



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos

EI USO DE GEOTEXILES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES

Inga. Melisa Noemi León Urrutia

Asesorado por el M. Sc. Ing. Adán Pocasangre Collazos

Guatemala, agosto de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EI USO DE GEOTEXILES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

POR

INGA. MELISA NOEMI LEÓN URRUTIA

ASESORADO POR EL M.SC. ING. ADÁN POCASANGRE COLLAZOS

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADEMICO DE

**MAESTRA (MAGISTER SCIENTIFICAE) EN CIENCIAS
DE INGENIERÍA SANITARIA**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	MSc. Ing. Adán Pocasangre Collazos
EXAMINADOR	MSc. Ing. Pedro Saravia Celis
EXAMINADOR	MSc. Ing. Joram Gil
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EI USO DE GEOTEXTILES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES

Tema que me fue asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, el 25 de julio de 2017.

Inga. Melisa Noemi León Urrutia

Correo electrónico: Melisanoemilu@gmail.com

Carné: 2011-14411

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: M.Sc, Ing., Adán Ernesto Pocasangre Collazos, M. Sc. Ing. Joram Matías Gil Laroj y M.Sc. Ing. Pedro Saravia Celis, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria; M.Sc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos y la revisión de lingüística realizada por la licenciada Jéssica Melgarejo Monterroso, Colegiado No. 27003, al trabajo de la estudiante Inga. Melisa Noemi León Urrutia, titulado: **EI USO DE GEOTEXILES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES**. En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a veintiocho días del mes de agosto de 2020.

Imprimase

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



M. Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

DIRECTOR



Guatemala, 24 de agosto de 2020

Señores Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS)

Respetuosamente les comunico que he revisado y aprobado, en mi calidad de asesor y coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, el informe final del Estudio Especial titulado:

EI USO DE GEOTEXILES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES

Presentado por la estudiante.

Inga. Melisa Noemi León Urrutia

Les manifiesto que la estudiante cumplió en forma satisfactoria con todos los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS- y por la Universidad de San Carlos de Guatemala en la realización de su estudio.

Agradeciéndoles de antemano la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

M.Sc. Ing. Adán Pocasangre Collazos
Coordinador Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Porque es Él quien permite cada logro en la vida.
Virgen María	Por su protección y compañía a lo largo de mi caminar en la vida.
Mis padres	César Augusto León Medrano y Ángela Lisbeth Urrutia Rodríguez, por su apoyo incondicional y ser mi inspiración para ser mejor persona.
Mis abuelos	Sara Rodríguez, Cecilio Urrutia, Feliciano Medrano (q.e.p.d.) y José León (q.e.p.d.), que en donde estén han de ver este logro y compartirlo conmigo.
Mis hermanos	César Alejandro y Sergio Augusto León Urrutia, para que este logro sea de inspiración para alcanzar los propios en sus vidas.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por la vida y las oportunidades que me ha dado en la vida.
Mi mamá	Ángela Lisbeth Urrutia Rodríguez, por ser mi ejemplo de vida, por su amor infinito por sobre todas las cosas y por su confianza plena en mí.
Mi papá	César Augusto León Medrano, porque con su apoyo y disciplina ha forjado la mujer que soy hoy.
Mis hermanos	César Alejandro y Sergio Augusto León Urrutia, por su compañía y su complicidad a lo largo de mi vida.
Mis abuelos maternos	Sara Rodríguez y Cecilio Urrutia, por su amor y por compartir conmigo cada una de mis alegrías
Mis abuelos paternos	Feliciana Medrano (q.e.p.d.) y José León (q.e.p.d.), porque sé que desde el cielo han de verme con gozo de lograr una meta más.
ERIS-USAC	Por permitirme crecer y prepararme profesionalmente.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
JUSTIFICACIÓN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
HIPÓTESIS.....	XX
ANTECEDENTES.....	XXI
ALCANCES Y LIMITACIONES	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Agua	1
1.1.1. Usos del agua.....	1
1.2. Aguas residuales	1
1.2.1. Aguas residuales de origen doméstico	2
1.2.2. Aguas grises de origen doméstico.....	2
1.2.3. Ventajas del reciclaje de aguas grises.....	3
1.3. Tipos de tratamientos para aguas residuales	4
1.4. Unidades de tratamientos de baja tecnología para aguas grises de origen doméstico.....	5
1.4.1. Unidades de pretratamiento.....	6
1.4.2. Tratamiento primario.....	6
1.4.3. Tratamiento secundario	7

1.4.4.	Tratamiento terciario	7
1.4.5.	Sistemas de tratamiento familiares o domiciliarios	8
1.5.	Reúso de aguas grises de origen doméstico	8
1.5.1.	Círculo de banano	8
1.5.2.	Sistema de acolchado	8
1.5.3.	Riego de jardinería	9
1.5.4.	Recarga de cisternas de inodoro.....	9
1.6.	Geotextiles y su aplicación en tratamiento de agua	9
1.6.1.	Tipos de geotextiles	9
1.6.1.1.	Geotextiles tejidos	9
1.6.1.2.	Geotextiles no tejidos	10
1.6.2.	Aplicaciones de los geotextiles en filtración de agua	10
1.6.2.1.	Separación	10
1.6.2.2.	Estabilización de suelos blandos... 11	
1.6.2.3.	Sistemas de subdrenaje	11
1.6.2.4.	Pavimentos y reparaciones	12
1.6.2.5.	Protección de sistemas de impermeabilización.....	12
1.7.	Geotextiles utilizados	12
1.8.	Clasificación de partículas según el número de tamiz.....	13
1.9.	Parámetros en análisis.....	14
1.9.1.	Sólidos suspendidos	14
1.9.2.	DBO ₅	14
1.9.3.	DQO	15
1.9.4.	Potencial de hidrógeno.....	15
1.9.5.	Coliformes totales.....	15
1.9.6.	Coliformes fecales.....	16

2.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	17
2.1.	Descripción del sitio de estudio	17
2.2.	Esquemas de sistemas de tratamiento propuestos para aguas grises de origen doméstico	18
2.3.	Diseño y construcción del modelo de filtros para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico	19
2.4.	Descripción del modelo del sistema de tratamiento a construir para el tratamiento de las aguas grises de origen doméstico	20
2.4.1.	Tanque de captación	21
2.4.2.	Recipiente testigo	21
2.4.3.	Filtro tipo A.....	22
2.4.4.	Filtro tipo B.....	23
2.4.5.	Filtro tipo C	24
2.4.6.	Cruz distribuidora.....	25
2.5.	Selección de la muestra	25
2.6.	Determinación del número de muestras a realizar	26
2.6.1.	Número de muestras según antecedentes	26
2.6.2.	Determinación del número de muestras	26
2.7.	Puntos de muestreo	27
2.8.	Enfoque de la investigación.....	28
2.9.	Diseño de la investigación	29
2.10.	Presupuesto de construcción el sistema	29
3.	RESULTADOS	31
3.1.	Resultados de los análisis de laboratorio	32
3.2.	Porcentaje de eficiencia de los filtros propuestos.....	33
3.2.1.	Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales	33

3.2.2.	Porcentaje de remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO)	36
3.2.3.	Porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno.....	40
3.2.4.	Potencial de hidrógeno.....	43
3.2.5.	Determinación de carga contaminante	43
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	47
4.1.	Interpretación de las gráficas de eficiencia de los filtros propuestos	47
4.1.1.	Sólidos suspendidos totales	47
4.1.2.	Demanda química de oxígeno.....	48
4.1.3.	Demanda bioquímica de oxígeno.....	48
4.1.4.	Potencial de hidrógeno.....	49
4.1.5.	Coliformes fecales y totales.....	49
4.1.6.	Tiempo de saturación de los filtros.....	49
	CONCLUSIONES.....	51
	RECOMENDACIONES	53
	BIBLIOGRAFÍA.....	55
	APÉNDICE	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Procesos de tratamiento para aguas residuales	5
2.	Ubicación del sitio de estudio	18
3.	Esquema del sistema	19
4.	Planta de distribución	20
5.	Tanque de captación	21
6.	Recipiente testigo	22
7.	Composición de filtro tipo A	23
8.	Composición de filtro tipo B	24
9.	Composición de filtro tipo C	25
10.	Puntos de muestreo	28
11.	Ensayos de laboratorio	31
12.	.Valores de S.S.T. obtenidos en las muestras	34
13.	Porcentaje de eficiencia de remoción de S.S.T. en filtro A	34
14.	Porcentaje de eficiencia de remoción de S.S.T. en filtro B	35
15.	Porcentaje de eficiencia de remoción de S.S.T. en filtro C	35
16.	Comparación de porcentajes de eficiencia de S.S.T.	36
17.	Valores de DQO obtenidos en las muestras	37
18.	Porcentaje de eficiencia de remoción de DQO en el filtro tipo A	38
19.	Porcentaje de eficiencia de remoción de DQO en el filtro tipo B	38
20.	Porcentaje de eficiencia de remoción de DQO en el filtro tipo C	39
21.	Comparación de porcentajes de eficiencia de DQO	39
22.	Valores de DBO ₅ obtenidos en las muestras	40
23.	Porcentaje de eficiencia de remoción de DBO ₅ en filtro tipo A	41

24.	Porcentaje de eficiencia de remoción de DBO ₅ en filtro tipo B	41
25.	Porcentaje de eficiencia de remoción de DBO ₅ en filtro tipo C	42
26.	Comparación de porcentaje de eficiencia de remoción de DBO ₅ ..	42

TABLAS

I.	Carga contaminante en aguas grises	3
II.	Características de los geotextiles utilizados	13
III.	ASTM de tamices (ASTM D422 y E100).....	14
IV.	Presupuesto de la unidad de tratamiento	29
V.	Trabajo de laboratorio	32
VI.	Resultados de sólidos suspendidos totales.....	33
VII.	Resultados de demanda química de oxígeno	37
VIII.	Resultados de demanda bioquímica de oxígeno	40
IX.	Resultados del potencial de hidrógeno obtenido en las muestras .	43
X.	Resumen de cargas contaminantes.....	45

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
DBO₅	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
^	Elevado a la potencia
M²	Metros cuadrados
NT	No tejido
PVC	Policloruro de vinilo
%	Porcentaje
PH	Potencial de hidrógeno
“	Pulgadas
SST	Sólidos suspendidos totales

GLOSARIO

Agua	Sustancia líquida sin olor, color ni sabor que se encuentra en la naturaleza en estado más o menos puro formando ríos, lagos y mares, ocupa las tres cuartas partes del planeta Tierra y forma parte de los seres vivos; está constituida por hidrógeno y oxígeno ($H_2 O$).
Agua cruda	Se denomina de esta manera a las aguas residuales que no han pasado por ningún tipo de tratamiento.
Aguas grises de origen doméstico	Estas son las aguas obtenidas de artefactos higiénicos domésticos a excepción del inodoro.
Agua residual	Es el agua que ya ha tenido algún uso por los seres humanos, como en la ducha, lavamanos, inodoro, entre otros.
ASTM	Asociación Americana de Ensayo de Materiales
Caudal	Cantidad de agua que lleva una corriente de agua, es la relación entre el volumen del fluido y el tiempo.
Carga	Se le nombra de esta manera a la concentración que un desfogue tiene de contaminantes.

