque un vaso de 600 mL con unos 300 mL de agua desionizada, adicione 200 mL de ácido sulfúrico 0,1 N y en un balón aforado y complete a 1000 mL.</p>

Materiales: a) Pipetas, volumétricas de 5, 10, 25, 50 y 100 mL, b) Balones aforados, de 1000, 200 y 100 mL, c) Bureta, de vidrio borosilicato, de 10 mL y/o bureta automática digital, d) Probeta de 50 y 100 mL, e) Vasos de precipitados de 250 y 50 mL.

Procedimiento de análisis:

Para alcalinidades mayores a 100 mg/L (aguas superficiales contaminadas o aguas residuales) tome una alícuota de 50 o 25 mL con probeta, ya que la cantidad de sólidos suspendidos obstruye la pipeta y dificulta la medición de la alícuota. La alícuota de 25 mL debe tomarse en un vaso de 100 mL o menor, para que el sensor del electrodo de vidrio quede sumergido en la muestra.

10.4 Inmediatamente antes de realizar la titulación, titule hasta pH 8,3 si el pH de la muestra es superior a este valor a medida que se acerque al punto final, hacer adiciones de ácido más pequeñas con el botón del Dosimat en el mínimo, que proporciona volúmenes de 0.002 mL y verificar que se alcance el equilibrio de pH antes de adicionar más titulante. NOTA: No deje la muestra expuesta al aire y no la someta a agitación mientras no esté adicionando el titulante (H₂SO₄ 0.02 N), no sirva varias muestras simultáneamente.

10.5 Registre el valor obtenido en la planilla de volumetría como el volumen de ácido gastado a pH 8,3 para el cálculo posterior de carbonatos e hidróxidos según el caso.

Formato de volumetría TF0024

10.6 Continúe la titulación hasta pH 4,5, a medida que se acerque al punto final, hacer adiciones de ácido más pequeñas con el botón del Dosimat en el mínimo, que proporciona

volúmenes de 0.002 mL y verificar que se alcance el equilibrio de pH antes de adicionar más titulante. 10.7 Titule hasta pH 4,5, a medida que se acerque al punto final, hacer adiciones de ácido más pequeñas y verificar que se alcance el equilibrio de pH antes de adicionar más titulante. 10.8 Una vez se estabilice la lectura en el pH metro, de nuevo oprima el botón de lectura del pH metro para asegurarse que el pH no ha cambiado, debido a que la materia orgánica y la grasa hacen que la respuesta del pH metro sea lenta.

Procesamiento de datos y cálculo de resultados:

Titulación potenciométrica a punto final de pH.

$$\text{Alcalinidad, mg CaCO}_3/\text{L} = \frac{A \times N \times 50\,000}{\text{mL de muestra}}$$

donde:

A = mL de ácido estándar gastados, y
N = normalidad del ácido estándar.

Cálculo de las relaciones de alcalinidad.

Los resultados obtenidos a partir de las determinaciones a pH 8,3 y alcalinidad total (pH 4,5) ofrecen un medio de clasificación estequiométrica de las tres formas principales de alcalinidad presentes en muchas aguas. 1-. La alcalinidad de carbonato (CO_3^{2-}) se presenta cuando el volumen a pH 8.3 no es 0, sino menor que la total. 2-. La alcalinidad de hidróxido (OH^-) se presenta si el volumen a pH 8.3 supera la mitad de la total. 3-. La alcalinidad de bicarbonato se presenta si el volumen a pH 8.3 es menor de la mitad de la total. Estas relaciones pueden calcularse mediante el siguiente esquema, donde P es el volumen gastado a pH 8,3 y T es el volumen gastado a pH 4,5.

	<p>Método adaptado del IDEAM, elaborado por (Bojaca, 2005).</p>
<p>Dureza</p>	<p>DUREZA TOTAL EN AGUA CON EDTA POR VOLUMETRÍA</p> <p>Reactivos</p> <p>Agua ultra pura obtenida mediante el purificador Labconco WaterPro PS. Ácido nítrico, HNO₃, al 10% Blanco de reactivos: contiene todos los reactivos que se utilizan en el método de análisis excepto el analito de interés, en este caso calcio y magnesio. Indicador Negro de Eriocromo T (NET): sal sódica del ácido 1-(1-hidroxí-2-naftilazo)-5-nitro-2-naftol-4-sulfónico, n.º 203 en el índice del color. Disuelva 0.5 g del colorante en 100 mL de 2,2', 2''-nitriлотrietanol (también llamado trietanolamina).</p> <p>Las soluciones alcalinas de negro de Eriocromo T son sensibles a los oxidantes, y sus soluciones acuosas o alcohólicas son inestables. (Los indicadores pueden utilizarse en forma de polvo seco siempre que se tenga cuidado en evitar su exceso. Existen en el mercado mezclas secas de esos indicadores y una sal inerte. Si el cambio de color de punto final de esos indicadores no es neto y diferenciado por lo general, eso significa que se requiere un complejante apropiado.)</p> <p>Titulante EDTA, 0,01 M: pese 3,723 g de etilendiaminotetracetato disódico dihidrato, grado de reactivo analítico, también llamado sal disódica del ácido tetraacético (EDTA). Y disolverlo en agua destilada</p>

hasta 1000 mL. El titulante extrae cationes productores de dureza de los recipientes de vidrio blando, por lo que debe conservarse en frascos de polietileno (preferible) o de vidrio borosilicato.

Materiales:

- Material volumétrico clase A (balones y pipetas aforadas)
- Erlenmeyeres, vasos de precipitado
- Frascos de plástico, de vidrio borosilicato o de polietileno. (Para almacenar las soluciones).
- Frasco lavador.
- Micro espátula.
- Pera de caucho.
- Mortero.
- Guantes.
- Mascara con filtros para vapores ácidos y vapores de amoníaco.

Procedimiento de análisis

Prenda la bureta digital la cual debe tener la botella con solución de EDTA 0.01 M, realice varias recirculaciones y verifique que el embolo quede sin burbujas. Entre muestras borre la lectura con la tecla clear o llene el embolo con la tecla fill. (Ver instructivo TI0401) Titulación de muestras: Seleccione un volumen de muestra que requiera menos de 15 mL de reactivo EDTA y realice la titulación en cinco minutos, medidos a partir del momento de la adición del tampón. Mida una alícuota conveniente de muestra de acuerdo con el contenido aproximado de dureza, así: - 100 o