Coliformes fecales	Son patógenos fecales, es decir que indican específicamente la existencia de heces fecales en una muestra de agua.
Coliformes totales	Estos son patógenos de todo tipo, sin indicar una clasificación en específico de los tipos que son, en estos patógenos van incluidos los de heces fecales.
Contaminante	Se le denomina así a una sustancia que contiene material que contamina o daña la composición original de la sustancia.
Desfogar	Se le nombra de esta manera a la salida por la cual se desborda o se libera un caudal de agua.
Eficiencia	Capacidad para remover un parámetro estudiado.
Filtro	Unidad de tratamiento porosa a través de la cual se pasa el fluido para depurarlo.
Geotextil	Es una tela permeable y flexible de fibras sintéticas, principalmente de poliéster y polipropileno.
Muestra	Es una parte que se considera representativa del total, utilizada para medir los parámetros de interés.
Reciclar	Someter materiales usados a un proceso de transformación para que puedan ser nuevamente utilizados

Remove

Reducir o minimizar la cantidad de un parámetro de estudio.

Tamiz

Elemento utilizado para la separación de partículas de diferentes diámetros y tamaños.

RESUMEN

El trabajo presente, con el título *El uso de geotextiles para el tratamiento de aguas grises*, es el resultado final de la investigación, construcción y muestreo de filtros con membrana de geotextil, con el fin de mejorar la calidad de las aguas grises domésticas.

Los modelos de filtros propuestos para el tratamiento de aguas grises domésticas fueron realizados en la planta de tratamiento de aguas residuales Ing. Arturo Pazos Sosa, perteneciente a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) ubicada en la colonia Aurora II, zona 13, de la ciudad de Guatemala.

Los análisis de laboratorio de las muestras tomadas en la investigación fueron realizados en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria, de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, y los parámetros de medición para comprobar la eficiencia de remoción de los filtros fueron DBO_5 , DQO y sólidos suspendidos totales. Además se midieron PH y coliformes totales y fecales.

Se construyeron tres tipos de filtros para el tratamiento de aguas grises domésticas, cada filtro con una composición diferente de geotextiles de tipo no tejidos. Estos filtros trabajan con una filtración directa y con un sistema por gravedad.

Luego de la realización del estudio se obtuvieron los resultados de análisis en los filtros tipo A, B y C para el parámetro de sólidos suspendidos totales un promedio de remoción de 40 %, 34 % y 28 %, respectivamente. Para la remoción de DQO para los filtros A, B y C se obtuvo un porcentaje promedio de remoción de 16 %, 13 % y 10 %, respectivamente, mientras que para el parámetro de DBO₅ para el filtro A, B y C se obtuvo un porcentaje promedio de remoción 17 %, 15 % y 17 %, respectivamente.

En los parámetros de coliformes totales y fecales no se encuentra ninguna remoción y sí niveles altos de contaminación. El potencial de hidrógeno se mantuvo entre 7,22 y 7,80.

El sistema propuesto puede ser utilizado para un tratamiento domiciliario, también se puede mejorar el sistema incluyendo otra unidad de tratamiento como parte del sistema, con el fin de poder reutilizarla según lo indique el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La falta de sistemas de tratamiento de agua provoca un aumento de desfogues que llegan con una alta carga de contaminantes a cuerpos de aguas.

En el área rural generalmente no es viable un sistema de drenaje por la dispersión de viviendas o topografía, por lo cual se plantea un sistema unifamiliar de tratamiento de aguas grises para reducir la carga contaminante que llega a cuerpos de agua, los cuales son fuentes de abastecimiento a otras comunidades aledañas, lo cual puede provocar enfermedades gastrointestinales o enfermedades de la piel.

Ante este problema es posible estudiar la siguiente pregunta: ¿se puede mejorar la calidad de aguas grises domésticas con un filtro de geotextil?

JUSTIFICACIÓN

Se puede describir el suministro de agua potable en las viviendas, “como máximo solo el 10 % es consumido para uso potable. El 60 % es para otros usos domésticos” como limpieza corporal o de vivienda “(aguas grises), y el 30 % restante, lo que se denomina aguas negras”, es para el uso en inodoros y arrastres de otros residuos¹.

El uso del agua en los hogares genera agua residual, denominada ordinaria o doméstica, que contiene los residuos propios de la actividad humana, tales como la materia fecal, restos de alimentos, aceites y grasas. Otra parte son detergentes, sales, sedimentos, material orgánico no biodegradable y también microorganismos patógenos. La materia orgánica biodegradable y algunas sales inorgánicas son nutrientes para los microorganismos. Las aguas residuales domésticas, también denominadas aguas negras, constituyen una de las principales fuentes de contaminación en Guatemala. Su origen son los sistemas de drenaje de los centros urbanos con mayor población, los cuales descargan directamente hacia los cauces de los ríos.

“Las descargas de aguas residuales a cauces públicos pueden fomentar la propagación de virus y bacterias patógenos para el hombre”². La aplicación de un tratamiento doméstico de aguas grises podría ser el inicio de la reducción de carga contaminante que se descarga a cauces públicos, los cuales son fuentes

¹ Alma Water Solutions. *Reutilización, la asignatura pendiente a nivel mundial*. <https://www.iagua.es/blogs/carlos-cosin/reutilizacion-gran-asignatura-pendiente-nivel-mundial>. Consulta: septiembre de 2019.

² Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN); Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). *Manual de educación ambiental sobre el recurso hídrico en Guatemala*. <http://www.marn.gob.gt/Multimedios/7419.pdf>. Consulta: diciembre de 2019.

de abastecimiento o recreación de viviendas aledañas. Y puede así mejorar la calidad de vida de personas que viven alrededor, que utilizan dichas fuentes de agua como abastecimiento.

OBJETIVOS

General

Utilizar geotextiles como medio filtrante para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico en viviendas unifamiliares.

Específicos

1. Determinar la eficiencia de remoción de DBO₅, DQO y sólidos suspendidos a la salida de los diferentes prototipos de filtros propuestos.
2. Determinar cuál de los prototipos de filtros en estudio es el que tiene mayor eficiencia de remoción en cuanto a los parámetros a analizar.
3. Evaluar el periodo de limpieza del filtro con fines de operación y mantenimiento.
4. Determinar el costo de construcción de la unidad de filtración para una vivienda unifamiliar.

HIPÓTESIS

Con la propuesta de una tecnología de filtración de aguas grises por medio de membrana de geotextiles, se crea una filtración rápida, la cual actúa reteniendo partículas de diferentes diámetros según la porosidad de la membrana y sin crear una capa biológica, como un filtro convencional de grava y arena, por lo anterior se considera que el medio filtrante no logrará tener una eficiencia de remoción mayor a un 45 % en los parámetros de sólidos suspendidos, DBO₅ y DQO.

ANTECEDENTES

En la actualidad se busca generar nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas grises, para mejorar su calidad y poder darles distintos reúsos, no solo para tener alternativas más eficientes, sino también que faciliten su construcción, transporte, mantenimiento y accesibilidad económica, por lo cual se pretende plantear la filtración de aguas grises atreves de geotextiles.

En el Centro de Información de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (CIERIS) se registra un estudio realizado para el tratamiento de aguas grises, un estudio utilizando la tecnología de geotextiles en tratamiento de aguas residuales y una gran variedad de diseños y construcción de una gran variedad de filtros para el tratamiento de aguas residuales, los cuales se tomaron como base.

Raúl Jaime Hernández Juárez, en su estudio de 2010 denominado *Alternativas para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico*, indica el resultado de la investigación del diseño, construcción y muestreo de filtros biológicos, en una se utilizó como medio filtrante piedra pómez y en el otro se utilizó carbón con el fin el mejorar las aguas grises. En este estudio los parámetros principales referenciales para medir la eficiencia de los filtros fueron DBO₅ y DQO, según los resultados de los análisis de los muestreos realizados a los filtros para DBO₅ se obtuvo una remoción con valores promedio de 18,50 % y en el caso de DQO se obtuvo una remoción con valores promedio de 31,45 %.

Jorge Mario Estrada Asturias hizo un estudio en 2016 denominado *Aplicación de geotextiles en filtración lenta como parte del tratamiento terciario en la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas Ing. Arturo Pazos, colonia Aurora II, zona 13 de la Ciudad de Guatemala*, el cual consistió en evaluar la aplicación de geotextil en filtración lenta como parte del tratamiento terciario de aguas residuales domésticas, con la finalidad de comparar el desempeño del medio convencional de arena con el del medio auxiliado por una capa superior de geotextil. Se concluye que se puede reducir el espesor de la capa de arena en un 40 %, y se indica que el medio de arena modificado con geotextiles en la filtración lenta del efluente del biofiltro se remueve menos del 30 %, ya que se redujo un 28 % de DQO y un 29 % de DBO₅, no rindió resultados adecuados y se concluye que los valores de remoción son menores al 30 % en todos los parámetros analizados.

Norman Leonel Siguí Gil hizo un estudio en 2013 denominado *Diseño y construcción de un filtro intermitente de grava sin recirculación y comparación con eficiencia teóricas de filtros con recirculación para el tratamiento de agua residual doméstica*, en donde el filtro trabaja como tratamiento secundario, el cual presenta una remoción media de DBO₅ igual a 63 %, de DQO igual a 66 % y de sólidos suspendidos totales un 45 %.

ALCANCES Y LIMITACIONES

El presente estudio comprende la evaluación y análisis de filtros propuestos para aguas grises. A partir de los filtros propuestos se recolectaron muestras para aplicar el método de estadística descriptiva, para visualizar el comportamiento de los datos a través de medidas de tendencia central como de gráficas de comparación de resultado, para comprobar o descartar la hipótesis planteada inicialmente.

Entre las limitaciones para el estudio se tienen:

- El afluente en estudio está sujeto a variaciones de caudal y de calidad de agua.
- El tipo de geotextiles a utilizar son únicamente de tipo no tejidos, por lo cual no se puede generalizar a todo tipo de geotextiles.
- El color de geotextil utilizado fue de color negro, por lo cual los resultados pueden estar sujetos a variaciones según el color.
- Se indica la porosidad de los geotextiles utilizados, sin embargo estas porosidades pueden estar sujetas a los diferentes geotextiles en el mercado
- El precio de los materiales utilizados está sujeto a variaciones en el mercado.

INTRODUCCIÓN

Guatemala cuenta con las condiciones naturales favorables que le permiten disponer de abundante agua para las personas, el ambiente y la productividad económica. Anualmente se producen 97 mil millones de metros cúbicos de agua. Sin embargo, de esto solo se aprovecha un 10 % a nivel nacional. Según la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI) 2011-2012, el 70 % de los hogares guatemaltecos tiene acceso a servicios básicos, es decir, a agua entubada y drenajes a nivel urbano, mientras que en el área rural solo el 30 % de los hogares tiene acceso a estos servicios. Para todos los departamentos la cobertura con mejores fuentes de agua es mayor en la zona urbana que en la rural.

“Guatemala es un país rico en recursos hídricos, pero el 90 % de las fuentes superficiales se encuentra contaminada, situación que contribuye al incremento de la mortalidad infantil a expensas de las enfermedades gastrointestinales”³. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) señala que solamente el 69 % de hogares tiene acceso a agua domiciliar y el 36 % tiene conexión a red de drenajes. La poca cobertura en agua y saneamiento en esta última, incluyendo la falta de tratamiento de aguas residuales, provoca una gran contaminación, especialmente a los cuerpos de agua.

Con base en la información anterior se realiza la investigación presente, en la cual se modelan tres tipos de filtros a base de membrana de geotextil para

³ Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. *Diagnóstico Nacional de Salud*. [https://www.mspas.gob.gt/images/files/cuentasnacionales/publicaciones/11MSPAS\(2012\)Diagnostico-Salud-marzo.pdf](https://www.mspas.gob.gt/images/files/cuentasnacionales/publicaciones/11MSPAS(2012)Diagnostico-Salud-marzo.pdf). Consulta: diciembre de 2019.

comparar su eficiencia de remoción, con el fin de mejorar la calidad de aguas grises de origen doméstico y disminuir la carga contaminante desfogada de vivienda.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Agua

Es una sustancia compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, cuya consistencia es líquida y sin color, olor ni sabor, se encuentra en ríos, lagos y mares, ocupando más del “71 % de la corteza terrestre, se localiza principalmente en los océanos, donde se concentra el 96,5 % del agua total. A los glaciares y casquetes polares les corresponde el 1,74 %, mientras que los depósitos subterráneos (acuíferos)”⁴, el 1.72 % se concentran en los *permafrost* y los glaciares continentales. El restante 0,04 % en otros cuerpos de agua de menor magnitud. El agua circula constantemente en un ciclo llamado hidrológico.

1.1.1. Usos del agua

Diariamente se utiliza una gran cantidad de agua para diferentes propósitos, puede ser para limpieza tanto personal como de viviendas y utensilios, también para beber y preparar alimentos, y en la agricultura para el riego de cultivos o jardines.

1.2. Aguas residuales

Son las aguas que salen de viviendas e industrias, las cuales han sido alteradas por influencia antropogénica. En el área “urbana generalmente son transportadas en sistemas de alcantarillado”⁵, mientras que en el área rural es

⁴ Wikipedia. *Agua*. <https://es.wikipedia.org/wiki/>. Consulta: enero de 2020.

⁵ *Ibíd. Aguas residuales*.

común que estas se conduzcan a flor de tierra. Estas aguas tienen parámetros contaminantes como materia orgánica e inorgánica, nutrientes como el nitrógeno y fósforo, y una gran cantidad de sólidos totales, y se considera que ya no pueden utilizarse para el consumo humano o animal.

1.2.1. Aguas residuales de origen doméstico

Se le llama así al agua de desecho generado en el hogar, especialmente las que se han usado para higiene. Estas son originadas en todos los artefactos sanitarios de una vivienda, inodoros, duchas, lavamanos, lavatrastos y pilas.

1.2.2. Aguas grises de origen doméstico

De manera general se puede decir que son aguas que no son negras, es decir aguas residuales que no provienen del inodoro, son aguas que no presentan residuos fecales en cantidades significativas. Evidentemente los tipos de contaminación que presentan las aguas grises en función de su procedencia en el ámbito doméstico son muy diferentes, por lo que su tratamiento también será diferente. Se podrían diferenciar tres tipos:

- Aguas grises de tipo 1 o de baja carga contaminante, que son de duchas, bañeras y lavabo.
- Aguas grises de tipo 2 o de media carga contaminante, incluyen todas las anteriores más las de lavadora.
- Aguas grises de tipo 3 o de alta carga contaminante, estas incluyen todas las anteriores más la de lavavajillas y fregadero de cocina.

La carga contaminante en aguas grises aporta un aproximado de 43 % de la carga contaminante de las aguas residuales totales, a continuación se describe la carga contaminante de cada artefacto sanitario.

Tabla I. **Carga contaminante en aguas grises**

Componente	Artefacto	DBO		DQO		NH3-N	
		gramos/ habitante*día	%	gramos/ habitante*día	%	gramos/ habitante*día	%
Aguas negras	Inodoro	23.54	32.59	67.78	56.86	2.780	87.09
Aguas grises	Lavatrastos	9.20	12.74	18.80	15.77	0.074	2.32
	Ducha	6.18	8.56	9.08	7.62	0.013	0.41
	Lavamanos	1.86	2.58	3.25	2.73	0.009	0.28
	Lavado de ropa	7.90	10.94	20.30	17.03	0.316	9.90
Total aguas grises		48.68	67.41	51.43	43.14	0.412	12.91
TOTALES		72.22	100.00	119.21	100.00	3.192	100.00

Fuente: HERNÁNDEZ, Jaime. *Alternativas para el tratamiento de las aguas grises de origen doméstico*. p.5.

1.2.3. **Ventajas del reciclaje de aguas grises**

- El tratamiento y reutilización de aguas grises puede traer grandes beneficios a la población en cuanto ahorro de recursos y ahorro económico.
- La reducción del consumo de recursos hidráulicos naturales.
- Disminuir los costos de tratamiento y de vertido de aguas residuales.
- Una reducción del aporte de contaminantes a los recursos naturales de agua en particular cuando el uso final del agua gris tratada es el riego agrícola o de jardinería.

1.3. Tipos de tratamientos para aguas residuales

Generalmente para el tratamiento de estas aguas no se separan aguas grises y aguas negras, sino se realiza un tratamiento en conjunto. Existen varias etapas para el tratamiento de estas aguas.

- Tratamiento preprimario: en este proceso se realiza la separación de sólidos de gran tamaño que son fácilmente separados o extraídos.
- Tratamiento primario: en esta etapa se sedimentan o tamizan algunos sólidos.
- Tratamiento secundario: son procesos biológicos aerobios y anaerobios para reducir la mayor parte de DBO₅.
- Tratamiento terciario: en esta etapa se realiza la remoción de metales pesados y patógenos.

A continuación se describen algunos motivos para el tratamiento de aguas residuales:

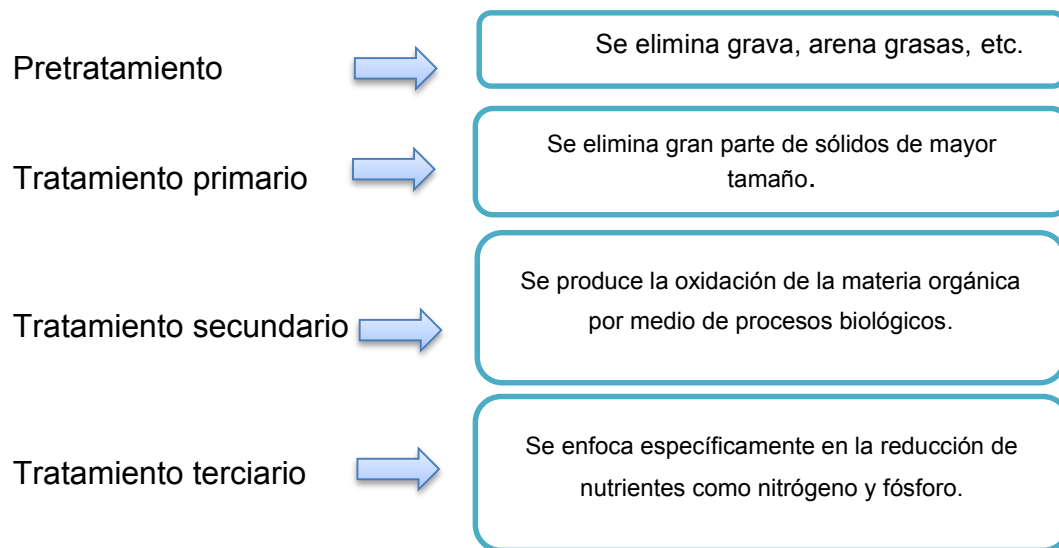
- Las aguas residuales son fuente de contaminación de los ríos, lagos, lagunas, nacimientos y manantiales.
- Causan diversos problemas a la salud de las poblaciones que la consumen o utilizan y deterioran los recursos naturales.
- Producen enfermedades como la diarrea, el cólera, fiebre tifoidea, amebas, hepatitis A, y puede producir enfermedades de la piel.
- “Son aguas de baja calidad no aptas para consumo humano, animal o agrícola, que afectan a la vida de los ecosistemas-acuáticos, las plantas y los animales”.
- Causan malos olores y daña a las cuencas.