200 mL para muestras con contenidos menores a 5 mg/L. - 50 mL para muestras con contenidos entre 5 y 10 mg/L. - 25 mL para muestras con contenidos entre 10 y 500 mg/L, diluya hasta alrededor de 50 mL con agua UP en un erlenmeyer. - 10 o 5 mL para muestras con contenidos superiores a 500 mg/L, diluya hasta alrededor de 50 mL con agua UP en un erlenmeyer. Adicione entre uno y dos mililitros de solución tampón. Por lo general, 1ml será suficiente para dar un pH de 10.0 a 10.1. La ausencia de un cambio de color de punto final neto en la titulación suele significar la necesidad de añadir un inhibidor en este punto, (ver numeral 4 para limitaciones e interferencias) o que el indicador se ha deteriorado Adicione una gota de solución indicadora o una cantidad adecuada del reactivo en polvo seco (0.1 a 0.2 g). Poco a poco, adicione titulante EDTA estándar, agitando continuamente, hasta que desaparezcan los últimos matices rojizos. Adicione las últimas gotas con intervalos de 3 - 5 segundos. En el punto final, la solución suele ser azul. Se recomienda utilizar luz natural o una lámpara fluorescente de luz día, ya que las lámparas de incandescencia tienden a producir un matiz rojizo en el azul de punto final. Cuando tome un volumen igual o mayor a 100 adicione cantidades proporcionales de tampón, inhibidor e indicador. Adicione lentamente titulante EDTA por medio de la bureta y realice un blanco, utilizando agua UP del mismo volumen que la muestra, a la que se le adicionan idénticas cantidades de tampón, inhibidor e indicador. Registre el volumen gastado para la titulación que aparece en el display de la bureta digital en el formato de

	<p>volumetría TF0024, diligenciando todos los datos para cada muestra.</p> <p>Registre el resultado con tres cifras significativas.</p> <p>Procesamiento de datos y cálculo de resultados:</p> <p>Calculo de la Molaridad del EDTA:</p> $[M_{EDTA}] = \frac{V_{CaCO_3} \times M_{CaCO_3}}{V_{EDTA}}$ <p>Donde:</p> <p>M_{EDTA} = Molaridad de EDTA, mol/L. V_{EDTA} = Volumen de titulante (EDTA), mL. M_{CaCO_3} = Molaridad del $CaCO_3$, (0.01 mol/L). V_{CaCO_3} = Alícuota de $CaCO_3$ usado, (5 mL).</p> <p>Para realizar los cálculos: la dureza total, cálcica y magnésica se expresan en mg $CaCO_3/L$.</p> <p>El cálculo de la concentración de Dureza en una solución, expresado como carbonato de calcio, se determina de la siguiente forma:</p> $[Dureza\ total],\ mg\ CaCO_3/L = \frac{V_{EDTA} \times M_{EDTA}}{V_{MUESTRA}} \times 100\ 091$ <p>Donde:</p> <p>V_{EDTA} = Volumen de titulante (EDTA) para valorar dureza, mL. M_{EDTA} = Concentración de EDTA, mol/L. $V_{MUESTRA}$ = Alícuota de muestra titulada, mL. 100091 = Peso atómico del carbonato de calcio (100,091 g/mol) x 1000 mg/g.</p> <p>Método adaptado del IDEAM.</p>
<p>DBO₅</p>	<p>DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO 5 días, INCUBACIÓN Y ELECTROMETRÍA</p> <p>Reactivos</p> <p>Agua destilada y Ultrapura. Solución tampón de fosfato: Disuelva 8,5 g de KH_2PO_4, 21,75 g de K_2HPO_4, 33,4 g de $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$, y 1,7 g de NH_4Cl en aproximadamente 500 mL de agua ultrapura y diluya a 1 L. El pH del buffer preparado debe ser 7,2 sin posteriores ajustes, permitiendo</p>

un intervalo entre 7.1 – 7.3 y verificar el pH de cada preparación. Si se presenta alguna señal de crecimiento biológico, descarte este reactivo.

Solución de sulfato de magnesio: Disuelva 22,5 g de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ en agua ultrapura y diluya a 1L. Si se presenta alguna señal de crecimiento biológico, descarte este reactivo.

Solución de cloruro de calcio: Disuelva 27,5 g de $CaCl_2$ en agua ultrapura y diluya a 1L. Si se presenta alguna señal de crecimiento biológico, descarte este reactivo.

Solución de cloruro de hierro (III): Disuelva 0,25g de $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ en agua ultrapura, diluya a 1L. Si se presenta alguna señal de crecimiento biológico, descarte este reactivo.

Ácido Sulfúrico 1 M. En un vaso de precipitados coloque alrededor de 300 mL de agua ultrapura y agregue muy lentamente y mientras agita, 28 mL de ácido sulfúrico concentrado; diluya a 1 L.

Hidróxido de Sodio 1M. Disuelva 40 g de hidróxido de sodio en agua ultrapura y diluya a 1 L.

Solución de glucosa - ácido glutámico: Seque a 103 °C por 1 h glucosa (grado analítico) y ácido glutámico (grado analítico). Disuelva 150 mg de glucosa y 150 mg de ácido glutámico en agua ultrapura y diluya a 1 L., almacenarlo en un frasco de tapa de rosca, estéril, refrigerado y se puede usar por una semana.

Cepa o Semilla: Agua superficial contaminada, tomada en el Río Fucha entrada a Abastos, se toma los martes y los viernes, se alimenta en la tarde después de haber realizado los análisis del día porque de lo contrario queda muy concentrada. Antes de alimentar la cepa, agitar para homogenizar el contenido del erlenmeyer que la contiene, se encuentra en el cuarto de máquinas en aireación continua, desechar el 50% de la

almacenada allí, agregar la misma cantidad que se eliminó y mezclar. Al día siguiente ya puede ser utilizada, mezclar antes de transferir a un vaso de precipitados el volumen necesario de acuerdo al número de muestras, dejar decantar en el vaso y tomar el sobrenadante, adicionar 2 mL a cada botella Winkler.

Materiales y vidriería

- Botellas de Polipropileno de 2000 mL.
- Botellas Winkler de aproximadamente 300 mL de capacidad
- Garrafa con llave de 20 L de capacidad y con dispensador o mangueras.
- Microespátula metálica.
- Balón aforado de 1L Clase A
- Balones aforados de 100 mL Clase A o Clase B
- Pipetas graduadas de 10 mL. Clase B
- Pipetas graduadas de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 50, 100 mL boca ancha.
- Probetas de 250, 500ml.

Procesamiento de la muestra

Después de establecer la cantidad de muestra que necesita de acuerdo a las diluciones a realizar, agite la muestra para homogenización completa y sirva en un vaso de precipitados la muestra, ajuste el pH de la muestra entre 6,5 y 7,5 con ácido sulfúrico 1 M o hidróxido de sodio 1 M, según sea el caso, dosificando estos reactivos con una pipeta Pasteur que dosifique gotas muy pequeñas.(Punta en buen estado) Aliste cuatro

botellas Winkler Rotule las botellas con el número de muestra, la dilución correspondiente y la fecha de análisis. Para determinar la dilución aproximada siga los criterios de dilución de muestras. Registre en el formato TF 0025 el volumen real de la botella Winkler impreso en la botella usada. Adicione a cada botella la cantidad de muestra que se ha establecido, si se requiere hacer dilución realícela en un balón aforado clase A ó B agite y sirva en la botella la cantidad requerida. Adicione 2 mL de cepa. Adicione agua solamente hasta la mitad del cuello de la botella, para que al introducir el electrodo no haya pérdida de muestra. Lea el oxígeno inicial de las cuatro botellas de muestra, llene totalmente dejando el sello hidráulico (pequeña película de agua para impedir el intercambio de oxígeno entre la botella y el ambiente) Si al medir el oxígeno disuelto inicial, ha descendido a menor de 6, preparar otra botella utilizando un volumen de muestra menor. Registre los datos en el formato TF 0025 e incube a $20^{\circ} \pm 3^{\circ} \text{C}$ por cinco días. Al quinto día lea el Oxígeno disuelto residual.

Calcule la DBO5 con los resultados obtenidos (ver ecuación en el numeral 10).

Procesamiento de datos y cálculo de resultados

Efectúe los cálculos por medio de la ecuación: Donde:

	$DBO_5, mgO_2 / L = \frac{(OD_{consumido} - OD_{consumo\ cepa}) * V}{V_m}$ <p>OD consumido: OD i – OD r</p> <p>OD consumo cepa: OD i (agua de dilución + cepa) – OD r (agua de dilución + cepa)</p> <p>V = Volumen de la botella Winkler, que el valor promediado es de 293 ml.</p> <p>V_m = Volumen de alícuota de la muestra afectado por el factor de dilución</p> <p>Método adaptado del IDEAM.</p>
DQO	<p style="text-align: center;">DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRIA</p> <p style="text-align: center;">Reactivos</p> <p>Solicite los reactivos diligenciando el formato AF0041.</p> <p>Agua Ultrapura, obtenida en la pistola del purificador Labconco WaterPro PS.</p> <p>Solución de digestión, 0,0167M ó 0.1 N: Ponga a secar a 150°C durante 2 horas, Dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) con pureza superior al 99.5%. En un vaso de 1000 mL disuelva 4,913 g del Dicromato de potasio anhidro, en 500 mL de agua desionizada filtrada, adiciónale muy lentamente 167 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado y 33,3 g de Sulfato mercúrico (HgSO₄) grado reactivo, espere a que se disuelva y se enfríe a temperatura ambiente, complete en balón volumétrico de 1000 mL. Almacene en botella ámbar a temperatura ambiente.</p> <p>Reactivo de ácido sulfúrico: Prepare con una semana de anticipación. Agregue sulfato de plata (Ag₂SO₄), grado reactivo o técnico, en cristales o en polvo, a una cantidad de H₂SO₄ concentrado en proporción de 5,5 g de Ag₂SO₄/kg H₂SO₄. (aproximadamente 545 mL de ácido), tome una</p>

botella de 2500 mL de ácido sulfúrico concentrado (como viene en la presentación del 98%) y adiciónale 25.2294 g de Ag_2SO_4 . Deje en reposo una semana para que se disuelva el Ag_2SO_4 . Una vez disuelto, transfiera cuidadosamente y almacene en la bureta de vidrio dispensadora, con una capacidad de 50 mL, a temperatura ambiente.

Solución indicadora de ferroina: Disuelva 1,485 g de 1,10-fenantrolina monohidratada y 0,695 g de Sulfato ferroso heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) en agua desionizada filtrada y diluya en balón de 100 mL. Almacene en frasco con dispensador gota a gota y a temperatura ambiente.

Ftalato ácido de potasio (KHP) estándar. Triture ligeramente y ponga a secar Biftalato de potasio ($\text{HOCC}_6\text{H}_4\text{COOK}$) a 110°C hasta peso constante. Disuelva 0,2125 g de biftalato de potasio en agua ultrapura y lleve a volumen en un balón volumétrico de 500 mL. El biftalato tiene una DQO teórica de 1,176 mg O_2/mg y la solución tiene una DQO teórica de 500 mg O_2/L . La solución es estable hasta tres meses si se conserva refrigerada; se debe verificar la presencia o ausencia de crecimiento biológico, y en caso afirmativo descartarla.

Solución titulante de Sulfato ferroso amoniacal hexahidratado ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) FAS, aproximadamente 0.04 N: Disuelva 15,6856 g de FAS en agua desionizada filtrada. Adiciónale 20 mL de H_2SO_4 concentrado, grado reactivo lentamente, deje enfriar y complete en balón volumétrico de 1000 mL. Valore la solución diariamente con la solución de digestión de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

Solución titulante de Sulfato ferroso amoniacal hexahidratado ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) FAS, aproximadamente 0.1 N: Disuelva 39,2140 g de FAS en agua desionizada filtrada. Adiciónale 20 mL de H_2SO_4 concentrado, grado reactivo lentamente, deje enfriar y complete en balón volumétrico de 1000 mL. Valore la solución diariamente con la solución de digestión de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

Solución de digestión, 0,04175 M ó 0.25 N: Seque a 150°C durante 2 horas, Dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) con pureza superior al 99.5%. En un vaso de 1000 mL disuelva 12.2825 g del Dicromato de potasio anhidro, en 500 mL de agua desionizada filtrada, adiciónale muy lentamente 167 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado y 33,3 g de Sulfato mercúrico (HgSO_4) grado reactivo, espere a que se disuelva y se enfríe a temperatura ambiente, complete en balón volumétrico de 1000 mL. Almacene en botella ámbar a temperatura ambiente.

Solución de digestión, 0,004175 M ó 0.025 N: Seque a 150°C durante 2 horas, Dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) con pureza superior al 99.5%. En un vaso de 1000 mL disuelva 1.2283 g del Dicromato de potasio anhidro, en 500 mL de agua desionizada filtrada, adiciónale muy lentamente 167 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado y 33,3 g de Sulfato mercúrico (HgSO_4) grado reactivo, espere a que se disuelva y se enfríe a temperatura ambiente, complete en balón volumétrico de 1000 mL. Almacene en botella ámbar a temperatura ambiente.

Materiales

- Balones aforados clase A de 50 mL.
- Erlenmeyers de 125 mL.
- Pipetas aforadas clase A, de 2, 2.5, 5, 6, 10, 20 y 25 mL.
- Pipetas graduadas de 5 y 10 mL.
- Probetas vidrio de 50 mL.
- Transferpipeta de 10 mL
- Pipeta Pasteur.
- Microespátula.
- Micropipeta de 1000 μ L
- Tubos de digestión, de vidrio borosilicato, de 16 \times 100 mm, con tapa rosca con empaque de Teflón y que soporten temperaturas hasta de 200°C.
- Tubos de digestión, de vidrio borosilicato, de 25 \times 150 mm, con tapa rosca con empaque de Teflón y que soporten temperaturas hasta de 200°C.