- “Contribuyen a que se produzcan afloramiento de cianobacterias”⁶.

1.4. Unidades de tratamientos de baja tecnología para aguas grises de origen doméstico

Existen diferentes maneras de tratar las aguas residuales. Estos tratamientos van desde los sistemas completos de tratamiento a modelos más sencillos que se pueden aplicar en comunidades o en viviendas individuales.

Figura 1. **Procesos de tratamiento para aguas residuales**



Fuente: Asociación Vivamos Mejor. *Manual de sistema de tratamiento de aguas residuales y manejo de biodigestores domiciliarios.*

https://issuu.com/asociacionvivamosmejor/docs/manual_aguas_residuales26-04-2012.

Consulta: octubre de 2019.

⁶ Asociación Vivamos Mejor. *Manual de sistema de tratamiento de aguas residuales y manejo de biodigestores domiciliarios.*

https://issuu.com/asociacionvivamosmejor/docs/manual_aguas_residuales26-04-2012.

Consulta: octubre de 2019.

1.4.1. Unidades de pretratamiento

El objetivo del pretratamiento es separar de las aguas crudas aquellos constituyentes que puedan obstruir o interferir en los procesos subsecuentes de tratamiento. Los dispositivos para el tratamiento preliminar han sido concebidos para:

- Preparar o disminuir el tamaño de los sólidos orgánicos grandes que flotan o están suspendidos. Estos consisten generalmente en trozos de madera, papel, telas y basura, junto con algo de materia fecal.
- Separar los sólidos inorgánicos pesados, como la arena, la grava, e incluso objetos metálicos de pequeño tamaño.
- Separar cantidades excesivas de aceites y grasas.

Los pretratamientos se realizan por medio de procesos físicos o mecánicos, los más conocidos son:

- Canal de entrada
- Cámara de rejas
- Desarenador
- Medidor de flujo
- Trampa de grasas

1.4.2. Tratamiento primario

El objetivo del tratamiento primario es básicamente la remoción de aquellos sólidos en suspensión que son sedimentables, mediante el proceso físico de decantación o sedimentación. Colateralmente se remueve también una fracción

de la DBO de las aguas residuales. Los elementos principalmente utilizados para el tratamiento son los siguientes:

- Sedimentador de flujo horizontal
- Sedimentador de flujo vertical

1.4.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario consta de unidades biológicas y la separación de los lodos producidos, mediante sedimentación.

- Filtros percoladores
- Biofiltros anaerobios y aerobios
- Sistema de lagunas
- Humedales
- Lodos activados

1.4.4. Tratamiento terciario

El objetivo del tratamiento terciario es eliminar la carga orgánica residual y aquellas sustancias contaminantes no eliminadas en el tratamiento secundario, como por ejemplo nutrientes, fósforo y nitrógeno. Algunos elementos utilizados en el tratamiento terciario son:

- Cloración
- Luz ultravioleta
- Intercambio iónico
- Ósmosis inversa

1.4.5. Sistemas de tratamiento familiares o domiciliarios

Existen también sistemas que realizan el tratamiento a nivel domiciliario, es decir, solo de las aguas que salen de una vivienda. Hay diferentes alternativas de sistemas, entre ellos se pueden mencionar:

- Filtración de aguas grises
- Biodigestor
- Letrinas secas o aboneras

1.5. Reúso de aguas grises de origen doméstico

Cuando se utilizan apropiadamente las aguas grises son una fuente de gran valor, ya que el uso de sistemas de tratamiento y reutilización de aguas grises pueden conseguir el ahorro de entre el 30 % y el 45 % de agua potable.

A continuación se presentan algunos reúsos que se les pueden dar.

1.5.1. Círculo de banano

Consiste en la construcción de un agujero donde desembocan las aguas grises domiciliarias y que alrededor tienen bananos plantados, muy eficientes en la absorción de contaminantes.

1.5.2. Sistema de acolchado

Consiste en dirigir el agua gris hacia zanjas rellenas de acolchado, compuesto normalmente de corteza de árbol triturada, paja y hojas, que se encarga de darle un tratamiento al agua y a su vez aumentar la riqueza del suelo a través de un proceso de compostaje.

1.5.3. Riego de jardinería

El uso más reconocido que se les da a las aguas grises es el de riego en jardines, esto puede significar un ahorro alto en hoteles, jardines de eventos y otros en los que se tengan áreas grandes de jardinería.

1.5.4. Recarga de cisternas de inodoro

Solamente si las aguas provienen del tratamiento de aguas grises, se pueden recomendar para la recarga en cisternas de inodoros.

1.6. Geotextiles y su aplicación en tratamiento de agua

La información se presenta a continuación:

1.6.1. Tipos de geotextiles

Son los siguientes:

1.6.1.1. Geotextiles tejidos

Son los “formados por cintas entrecruzadas en una máquina de tejer. Están conformados mediante cintas de polipropileno en sentidos longitudinal y transversal. Es un tejido simple y eficiente, conocido también como uno arriba y uno abajo”⁷, obteniendo como resultado una estructura plana.

⁷ Mexichem. *Funciones y aplicaciones de geotextiles tejidos y no tejidos*. <http://www.amanco.com.ar/wp-content/uploads/descargas/geosinteticos/amanco-geotextiles-folleto-pavco.pdf?v=7516fd43adaa>. Consulta: septiembre de 2018.

Su resistencia principalmente a la tracción es de tipo biaxial. Por su resistencia su aplicación está orientada al refuerzo de vías, muros, terraplenes y cimentaciones.

1.6.1.2. Geotextiles no tejidos

“Se forman a partir de un entrelazado de fibras o filamentos de polipropileno mezclados aleatoriamente, formando una capa textil con altas propiedades de filtración y drenaje”⁸.

Los geotextiles de este tipo tienen buenas características mecánicas, manteniendo en parte el espesor de la capa, el cual les confiere mayor estructura tridimensional, tiene una buena adaptabilidad a la topografía de los terrenos, unas excelentes propiedades para protección y buenas funciones de filtración y separación.

1.6.2. Aplicaciones de los geotextiles en filtración de agua

Son las siguientes:

1.6.2.1. Separación

Se utilizan para separación de dos capas de suelo de diferentes propiedades mecánicas, evitando permanentemente la mezcla de material. Se convierte en una barrera para migración de partículas entre dos tipos de suelo, facilitando la transmisión de agua. Son utilizados en:

⁸ Mexichem. *Funciones y aplicaciones de geotextiles tejidos y no tejidos*. <http://www.amanco.com.ar/wp-content/uploads/descargas/geosinteticos/amanco-geotextiles-folleto-pavco.pdf?v=7516fd43adaa>. Consulta: septiembre de 2018.

- La estructura de pavimentos y subrasante.
- Cimentación y terraplenes de suelo.
- Debajo de campos deportivos y parqueaderos.
- Filtración y separación en estructuras hidráulicas, gaviones, canales, entre otros.

1.6.2.2. Estabilización de suelos blandos

Gracias a la propiedad de tracción del geotextil trabaja como complemento a las propiedades mecánicas del suelo, con el fin de controlar los esfuerzos transmitidos tanto en la fase de construcción como en la de servicio de la estructura. El geotextil actúa como un elemento estructural y de confinamiento de los granos del suelo. Son utilizados en:

- Entre estructuras de pavimento y subrasantes.
- Conformación de terraplenes, plataformas, vías y cimentaciones sobre suelos extremadamente blandos.

1.6.2.3. Sistemas de subdrenaje

Los geotextiles no tejidos debido a su porosidad y estructura de fibras poseen una alta permeabilidad, permitiendo el paso de agua y reteniendo las partículas del suelo. Además, permiten el drenaje del agua en su plano. Son utilizados en:

- Filtros tradicionales en vías, parqueaderos, edificaciones y campos deportivos.
- Colchones drenantes bajo estructuras como terraplenes.

- Chimeneas drenantes en el espaldón de muros de contención.

1.6.2.4. Pavimentos y reparaciones

En cualquier proceso de repavimentación de una vía, el exceso de humedad y el calcado de fisuras son los dos fenómenos que afectan la durabilidad de las estructuras de pavimento y su capacidad para resistir la aplicación de carga. Son utilizados en:

- Repavimentación de estructuras de pavimento, vías y pistas de aeropuertos.
- En la construcción de estructuras nuevas de asfalto.

1.6.2.5. Protección de sistemas de impermeabilización

Los geotextiles ofrecen una manera segura y controlada de manejar esta impermeabilización en caso de lagunas de oxidación y almacenamiento de fluidos.

1.7. Geotextiles utilizados

Los geotextiles utilizados en el estudio son de no tejido, los nombres comerciales de los geotextiles utilizados son: NT 1800, NT 2500, NT 3000 y NT 4000. A continuación se indican las propiedades según la ficha técnica del fabricante.

Tabla II. **Características de los geotextiles utilizados**

Tipo de Geotextil	Norma	NT 1800	NT 2500	NT 3000	NT 4000
Tamaño de abertura Aparente (mm)	ASTM D 4751	0.180	0.150	0.150	0.125
Tamiz equivalente	ASTM D 4751	No. 80	No. 100	No. 100	No. 120
Permeabilidad (cm/s)	ASTM D 4491	42×10^{-2}	38×10^{-2}	35×10^{-2}	28×10^{-2}
Espesor (mm)	ASTM D 5199	1.5	2.00	2.1	2.4

Fuente: Mexichem. *Especificaciones técnicas*. p.1.

1.8. Clasificación de partículas según el número de tamiz

La clasificación de grava y arena se da según el tamaño de partículas, de manera general se clasifica como grava cualquier partícula que no logre pasar la malla del tamiz No. 4 (4.76 mm), mientras que es arena todas las partículas que pasen el tamiz No. 4, es decir que su tamaño sea menor de 4,76m, esto incluye las partículas retenidas en los tamices No. 50, No. 100, No. 125, No. 200. A continuación se describe en una tabla el tamaño de malla y partículas según el número de tamiz.

Tabla III. ASTM de tamices (ASTM D422 y E100)

TAMICES SERIE ASTM											
Nro.	Abertura	Nro.	Abertura	Nro.	Abertura	Nro.	Abertura	Nro.	Abertura	Nro.	Abertura
5"	127.00	1 1/2"	38.10	3/8"	9.53	12	1.70	60	0.250	325	0.041
4.24"	107.70	1 1/4"	31.75	5/16"	7.94	14	1.40	70	0.212	400	0.035
4"	101.60	1.06"	26.92	0.265"	6.73	16	1.18	80	0.180	450	0.031
3 1/2"	88.90	1"	25.40	1/4"	6.35	18	1.00	100	0.150	500	0.028
13/4"	82.55	7/8"	22.23	4	4.75	20	0.85	120	0.125	635	0.021
3"	76.20	3/4"	19.05	5	4.00	25	0.71	140	0.106		
2 1/2"	63.50	5/8"	15.88	6	3.35	30	0.60	170	0.090		
2.12"	53.85	0.53"	13.46	7	2.80	35	0.50	200	0.075		
2"	50.80	1/2"	12.70	8	2.36	40	0.43	230	0.065		
1 3/4"	44.45	7/16"	11.11	10	2.00	50	0.36	270	0.053		

Fuente: Comité ACI 221 de Agregados. *Tamices serie ASTM*. p.15.

1.9. Parámetros en análisis

Son los siguientes:

1.9.1. Sólidos suspendidos

Es un parámetro utilizado para medir la cantidad de sólidos presentes en suspensión y que pueden ser retenidos o separados por métodos mecánicos, como la filtración en vacío o centrifugación del líquido.

1.9.2. DBO₅

Este parámetro mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica en una muestra de agua contaminante. Es la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos. Este parámetro se mide en aguas que contienen una cantidad apreciable de materia orgánica.

1.9.3. DQO

Este parámetro mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas o degradadas por medios químicos en una muestra de agua contaminante. Este parámetro pretende medir la concentración de materia orgánica en la muestra. La DQO varía en función de las características de la materia presente, de sus proporciones y posibilidades de oxidación.

1.9.4. Potencial de hidrógeno

El potencial de hidrógeno (PH) indica la cantidad de iones de hidrógeno concentrados, este es el indicativo de acidez o alcalinidad de una muestra de agua, siendo ácidas las disoluciones con PH menores a 7 y siendo alcalinas las que tienen PH mayores a 7.

1.9.5. Coliformes totales

Son un grupo de microorganismos bacterianos que se encuentran en diferentes lugares de la naturaleza, los cuales son signo de contaminación en agua y alimentos. En los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y su origen es de principalmente fecal. El número de estas bacterias en el agua es proporcional al grado de contaminación.

1.9.6. Coliformes fecales

Como se expresa en el párrafo anterior, las coliformes totales se describen como un grupo de microorganismos bacterianos, de tal grupo se derivan las coliformes fecales, las cuales indican la existencia de heces fecales en el agua.

2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Descripción del sitio de estudio

El área donde se realizó el estudio se encuentra ubicada en la planta piloto de tratamiento de aguas residuales Arturo Pazos Sosa, en la colonia Aurora II, zona 13 de la ciudad de Guatemala. El desfogue en análisis es de la pila propiedad del guardián de la planta de tratamiento y su familia, dicha pila está ubicada al exterior de la vivienda de ocho habitantes, la cual cuenta con la mayoría de artefactos sanitarios dentro del hogar, sin embargo, la pila se encuentra en la parte exterior de la vivienda, la cual tiene una conexión que desfoga a una distancia media de donde se ubica la pila, el desfogue queda a flor de tierra, de manera que solo fluye por el terreno, infiltrándose en el recorrido.

Figura 2. **Ubicación del sitio de estudio**

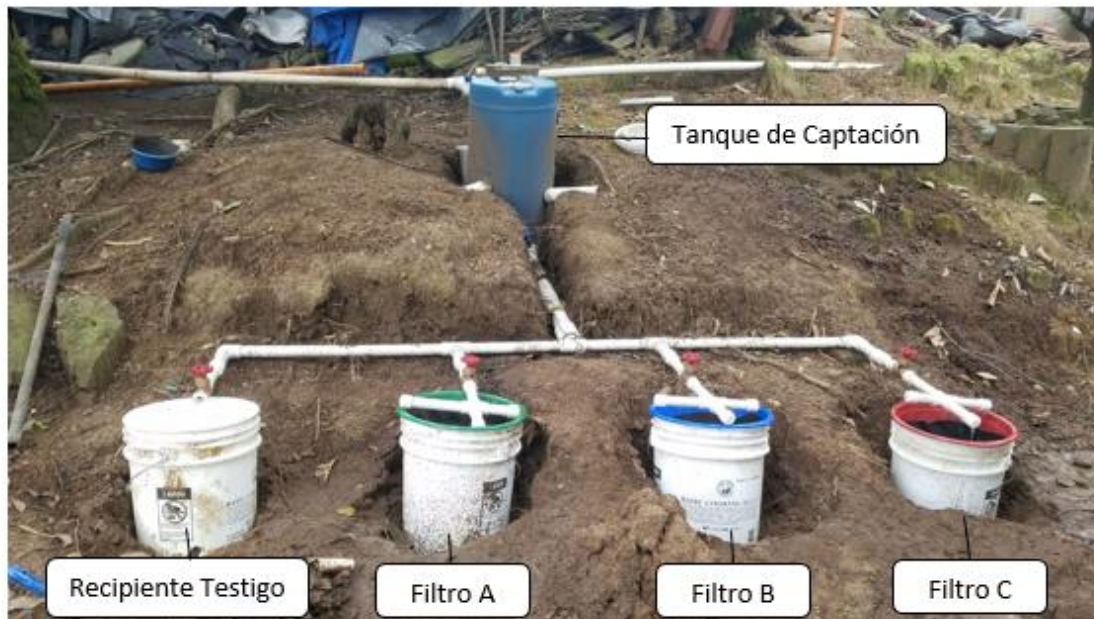


Fuente: Google Earth. *Ubicación del sitio de estudio*. <https://earth.google.com>. Consulta: noviembre de 2019.

2.2. Esquemas de sistemas de tratamiento propuestos para aguas grises de origen doméstico

El sistema está compuesto de una conexión del desfogue de la pila hacia un tanque de captación y de este tanque se distribuye hacia cuatro salidas, una es para agua sin filtrar, que es para determinar los valores iniciales de los parámetros a analizar, la segunda se conectó por el filtro de tipo A, la tercera se conectó hacia el filtro B y la cuarta se conectó hacia el filtro C. Se pueden observar los componentes del sistema en la gráfica siguiente:

Figura 3. Esquema del sistema

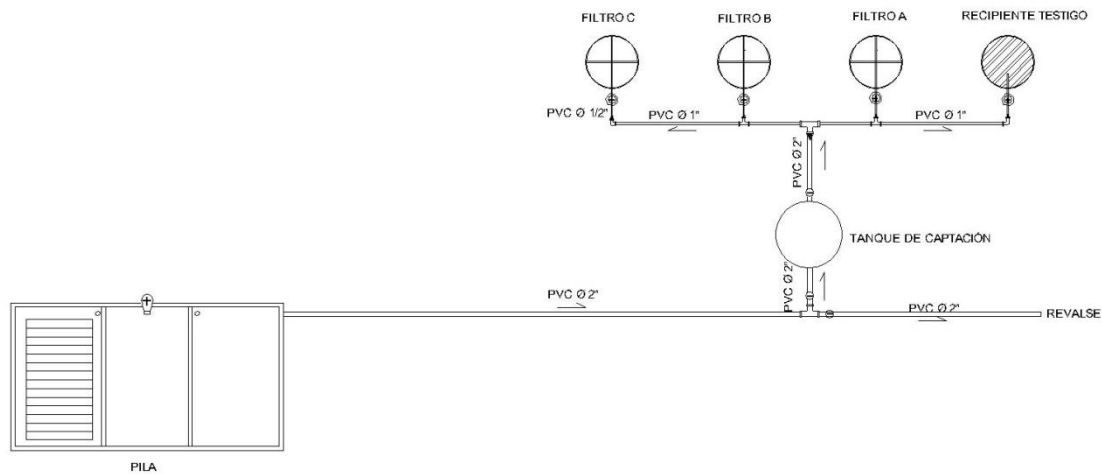


Fuente: elaboración propia.

2.3. Diseño y construcción del modelo de filtros para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico

Se realizó un desvío del caudal del desfogeo en un punto intermedio, el cual llega a un tanque de captación y de este tanque se distribuye a los tres filtros propuestos, regulando el caudal a través de llaves y válvulas.

Figura 4. **Planta de distribución**



NOMENCLATURA	
	LLAVE DE GLOBO DE PVC DE 2"
	TEE DE PVC DE 1" Y 2"
	REDUCIDOR DE PVC
	CODO A 90° DE PVC
	FILTRO
	VALVULA DE COMPUERTA
	TANQUE DE CAPTACIÓN
	SENTIDO DEL FLUJO
	TANQUE DE CAPTACIÓN

Fuente: elaboración propia.

2.4. **Descripción del modelo del sistema de tratamiento a construir para el tratamiento de las aguas grises de origen doméstico**

Se realizó un sistema compuesto por un tanque de captación, un recipiente testigo y tres propuestas de filtros con diferente composición de geotextiles para la filtración de aguas grises.

A continuación se describe la composición de cada uno de los componentes del sistema.