Digestión de la muestra

Precaliente conectando el digestor una hora antes de colocar las muestras para que éste alcance los 150 °C. o Preparación de blancos: Transfiera una alícuota de 2,5 mL de agua ultrapura en un tubo de digestión, adicione 1,5 mL de solución de digestión y 3,5 mL de reactivo de ácido sulfúrico (este reactivo debe ser dispensado gota a gota por la pared del tubo. Tape herméticamente los tubos, agite varias veces, sin invertir. PRECAUCIÓN: Use la careta de seguridad y

guantes gruesos para proteger las manos del calor producido al mezclar el contenido de los tubos, mezcle minuciosamente antes de aplicar calor, para prevenir el calentamiento local en el fondo del tubo y una posible reacción explosiva. o Prepare 6 tubos como blancos, 3 de ellos colóquelos en digestión junto con las muestras y los otros 3 déjelos sin digerir, para valorar la concentración del FAS. o Tratamiento de la muestra. Agite vigorosamente la muestra, transfiera a un tubo de digestión, 2,5 mL de muestra, agregue cuidadosamente 1.5 mL de solución de digestión y 3,5 mL de reactivo de ácido sulfúrico por la pared del tubo de tal manera que se forme una capa de ácido debajo de la mezcla de muestra y solución digestora. Tape herméticamente y agite, si la muestra presenta coloración verdosa o azul, indica que se encuentra fuera de rango de lectura, repita el procedimiento utilizando dicromato de potasio 0,25 N, titule con sulfato ferroso amoniacal. Tenga en cuenta las precauciones. o Verifique el tipo de muestra, cuando ésta corresponda a un adicionado recuerde medir el volumen antes de iniciar el análisis y regístrelo en el formato y en el envase.

Coloque los tubos con las muestras, los blancos para digestión y los estándares de control (distribuya aleatoriamente en cada uno de los bloques los blancos y los estándares de control), en el microdigestor precalentado a 150°C. Espere a que se estabilice la temperatura en 150°C y deje en digestión por 2 horas, después de este tiempo saque los tubos y colóquelos en una gradilla a enfriar. o Transfiera

cuantitativamente el contenido de cada tubo a un erlenmeyer marcado con el número de muestra, blanco o control.

Valoración del Titulante.

Valoración del FAS: Tome cada uno de los blancos no digeridos, transfíralos cuantitativamente a un erlenmeyer de 125 mL, enjuague varias veces con agua ultrapura y vierta el contenido en el erlenmeyer.

Adicione 2 gotas de indicador de ferroína, mezcle rápidamente con el agitador magnético.

Titule con el FAS aprox 0,04 N (si usó dicromato 0.025 N ó 0.10 N) o aprox. 0.10 N (si usó dicromato 0.25N). El punto final de la titulación es un cambio de color de azul verdoso a café rojizo permanente.

$$\text{Normalidad del FAS} = \frac{\text{Volumen (K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \times \text{Normalidad (K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{\text{Volumen (FAS) promedio}}$$

Volumen de Dicromato = 1,5 ó 6 mL.

Concentración del Dicromato de potasio: 0.025, 0.10 N ó 0.25 N

Titulación de muestras.

Titulación de Blancos: Medición de la reducción del dicromato:

Tome los tubos de los blancos digeridos y realice el mismo procedimiento de titulación que el efectuado para la valoración del FAS. •

Titulación de las muestras: Tome los tubos de las muestras y estándares y realice el mismo procedimiento de titulación que el efectuado para la valoración del FAS.

NOTA: Si en la etapa de titulación de las muestras al adicionar ferroína, toman color rojizo permanente, significa que todo el dicromato ha sido

consumido, por lo tanto, es necesario utilizar el dicromato más concentrado. Si este también es consumido diluya la muestra. Deseche los residuos en la caneca rotulada Desechos de DQO ubicada debajo del mesón del área de DQO.

procesamiento de datos y cálculo de resultados:

Rechazo de datos para los 3 blancos con digestión: calcular el estadístico T para los valores extremos de cada grupo (máximo y mínimo), calcule el promedio y la desviación estándar.

Calcule el T como: $T = (X_{\text{alto}} - X_{\text{promedio}})/s$ para un valor alto.
 $T = (X_{\text{promedio}} - X_{\text{bajo}})/s$ para un valor bajo.

Si el T calculado es mayor que el T de tablas que es igual a 1,15 para 3 datos y para un nivel de confianza del 95%, el dato se rechaza. Para mayor información revise el TP0131 Procedimiento estándar de operación de estandarización de métodos analíticos.

$$\text{DQO como mg O}_2/\text{L} = \frac{(A - B) \times N \times 8 \times 1000}{\text{mL de muestra}}$$

donde:

A = Promedio de mL de FAS utilizado para los blancos digeridos

B = mL de FAS utilizado para la muestra

N = Normalidad del FAS

8 = Peso equivalente del Oxígeno.

Método adaptado del IDEAM, elaborado por **Fuente especificada no válida.**, en conjunto con el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, SM 4500 O-C, Electrometric Method, de American Water Works Association (AWWA), American Public Health Association (APHA) y Water Environment Federation (WEF), edition 22, Enero 2012.

pH	<p>POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)</p> <p>Conecte el potenciómetro a la fuente de energía y calibre el equipo</p> <p>Después de la calibración mida el pH 4 y 7 y anote en la hoja de registro de datos.</p>
Temperatura	<p>Determine el potencial de hidrógeno introduciendo el electrodo completamente en contacto con la muestra, esperar a que estabilice la lectura y anotar el valor en la hoja de registro de Datos.</p> <p><u>REPORTE DE RESULTADOS</u></p> <p><u>pH = Lectura directa del equipo</u></p>
Oxígeno Disuelto Total	<p>DETERMINACIÓN DE OXIGENO DISUELTO POR EL MÉTODO YODOMÉTRICO MODIFICACIÓN DE AZIDA</p> <p>Reactivos</p> <p>Solución de sulfato manganoso. Disolver 480 g de $MnSO_4 \cdot 4H_2O$, 400 g de $MnSO_4 \cdot 2H_2O$, o 364 g de $MnSO_4 \cdot H_2O$ en agua destilada, filtrar y diluir a 1 L. Cuando se adicione la solución de $MnSO_4$ a una solución acidificada de yoduro de potasio (KI), no debe producir color con el indicador de almidón. ♦ Reactivo álcali-yoduro-azida. - Para muestras saturadas o sin saturar. Disolver 500 g de NaOH (o 700 g de KOH) y 135 g de NaI (o 150 g de KI) en agua destilada y diluir a 1 L. Agregar 10 g de NaN_3 disuelto en 40 mL de agua destilada. Las sales de potasio y de sodio pueden usarse alternadamente. Cuando se diluya y acidifique, el reactivo no debe dar color con la solución de almidón. - Para muestras</p>

supersaturadas. Disolver 10 g de NaN_3 en 500 mL de agua destilada. Agregar 480 g de hidróxido de sodio (NaOH) y 750 g de yoduro de sodio (NaI), y agitar hasta disolver. Puede presentarse turbidez blanca debido al carbonato de sodio (Na_2CO_3), pero esto no es perjudicial. PRECAUCIÓN: No acidificar esta solución porque se pueden producir vapores tóxicos de ácido hidrazoico. ♦ Ácido sulfúrico, H_2SO_4 , concentrado. 1 mL es equivalente a aproximadamente 3 mL del reactivo de álcali-yoduro-azida. ♦ Solución de Almidón. Para preparar una solución acuosa, disuelva 2 g de almidón soluble grado analítico y 0,2 g de ácido salicílico como preservativo, en 100 mL de agua destilada caliente. ♦ Tiosulfato de sodio titulante estándar, 0.025N. Disuelva 6,205 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada, agregar 1,5 mL de NaOH 6N o 0,4 g de NaOH sólido y diluir a 1000 mL.

Materiales

- Botellas winkler de 300 mL
- Probeta en vidrio ó plástica de 100 mL
- Erlenmeyer de 250 mL
- Balones aforados de 1L clase A para la preparación de reactivos
- Pipeta graduada de 1 mL ó gotero plástico
- Bureta plástica de 10 mL ó Microbureta de 10 mL de capacidad con tolerancia de 0.02 mL Clase A

Procedimiento

Llene con muestra una botella winkler hasta que rebose y tápela.

Destape la botella y agregue 1 mL ó 20 gotas de solución de MnSO_4 (reactivo 1) a la muestra en la botella de DBO, seguido de 1 mL ó 20 gotas del reactivo de álcali-yoduro-azida (reactivo 2); tape cuidadosamente para evitar burbujas de aire y mezcle varias veces por inversión de la botella.

Cuando el precipitado se haya decantado hasta aproximadamente la mitad del volumen de la botella, para dejar un sobrenadante claro sobre el floc de hidróxido de manganeso, agregue 1,0 mL ó 20 gotas de H_2SO_4 concentrado (reactivo 3), tape y mezcle varias veces por inversión de la botella, hasta disolución completa, hasta aquí ya está fijado el oxígeno. Si no hay disolución completa agregue exceso de ácido sulfúrico.

Mida con una probeta 100 mL de la solución y trasváselos a un erlenmeyer de 250 mL.

Purgue la bureta de 10 mL con una porción de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0.025N; llene la bureta con tiosulfato de sodio hasta cero.

Titule con solución 0,025 M de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (reactivo 4) agregándolo gota a gota y agitando el erlenmeyer hasta obtener un color amarillo pajizo pálido; en ese punto agregue de 3 a 5 gotas de solución de almidón (Reactivo No. 5) en donde vira a color azul y continúe la titulación hasta la desaparición del color azul. Este es el punto final de la titulación. Si el color azul reaparece no se debe agregar más tiosulfato, ignore subsecuentes reapariciones del color.

Anote en el formato de campo TF0010 el volumen gastado de tiosulfato de sodio, el volumen de alícuota que son 100 mL y la concentración del tiosulfato, que generalmente es 0.025N.

Cálculos

Para titular un volumen correspondiente a 100 mL de la muestra original, calcular la corrección por la pérdida de muestra desplazada por los reactivos, así: para un total de 2 mL de reactivos de MnSO₄ y álcali-yoduro-azida (1 mL de cada uno) en una botella de 300-mL, tomar 100 × 300/(300-2) = 101 mL.

$$\text{mg de OD/L} = \frac{\text{Volumen de Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times \text{Normalidad del Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 8000 \times \text{Volumen de la botella}}{\text{mL de muestra valorada} \times (\text{Volumen de la botella} - 2)}$$

Cuando se titula 200 mL de muestra, 1 mL de Na₂S₂O₃ 0,025 M = 1 mg OD/L. Para expresar los resultados como porcentaje de saturación a 101,3 KPa, emplear los datos de solubilidad reportados en Standard Methods, donde también se encuentran las ecuaciones para corregir las solubilidades a presiones barométricas diferentes al nivel promedio del mar y para varias clorinidades.

La solubilidad del OD en agua destilada a cualquier presión barométrica, P (mm Hg), temperatura, T°C, y presión de vapor saturado, u (mm Hg), para la T dada entre 0 y 30°C, puede calcularse como:

	$\text{mL OD} / \text{L} = \frac{(P - u) \times 0,678}{35 + T}$ <p>y entre 30° y 50°C como:</p> $\text{mL OD} / \text{L} = \frac{(P - u) \times 0,827}{49 + T}$ <p>Método adaptado del IDEAM, elaborado por Fuente especificada no válida.</p>
Sólidos totales	<p>PROCEDIMIENTO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colocar una cápsula de porcelana limpia en una mufla a ignición a 550 °C • Enfriar, desecar, pesar y guardar la cápsula en un desecador hasta ser utilizada. • Transferir un volumen conocido de la muestra a la cápsula (50 ml) y evaporar a sequedad en un horno de secado a una temperatura de 98 °C para evitar ebullición y salpicaduras; elegir un volumen de muestra que produzca un residuo mínimo de 25 a 250 mg. Este volumen puede estimarse a partir de la conductividad; si es necesario, se pueden adicionar cantidades sucesivas de muestras a la misma cápsula • Mantener durante una hora a 103 - 105 °C una vez evaporada • Enfriar el recipiente en un desecador y posteriormente pesar • Repetir el ciclo de secado a 103 - 105 °C, enfriando, desecando y pesando hasta obtener un peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor que el 4% del peso previo <p>Cálculos</p> <p>Los sólidos totales se calculan como:</p>

	$\text{Sólidos (g/l)} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{ml (muestra)}}$ <p>A = Peso cápsula más la muestra (g)</p> <p>B = Peso cápsula (g)</p> <p>(Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, 2013)</p>
<p>Sólidos sedimentables</p>	<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Llenar el cono de Imhoff a la marca de un litro con una muestra bien mezclada a fondo, dejar en reposo por 45 minutos. • Agitar ligeramente los lados del cono con una barra, dejar 15 minutos más y registrar el volumen de material sedimentado en el cono ml/l. <p>Nota: recuerde homogenizar bien la muestra antes de proceder a llenar el cono.</p> <p>(Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, 2013)</p>
<p>Sólidos fijos y volátiles totales</p>	<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaporar a 103 - 105 °C en una cápsula de porcelana un volumen conocido de muestra homogeneizada (50 ml) • Someter a ignición el residuo obtenido hasta obtener peso constante en una mufla a 550 °C entre 15 y 20 minutos • Dejar enfriar la cápsula parcialmente en el aire hasta que la mayor parte del calor se haya disipado y transfíerala al desecador para enfriamiento total