2.4.1. Tanque de captación

Consiste en un recipiente de plástico con una capacidad de almacenamiento de 68 litros, conectado directamente al desfogue de la pila, este tiene conectada a la salida del tanque una llave de bola para abrir y cerrar el sistema.

Figura 5. **Tanque de captación**



Fuente: elaboración propia.

2.4.2. Recipiente testigo

Este es un recipiente de plástico vacío, el cual recolectará una muestra de agua gris sin filtrar, este recipiente se colocó al mismo nivel de los filtros con el fin de distribuir las aguas grises de manera uniforme entre el recipiente testigo y los filtros.

Figura 6. **Recipiente testigo**



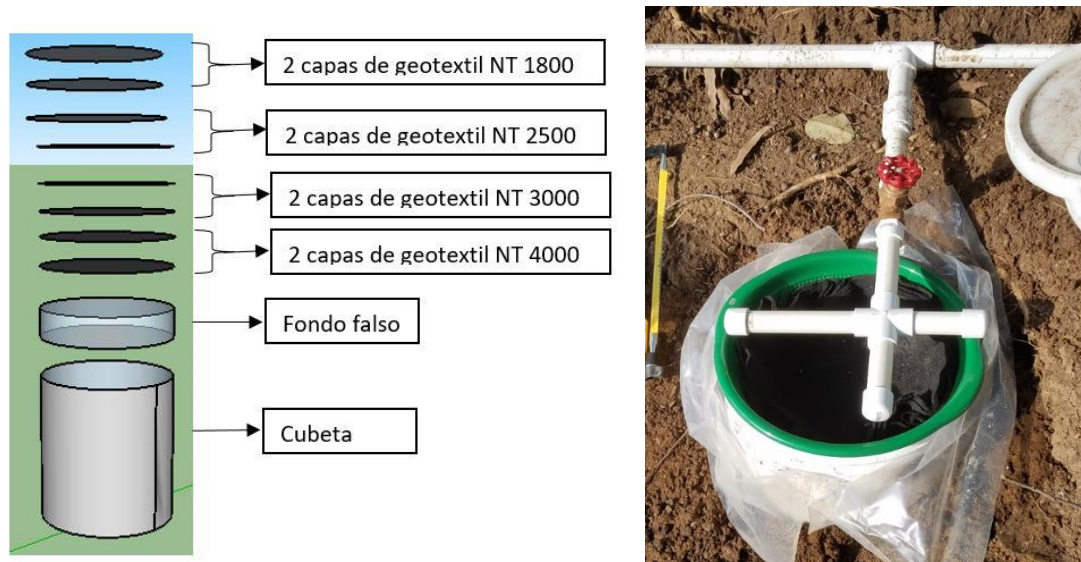
Fuente: elaboración propia.

2.4.3. Filtro tipo A

Se utilizaron 8 capas de geotextiles, distribuidas de forma descendente de la siguiente forma: dos capas de NT 1800 (permeabilidad 42×10^{-2} cm/s), dos capas de NT 2500 (permeabilidad 38×10^{-2} cm/s), dos capas de NT 3000 (permeabilidad de 35×10^{-2} cm/s) y dos de tipo NT 4000 (permeabilidad 28×10^{-2} cm/s), estos fueron colocados sobre un fondo falso en un recipiente de polietileno con un volumen de 19 litros. (Ver figura 7).

Este filtro está conectado al tanque de captación y es regulado por una válvula de compuerta de bronce.

Figura 7. **Composición de filtro tipo A**



Fuente: elaboración propia.

2.4.4. **Filtro tipo B**

Se utilizaron 4 capas de geotextiles, distribuidas de forma descendente de la siguiente forma: una capa de NT 1800 (permeabilidad 42×10^{-2} cm/s), una capa de NT 2500 (permeabilidad 38×10^{-2} cm/s), una capa de NT 3000 (permeabilidad de 35×10^{-2} cm/s) y una capa de tipo NT 4000 (permeabilidad 28×10^{-2} cm/s), estos fueron colocados sobre un fondo falso en un recipiente de polietileno con un volumen de 19 litros. (Ver figura 8).

Este filtro está conectado al tanque de captación y es regulado por una válvula de compuerta de bronce.

Figura 8. **Composición de filtro tipo B**



Fuente: elaboración propia.

2.4.5. **Filtro tipo C**

Se utilizaron 4 capas de geotextiles, distribuidas de forma descendente de la siguiente forma: una capa de NT 1800 (permeabilidad 42×10^{-2} cm/s), una capa de NT 3000 (permeabilidad de 35×10^{-2} cm/s) y una capa de tipo NT 4000 (permeabilidad 28×10^{-2} cm/s), estos fueron colocados sobre un fondo falso en un recipiente de polietileno con un volumen de 19 litros. (Ver figura 9).

Este filtro está conectado al tanque de captación y es regulado por una válvula de compuerta de bronce.

Figura 9. **Composición de filtro tipo C**



Fuente: elaboración propia.

2.4.6. **Cruz distribuidora**

Se le colocó cruz de PVC con agujeros de 1/8 de pulgada en la entrada de cada filtro con el fin de distribuir el caudal en todo el filtro (ver detalle anexo).

2.5. **Selección de la muestra**

Se tomarán diversas muestras según los análisis que se realizaron a través de muestreos múltiples aleatorios, en cuanto a número e intervalos de tiempo, a fin de medir las diferentes características de las aguas grises para verificar su grado de contaminación y los porcentajes de remoción.

2.6. Determinación del número de muestras a realizar

Se determina como se muestra a continuación:

2.6.1. Número de muestras según antecedentes

Tomando como base el muestreo ya realizado en estudios anteriores, realizado para el mismo afluente y en el mismo punto de muestra, según el estudio realizado por Hernández (2010), “se obtuvo un número de muestra a tomar mayor o igual a 9”⁹.

2.6.2. Determinación del número de muestras

Se tomará como base el método 1 060 B, de los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, se utilizarán las curvas de niveles de confianza establecidas a partir de la fórmula:

$$N \geq (ts/U)^2$$

Donde:

N= número de muestras

T= t de *student* para un nivel de confianza determinado

S= desviación estándar global

U= nivel de confianza aceptable

⁹ HERNÁNDEZ, Jaime. *Alternativas para el tratamiento de las aguas grises de origen doméstico*. http://eris.ingenieria.usac.edu.gt/tesis_is.html. Consulta: diciembre de 2019.

Para el cálculo de este estudio se tiene que la $S=0,1838$ y $U=0,15$ para un nivel de confianza de 95 %, equivalente a 2,571, sustituyendo en la fórmula se obtiene lo siguiente:

$$N \geq \left(\frac{2.571 * 0,1838}{0,15} \right)^2$$

$$N \geq \left(\frac{2.571 * 0,1838}{0,15} \right)^2$$

$$N \geq 9,92$$

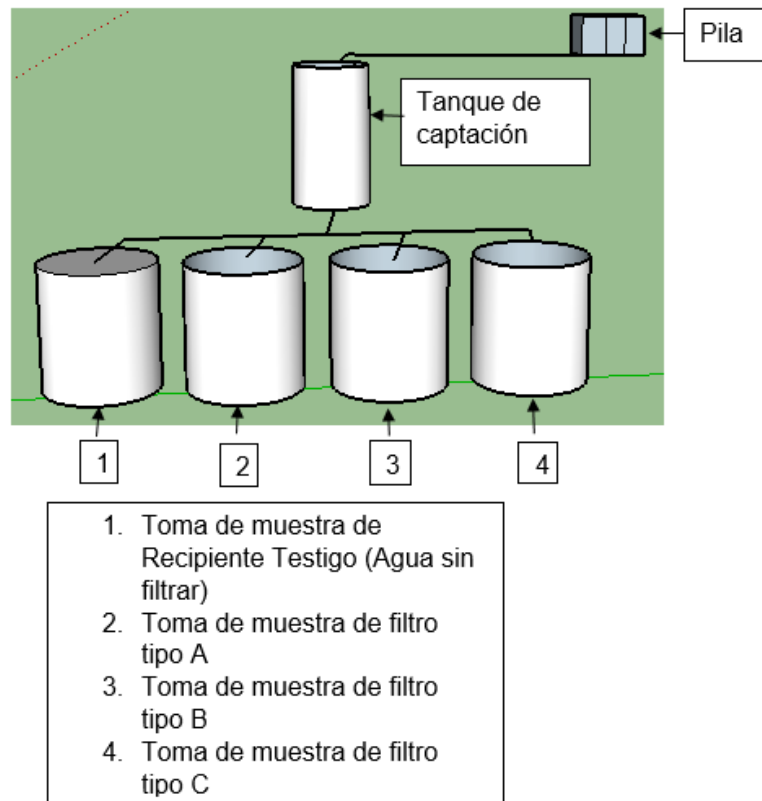
De manera que el número de muestras a utilizarse será $N=10$.

2.7. Puntos de muestreo

La toma de muestra se realizará en la pila externa de la vivienda ubicada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ing. Arturo Pazos, que pertenece a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ubicada en la colonia Aurora II, zona 13, ciudad de Guatemala. Esta simula ser una pila de una vivienda en el área rural.

El estudio pretende determinar la eficiencia de remoción de tres tipos de filtros de geotextiles, por tanto en el sistema se colocan cuatro recipientes, uno será utilizado para recolectar la muestra del agua sin filtrar, esto con el fin de compararla con el resultado de aguas grises ya filtradas, mientras que los otros tres recipientes sí cuentan con el medio filtrante, de los cuales se tomará la muestra luego de la filtración en cada uno de los recipientes. (Ver figura 9).

Figura 10. **Puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia.

2.8. **Enfoque de la investigación**

La investigación es de tipo exploratorio, debido a que se determinaron rendimientos de distintos filtros y propone alternativas para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico, por medio del análisis cuantitativo del funcionamiento de cada filtro propuesto, y a través de estos realizar una comparación de valor inicial de los parámetros y el valor final, obteniendo la eficiencia de remoción para los parámetros propuestos y así poder comparar la eficiencia entre los filtros.