	<ul style="list-style-type: none"> • Una vez enfriada, pesar. Reportar como sólidos volátiles el peso perdido, y como residuo fijo total el material presente en la cápsula. <p>Cálculos</p> <p>Los sólidos volátiles se calculan como:</p> $\text{Sólidos volátiles (mg/l)} = \frac{(A - B) \times 106}{\text{ml (muestra)}}$ $\text{Sólidos fijos (mg/l)} = \frac{(B - C) \times 106}{\text{ml (muestra)}}$ <p>A = Peso de la cápsula más residuo antes de ignición (g)</p> <p>B = Peso de la cápsula más residuo después de ignición (g)</p> <p>C = Peso de la cápsula vacía (g)</p> <p>(Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, 2013)</p>
Turbidez	<p>PROCEDIMIENTO PARA MEDIR:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para encender pulsar la tecla ON/OFF. • El equipo comprueba la LCD mostrando todos los caracteres. <p>Después de unos seg. cambiar á a modo de medición.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuando en la LCD se visualice este símbolo "-- --" significa que ya está preparado para medir. • Vierta 10 ml de la muestra a medir en una cubeta limpia y agítela, colocando posteriormente el tapón. Evite que se formen burbujas de aire que puedan distorsionar las lecturas.

	<ul style="list-style-type: none"> • Antes de insertar la cubeta por el orificio secar y limpiarla c o r r e c t a m e n t e (HI 93703-70). El cristal de la cubeta debe estar totalmente limpio de huellas dactilares, rayas, suciedad, aceite o cualquier sustancia que pueda interferir en la medición. • Coloque la cubeta en el orificio teniendo en cuenta la posición de o r i e n t a c i ó n adecuada. • La marca del tapón deberá direccionar hacia la LCD. (Las dos flechas deben quedar enfrentadas). • Presione la tecla READ/ ↑ mientras se realiza la medición y en la pantalla parpadeará “SIP” ("Sampling in Process"). El valor de la turbidez aparecerá aproximadamente en 25 segundos. <p>Tomado de: HANNA INSTRUMENTS. https://www.pce-iberica.es/manuales/manual-hi-93703.pdf</p>
Caudal	<p style="text-align: center;">AFORO DE CAUDALES</p> <p>Una vez inspeccionado el sitio donde se realizará el monitoreo, se determina el método para realizar el aforo, que depende de si el vertimiento se presenta a través de una tubería o de un canal abierto. Entre las posibilidades para realizar el aforo están: método volumétrico, vertedero, flotadores, molinete o micromolinete.</p> <p style="text-align: center;">Método volumétrico mediante balde o caneca</p> <p>Este método se aplica para tubería o canal abierto, cuando el vertimiento presenta una caída de agua en la cual se pueda interponer un</p>

recipiente; se requiere un cronómetro y un recipiente aforado (balde de 10 o 20 litros con graduaciones de 1 L, o caneca de 55 galones con graduaciones de 1 a 5 galones). Se utiliza un balde para caudales bajos o una caneca cuando se deban manejar grandes caudales. El recipiente se purga dos o tres veces con porciones de aproximadamente 1 L (para el balde) o 10 L (para la caneca) del efluente, que se desechan. Luego se coloca el recipiente bajo la descarga de tal manera que reciba todo el flujo; de manera simultánea se activa el cronómetro. Se debe tener un especial cuidado en el momento de la toma de muestra y la medición del tiempo, ya que es un proceso simultáneo donde el tiempo comienza a tomarse en el preciso instante que el recipiente se introduce a la descarga y se detiene en el momento en que se retira de ella.

Se toma un volumen de muestra cualquiera dependiendo de la velocidad de llenado y se mide el tiempo transcurrido desde que se introduce a la descarga hasta que se retira de ella; siendo Q el caudal (en litros por segundo, L/s), V el volumen (en litros, L), y t el tiempo (en segundos, s), el caudal se calcula como $Q = V / t$, para ese instante de tiempo. Este método tiene la ventaja de ser el más sencillo y confiable, siempre y cuando el lugar donde se realice el aforo garantice que al recipiente llegue todo el volumen de agua que sale por la descarga; se debe evitar la pérdida de muestra en el momento de aforar, así como represamientos que permitan la acumulación de sólidos y grasas. Este método es de fácil utilización en el caso que el suelo donde se disponga la

	<p>caneca sea firme y no permite que esta se hunda o se mueva. Dentro de los principales problemas que se pueden presentar es la manipulación de las canecas por su peso exagerado. Este proceso completo se repite cuantas veces sea necesario para obtener una muestra compuesta en un periodo de tiempo establecido, como se describe más adelante. Cada porción de muestra tomada en el aforo se almacena en su respectivo recipiente hasta completar las porciones necesarias para la integración.</p> <p>Método adaptado del IDEAM.</p>
--	---

11.2 Anexo 2.

Manual de mantenimiento

Mantenimiento del sistema de tratamiento PTAR

Para la limpieza del tanque de almacenamiento o de homogenización, se debe desocupar el tanque en su totalidad abriendo el registro número 1, donde se extrae los sólidos y los sedimentables que estén depositados por consecuencia de la gravedad y condiciones físico-químicas del efluente.

Tratamiento preliminar

Herramientas y utensilios a utilizar:

- 1) Bomba sumergible de ½ hp
- 2) Escoba para limpieza
- 3) Bolsas para residuos ordinarios
- 4) Guantes,
- 5) Botas,

- 6) Tapabocas,
- 7) Cofia,
- 8) Overol,
- 9) Andamio de un cuerpo certificado
- 10) Trinche.

Procedimiento

- 1) Ubicarse en el tanque de homogenización, situado al inicio del tratamiento.
- 2) Instalar el andamio certificado de un cuerpo utilizando las medidas de precaución adecuadas.
- 3) Instalar la bomba sumergible de ½ hp para extraer el remanente de agua que queda y lodos depositados en el fondo.
- 4) Retirar residuos sólidos con la ayuda de un trinche.
- 5) Restregar las paredes del tanque con la escoba de lavado.
- 6) Enjuagar el tanque y con la bomba extraer agua.

Los peligros y riesgos a los cuales puede estar expuesto son:

- Caída del operario por posturas inadecuadas.
- Caída de objetos de limpieza.
- Ingestión, irritación tracto digestivo.

Clasificación de los residuos

A continuación, se presentan los tipos de residuos que se encuentran depositados en el tanque de almacenamiento y homogenización.

Tabla 29.

Clasificación de los residuos encontrados en el tanque de almacenamiento.

Tipos de residuos	Clasificación
Plásticos	Ordinarios
Pelo	Ordinarios
Tensoactivos	Ordinarios
Materia orgánica	Orgánico

Los residuos ordinarios son arrojados al sistema de alcantarillado.

Procedimiento de disposición.

Para realizar la correcta disposición se deben disponer de recipientes adecuados que en términos generales deben ser resistentes

Tabla 5.

Clasificación de los tipos de residuos y recipientes.

Tipos de residuos	Clasificación
Orgánicos	Beige
Ordinarios	Bolsas verdes

Trampa de solidos

La limpieza debe ser manual garantizando que la criba tenga a diario la capacidad de retener los sólidos gruesos provenientes del efluente, teniendo en cuenta la inspección de la malla de 1,7 mm asegurando su buen estado y condiciones de trabajo.

Las herramientas a utilizar son:

- 1) Guantes industriales
- 2) Gafas de seguridad
- 3) Overol anti fluido
- 4) Cofia
- 5) Mascara con filtro
- 6) Escoba para limpieza
- 7) Bolsas para residuos ordinarios

Procedimiento.

- 1) Ubíquese en la caja de cribado que se encuentra en seguida del tanque de almacenamiento o homogenización.
- 2) Inspeccione la zona de trabajo y verifique que se encuentre libre de obstáculos para el correcto acceso.
- 3) Retire la malla o criba de gruesos, deje fluir toda el agua antes de sacarla del tubo,
- 4) Retire todos los sólidos atrapados y dispóngalos en bolsa plásticas,
- 5) Use la escoba y/o rastrillo para terminar de limpiar los gruesos que se encuentren en la ella y ubíquela de nuevo en su posición inicial.

Los peligros y riesgos a los cuales puede estar expuesto a realizar esta tarea son:

- Superficies de trabajo defectuosas Caída a un mismo nivel / golpes, contusiones.
- Caída de objetos / Golpes, heridas.
- Falta de orden y limpieza Caídas, golpes.
- Ingestión / Irritación del tracto digestivo

- Posturas inadecuadas (cuello, extremidades, tronco) Tensión muscular / dolor de cuello en región cervical.

Trampa de grasas

Son cámaras de flotación donde la grasa sale a la superficie, mientras el agua clarificada sale por la parte inferior al siguiente tratamiento. Su mantenimiento debe ser manual y realizarse regularmente, para aumentar las eficiencias de los siguientes procesos. Se recomienda hacer la limpieza cuando la capa de grasa sea mayor a 5 cm.

Para cumplir con las anteriores actividades se deben usar los siguientes materiales:

- Guantes de caucho industriales.
- Botas de caucho con punta de acero.
- Gafas de Seguridad.
- Overol Antifluido.
- Mascara con Filtros.
- Colador.
- Bolsas plásticas
- Espátula
- Bolsas de plástico de alta resistencia

Procedimiento.

- 1) Ubíquese en la trampa de grasas con los implementos necesarios.
- 2) Retire con una espátula las grasas que se encuentran en la parte superior de la trampa.

- 3) Abra el registro y desocupe la trampa de grasas
- 4) Raspe con la espátula las superficies de la unidad y retire los residuos de grasas que se acumulan en esta.
- 5) Disponga estos residuos en bolsas de plástico de alta resistencia

Los peligros y riesgos a los cuales puede estar expuesto a realizar esta tarea son:

- Superficies de trabajo defectuosas Caída a un mismo nivel / golpes, contusiones.
- Caída de herramientas / Golpes, heridas.
- Falta de orden y limpieza Caídas, golpes.
- Ingestión / Irritación del tracto digestivo
- Posturas inadecuadas (cuello, extremidades, tronco) Tensión muscular / dolor de cuello en región cervical.

Reactor anaerobio

Este proceso natural controlado consiste en la degradación de la materia bajo un proceso biológico, remueve materia orgánica soluble coloidal; se debe realizar un mantenimiento periódico y manual.

Las herramientas a utilizar son:

- 1) Guantes de Nitrilo.
- 2) Casco de Seguridad.
- 3) Botas de Seguridad.
- 4) Gafas de Seguridad.
- 5) Overol.
- 6) Mascara con Filtros.

7) Hidrolavadora y/o manguera de agua

Procedimiento.

- 1) Suelte los adaptadores macho y hembra
- 2) Separe las tapas del tubo
- 3) Con ayuda de una hidrolavadora o manguera de agua, realice el lavado de los bordes del reactor y las pantallas.
- 4) Retire todo el material y deposítelo en una bolsa plástica resistente
- 5) Luego una a las tapas los adaptadores macho y hembra
- 6) Pegue las tapas de entrada y salida del flujo al tubo

Los peligros y riesgos a los cuales puede estar expuesto a realizar esta tarea son:

- Superficies de trabajo defectuosas Caída a un mismo nivel / golpes, contusiones.
- Falta de orden y limpieza Caídas, golpes.
- Inhalación / Irritación de nariz, garganta
- Ingestión / Irritación del tracto digestivo
- Posturas inadecuadas (cuello, extremidades, tronco) Tensión muscular / dolor de cuello en región cervical.

Reactor aerobio

Se debe verificar el nivel de lodos dentro el reactor para determinar el estado del tratamiento biológico, la dosificación de aire necesaria dentro del reactor para realizar una correcta degradación y algunos otros parámetros.

Para cumplir con las actividades se deben usar los siguientes materiales:

- 1) Guantes de Nitrilo.
- 2) Casco de Seguridad.
- 3) Botas de Seguridad.
- 4) Gafas de Seguridad.
- 5) Overol.
- 6) Mascara con Filtros.
- 7) Hidrolavadora y/o manguera de agua

Procedimiento

- 1) Use los EPP
- 2) Desaire el reactor (abra la toma muestra y dejé salir el aire)
- 3) Suelte los adaptadores macho y hembra
- 4) Separe las tapas del tubo
- 5) Retirar todo el material de soporte (carbón activado y piedra pómez)
- 6) Suelte el difusor de conducción de agua, que se encuentra conectado a la tapa, lávelo si está en buenas condiciones de lo contrario cámbielo.
- 7) Desarme todos los accesorios de la inyección de aire
- 8) Verifique que el difusor en forma de espina de pescado se encuentre en óptimas condiciones, de lo contrario replácelo.
- 9) Cerciórese que la bomba de aire no presente fallas
- 10) Mediante Hidrolavadora o manguera de agua, realice el lavado de los bordes del reactor cuando se evidencia material adherido, o presencia de algas.
- 11) En una bolsa plástica de alta resistencia deposite los residuos como resultado de este procedimiento o utilícelo como abonó

- 12) Luego de haber hecho los pasos anteriores una el difusor de paso de agua a la tapa por donde ingresa el flujo
- 13) Una a la tapa de entrada de flujo los adaptadores macho y hembra
- 14) Fije la tapa de entrada del flujo al tubo se recomienda para ello utilizar sicaflex
- 15) Arme nuevamente la inyección de aire al interior del tubo
- 16) Cargue el material de soporte por el otro extremo del tubo
- 17) Por último, fije la tapa y a esta una los adaptadores macho y hembra
- 18) Antes de pasar aire por la manguera inyecte por este 1 litro de bacterias aproximadamente.