2.9. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es de tipo experimental, debido a que los resultados analizados son el resultado de los análisis de calidad de agua realizados en el Laboratorio de Química Microbiológica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, las muestras se realizaron con agua de entrada y salida de los filtros, en el punto de muestreo indicado.

2.10. Presupuesto de construcción el sistema

Es el siguiente:

Tabla IV. Presupuesto de la unidad de tratamiento

Presupuesto para la construcción de Sistema Unifamiliar de tratamiento de aguas grises				
Material	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Sub-total
Tee PVC para drenaje de 2"	1	unidad	Q 12,40	Q12,40
Llave de bola de 2"	1	unidad	Q 90,00	Q 90,00
Pegamento PVC de 1/16	1	unidad	Q 37,50	Q 37,50
Llave de compuerta de 1/2"	1	unidad	Q 60,00	Q 60,00
Tubo PVC para drenaje de 2"	1	unidad	Q 78,40	Q 78,40
Tubo PVC de 1/2"	1	unidad	Q 32,90	Q 32,90
Tanque recolector	1	unidad	Q 100,00	Q 100,00
Fondo Falso	1	unidad	Q 25,00	Q 25,00
Geotextil NT 1800	1	m2	Q 7,00	Q 7,00
Geotextil NT 2500	1	m2	Q 9,00	Q 9,00
Geotextil NT 3000	1	m2	Q 9,00	Q 9,00
Geotextil NT 4000	1	m2	Q 11,00	Q 11,00
cubeta de 19 litros	1	unidad	Q 31,00	Q 31,00
Tee de PVC de 1/2"	1	Unidad	Q 9,00	Q 9,00
Tapones Hembra PVC de 1/2"	3	unidad	Q 10,70	Q 32,10
Total				Q503,20

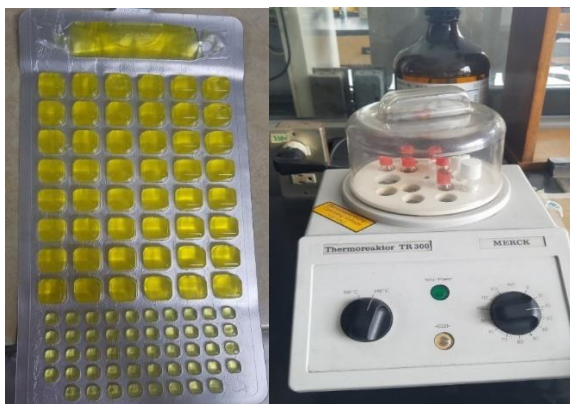
Fuente: elaboración propia.

3. RESULTADOS

Para analizar el funcionamiento de los filtros propuestos fue necesario almacenar las aguas grises en un tanque recolector para posteriormente filtrar de manera uniforme en los tres filtros propuestos bajo las mismas condiciones, y de esta manera obtener un resultado más acertado de comparación.

Se tomaron diez muestreos en forma aleatoria (en cuanto a número e intervalos de tiempo), estas muestras fueron recolectadas una en el recipiente testigo (agua cruda o sin filtrar; ver figura 6) y una muestra a la salida de cada unidad filtrante. Con el fin de determinar la eficiencia de remoción de los parámetros a estudiar las muestras se trasladaron inmediatamente al Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para su respectivo análisis.

Figura 11. **Ensayos de laboratorio**



Fuente: elaboración propia.

3.1. Resultados de los análisis de laboratorio

Resultados de análisis de laboratorio provenientes del ingreso y salida de los filtros propuestos para los parámetros sólidos suspendidos, DBO₅, DQO, PH, coliformes totales y fecales.

Tabla V. Trabajo de laboratorio

RESULTADOS						
Muestra	Sólidos suspendidos (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	coliformes totales	coliformes fecales	PH
PRUEBA 1						
Cruda 1	133,3	343	695	>2419,6	>2419,7	7,80
A1	77,6	323	537	>2419,6	>2419,7	7,64
B1	89,6	327	527	>2419,6	>2419,7	7,54
C1	98,0	296	638	>2419,6	>2419,7	7,45
PRUEBA 2						
Cruda 2	133,3	353	694	>2419,6	>2419,6	7,30
A2	79,7	298	500	>2419,6	>2419,6	7,36
B2	90,7	304	578	>2419,6	>2419,6	7,30
C2	108,9	288	648	>2419,6	>2419,6	7,22
PRUEBA 3						
Cruda 1	133,3	379	638	>2419,6	>2419,6	7,53
A1	61,7	329	548	>2419,6	>2419,6	7,59
B1	60,3	334	556	>2419,6	>2419,6	7,60
C1	61,5	310	526	>2419,6	>2419,6	7,51
PRUEBA 4						
Cruda 2	110,0	362	566	>2419,6	>2419,6	7,35
A2	69,0	288	541	>2419,6	>2419,6	7,49
B2	75,0	291	526	>2419,6	>2419,6	7,50
C2	66,7	291	498	>2419,6	>2419,6	7,48
PRUEBA 5						
Cruda 1	69,1	445	558	>2419,6	2419,6	7,54
A1	42,7	393	512	>2419,6	2419,6	7,53
B1	56,7	320	522	>2419,6	2419,6	7,60
C1	60,3	309	547	>2419,6	2419,6	7,53
PRUEBA 6						
Cruda 2	71,4	442	560	>2419,6	>2419,6	7,54
A2	40,0	326	528	>2419,6	>2419,6	7,53
B2	52,2	306	508	>2419,6	>2419,6	7,55
C2	61,7	298	534	>2419,6	>2419,6	7,52
PRUEBA 7						
Cruda 1	142,1	584	738	>2419,6	>2419,6	7,30
A1	103,7	446	630	>2419,6	>2419,6	7,30
B1	96,3	452	724	>2419,6	>2419,6	7,40
C1	130,0	441	730	>2419,6	>2419,6	7,35
PRUEBA 8						
Cruda 2	136,8	537	700	>2419,6	>2419,6	7,32
A2	92,9	436	596	>2419,6	>2419,6	7,48
B2	96,0	475	611	>2419,6	>2419,6	7,35
C2	119,0	467	651	>2419,6	>2419,6	7,35
PRUEBA 9						
Cruda 1	222,2	451	1011	>2419,6	>2419,6	7,42
A1	125,8	417	792	>2419,6	>2419,6	7,46
B1	125,0	447	787	>2419,6	>2419,6	7,39
C1	102,8	449	754	>2419,6	>2419,6	7,38
PRUEBA 10						
Cruda 2	184,2	489	946	>2419,6	>2419,6	7,51
A2	100,0	362	749	>2419,6	>2419,6	7,52
B2	115,0	438	775	>2419,6	>2419,6	7,50
C2	113,3	479	761	>2419,6	>2419,6	7,49

Fuente: elaboración propia.

3.2. Porcentaje de eficiencia de los filtros propuestos

Es el siguiente:

3.2.1. Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales

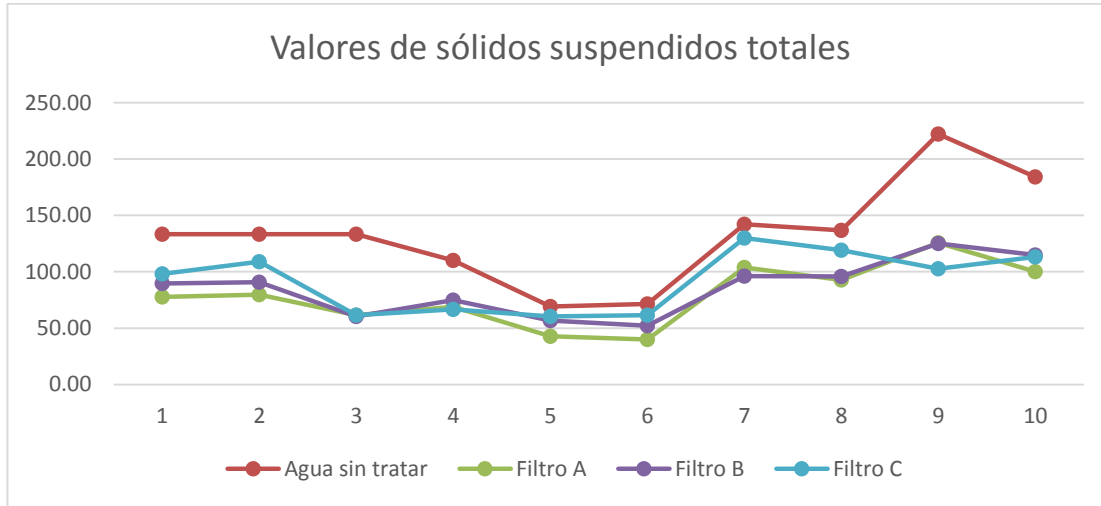
Se observa a continuación:

Tabla VI. Resultados de sólidos suspendidos totales

Sólidos suspendidos totales (mg/l)							
Sólidos suspendidos totales					Porcentaje de remoción		
Muestra	Agua sin tratar	Filtro A	Filtro B	Filtro C	Filtro A	Filtro B	Filtro C
1	133,33	77,59	89,58	98,04	42 %	33 %	26 %
2	133,33	79,66	90,74	108,89	40 %	32 %	18 %
3	133,33	61,67	60,34	61,54	54 %	55 %	54 %
4	110,00	68,97	75,00	66,67	37 %	32 %	39 %
5	69,09	42,67	56,67	60,34	38 %	18 %	13 %
6	71,43	40,00	52,24	61,67	44 %	27 %	14 %
7	142,11	103,70	96,30	130,00	27 %	32 %	9 %
8	136,84	92,86	96,00	119,05	32 %	30 %	13 %
9	222,22	125,81	125,00	102,78	43 %	44 %	54 %
10	184,21	100,00	115,00	113,33	46 %	38 %	38 %
promedio					40 %	34 %	28 %

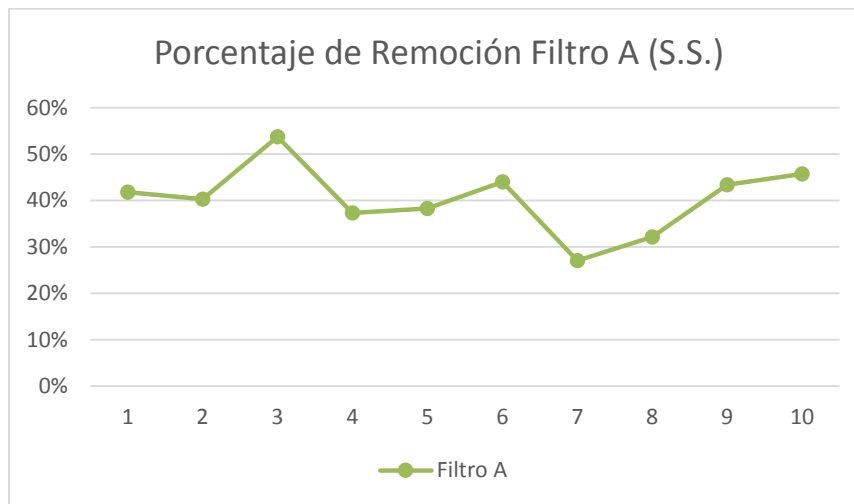
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Valores de S.S.T. obtenidos en las muestras**



Fuente: elaboración propia.