Los peligros y riesgos a los cuales puede estar expuesto a realizar esta tarea son:

- Superficies de trabajo defectuosas Caída a un mismo nivel / golpes, contusiones.
- Falta de orden y limpieza Caídas, golpes.
- Inhalación / Irritación de nariz, garganta
- Ingestión / Irritación del tracto digestivo
- Posturas inadecuadas (cuello, extremidades, tronco) Tensión muscular / dolor de cuello en región cervical

Clarificador

Tenemos la separación de solido-liquido en un tiempo de retención, en donde además contamos con un módulo colmena a 45° el cual nos permite que el tiempo de retención sea más largo en este proceso no solo se encontrara la clarificación del agua si no también aumentara la eficiencia del sistema y reducirá la cantidad de lodos generados, debe ser evacuado periódicamente.

Las herramientas a utilizar son:

- 1) Guantes de Nitrilo.
- 2) Casco de Seguridad.
- 3) Botas de Seguridad.
- 4) Gafas de Seguridad.
- 5) Overol.
- 6) Mascara con Filtros.
- 7) Manguera de agua

Procedimiento.

- 1) Use los EPP
- 2) suelte los adaptadores macho y hembra
- 3) Separe las tapas del tubo
- 4) Desocupe completamente la unidad dejando que el agua estancada sea descargada totalmente
- 5) Retire la colmena
- 6) Lave la colmena con una manguera de agua para remover los solidos
- 7) Raspe todas las superficies del tubo para desprender el material adherido
- 8) Con una manguera enjuagar completamente la unidad antes de ponerlo nuevamente en funcionamiento
- 9) Introduzca nuevamente la colmena si esta se encuentra en perfecto estado, de lo contrario remplazarla por una nueva.

Los peligros y riesgos a los cuales puede estar expuesto a realizar esta tarea son:

- Causar enfermedades por contacto y/o inhalación como diarrea, fiebre, dolor de cabeza etc...
- Caída de herramientas / Golpes, heridas.
- Posturas inadecuadas (cuello, extremidades, tronco) Tensión muscular / dolor de cuello en región cervical.

Filtro

Consiste en la remoción de partículas coloidales y permite garantizar la calidad de agua dependiendo del medio filtrante que se emplee, el mantenimiento debe realizar periódica y manual dependiendo la carrera de filtración o pérdida de carga.

Para cumplir con las anteriores actividades se deben usar los siguientes materiales

- 1) Guantes de Nitrilo.
- 2) Casco de Seguridad.
- 3) Botas de Seguridad.
- 4) Gafas de Seguridad.
- 5) Overol.
- 6) Mascara con Filtros.
- 7) Hidrolavadora y/o manguera de agua.

Procedimiento.

- 1) Use los EPP
- 2) Suelte los adaptadores macho y hembra
- 3) Separe las tapas de los dos extremos del tubo

- 4) Desconecte el difuso de entrada de flujo y lávelo si está en buenas condiciones, de lo contrario cámbielo
- 5) Retire todo el lecho filtrante y cámbielo
- 6) Utilice una hidrolavadora o manguera de agua para lavar las paredes del tubo, para eliminar todo el material adherido,
- 7) Conecte el difusor de paso de agua a la tapa por donde ingresa el flujo
- 8) Conecte a la tapa por donde ingresa el flujo los adaptadores macho y hembra
- 9) Fije la tapa de entrada del flujo al tubo se recomienda para ello utilizar sicaflex
- 10) Por el otro extremo cargue el filtro al 60% con (la pepa de Guama, el carbón activado y la arena torpedo)
- 11) Conecte los adaptadores macho y hembra a la tapa y luego ensamble al filtro utilizando como cello sicaflex.

Los peligros y riesgos a los cuales puede estar expuesto a realizar esta tarea son:

- Causar enfermedades por contacto y/o inhalación como diarrea, fiebre, dolor de cabeza etc...
- Caída de herramientas / Golpes, heridas.
- Posturas inadecuadas (cuello, extremidades, tronco) Tensión muscular / dolor de cuello en región cervical.

Corrección de fugas

Se deben aplicar teflón a las roscas de los adaptadores machos, instalar los empaques ajustarlos con llave para tubos y así se garantiza que no habrá fugas.

Para las tapas de cada unidad se deben fijar con un cordón interno de sicaflex para garantizar hermeticidad de cada uno de los componentes.

Observaciones: Antes de cargar cualquier sistema asegurarse de que no hallan fugas probando con solo agua la hermeticidad de las tapas.

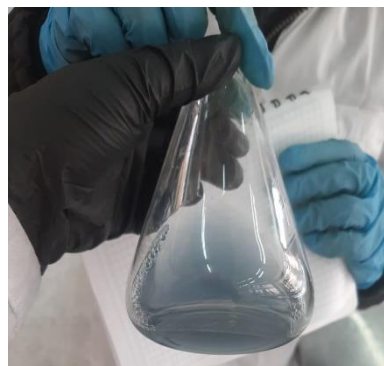
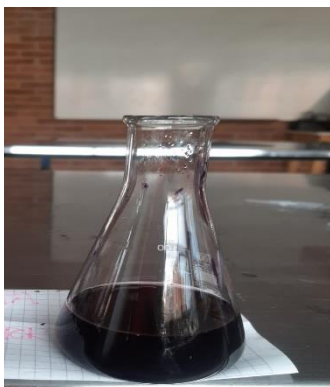
Este sistema de tratamiento de agua residual doméstica compacto se caracteriza por ser un sistema:

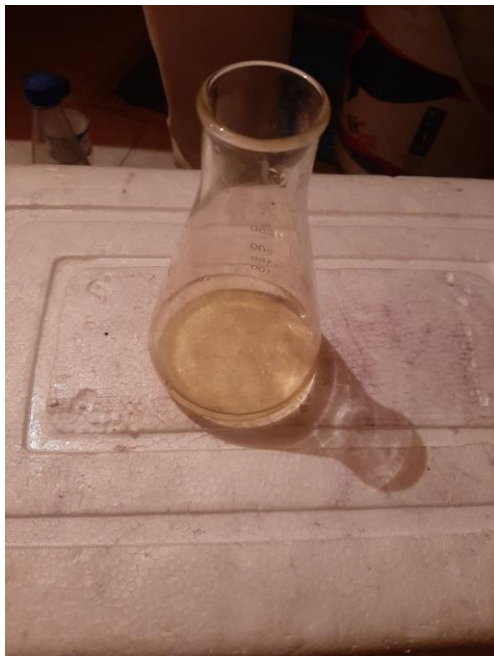
- Fácil de transportar.
- Su montaje no es complejo.
- Fácil de instalar.
- Su costo de mantenimiento es bajo debido a que los componentes son materiales reciclado y sus medios filtrantes son materiales que son desechados por la población.
- Requiere menor espacio.

11.3 Anexo 3

Alcalinidad



Dureza**DQO****equipo de pH, Turbidez y Temperatura**

Cloruros**Solidos sedimentables****Solidos totales****pepa de guama**