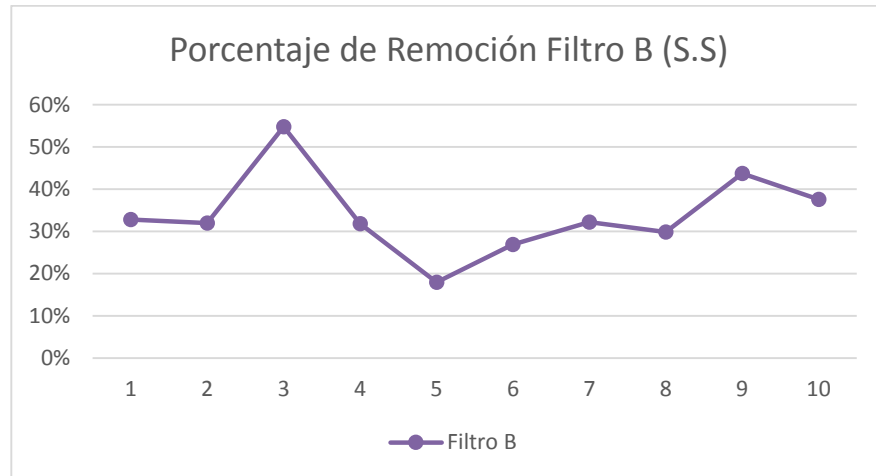
Figura 13. **Porcentaje de eficiencia de remoción de S.S.T. en filtro A**



Valor mínimo: 27,00 % Valor promedio: 40,00 % Valor máximo: 54,00 %

Fuente: elaboración propia.

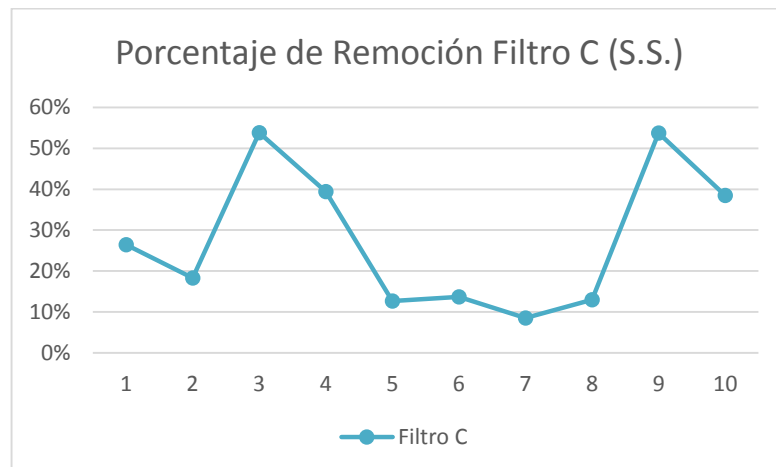
Figura 14. **Porcentaje de eficiencia de remoción de S.S.T. en filtro B**



Valor mínimo: 18,00 % Valor promedio: 34,00 % Valor máximo: 55,00 %

Fuente: elaboración propia.

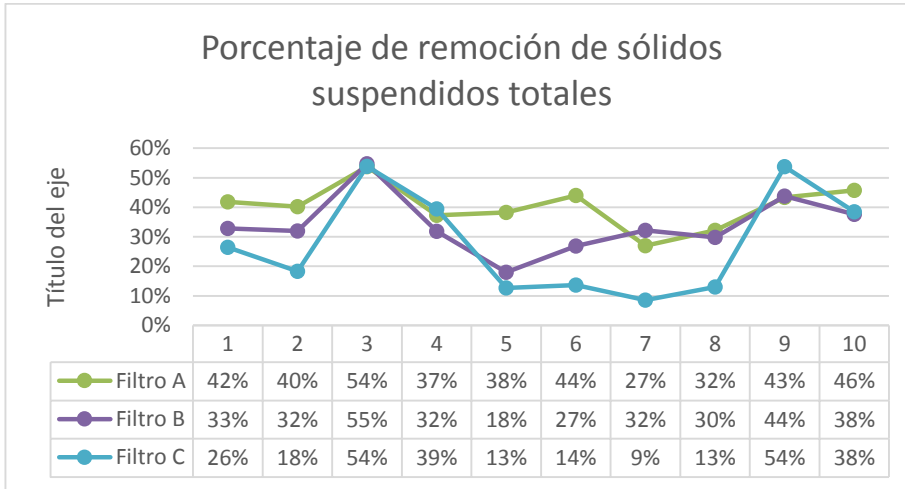
Figura 15. **Porcentaje de eficiencia de remoción de S.S.T. en filtro C**



Valor mínimo: 9,00 % Valor promedio: 28,00 % Valor máximo: 54,00 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Comparación de porcentajes de eficiencia de SST**



Fuente: elaboración propia.

3.2.2. **Porcentaje de remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

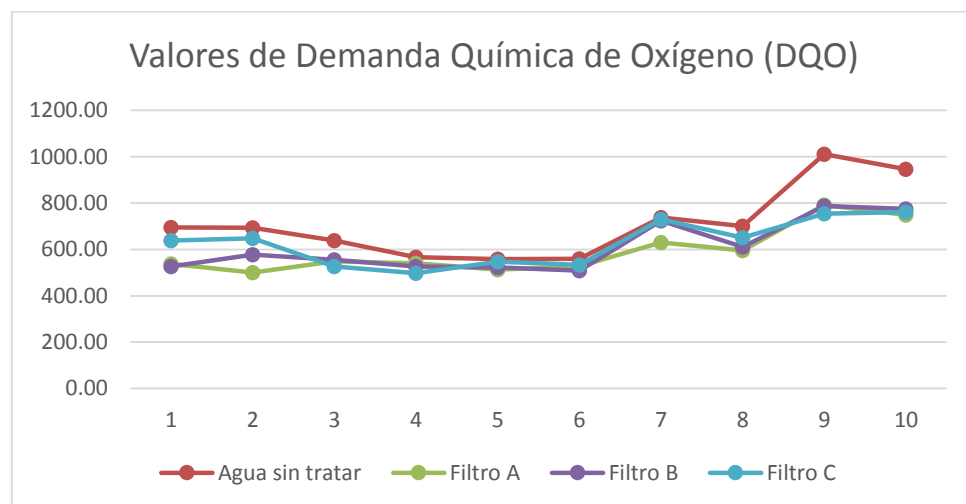
Se presenta a continuación:

Tabla VII. **Resultados de demanda química de oxígeno**

Muestra	Demanda Química de Oxígeno (mg/l)				Porcentaje de Remoción		
	Agua sin tratar	Filtro A	Filtro B	Filtro C	Filtro A	Filtro B	Filtro C
1	695,00	537,00	527,00	638,00	23 %	24 %	8 %
2	694,00	500,00	578,00	648,00	28 %	17 %	7 %
3	638,00	548,00	556,00	526,00	14 %	13 %	18 %
4	566,00	541,00	526,00	498,00	4 %	7 %	12 %
5	558,00	512,00	522,00	547,00	8 %	6 %	2 %
6	560,00	528,00	508,00	534,00	6 %	9 %	5 %
7	738,00	630,00	724,00	730,00	15 %	2 %	1 %
8	700,00	596,00	611,00	651,00	15 %	13 %	7 %
9	1011,00	792,00	787,00	754,00	22 %	22 %	25 %
10	946,00	749,00	775,00	761,00	21 %	18 %	20 %
promedio					16 %	13 %	10 %

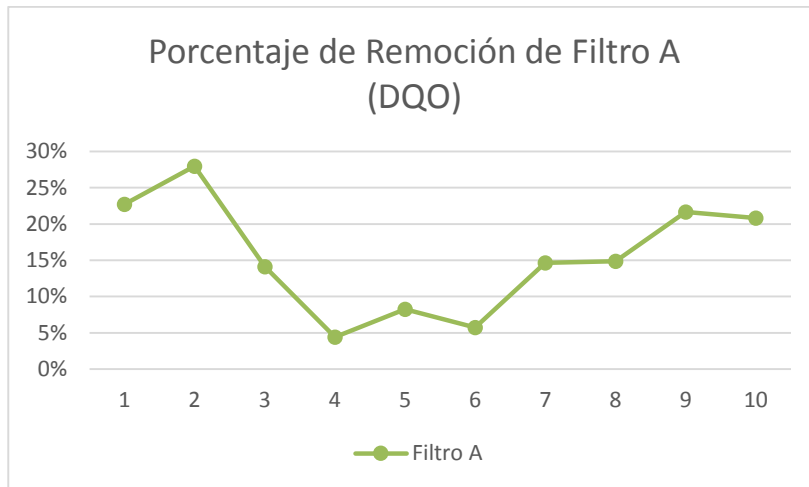
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Valores de DQO obtenidos en las muestras**



Fuente: elaboración propia.

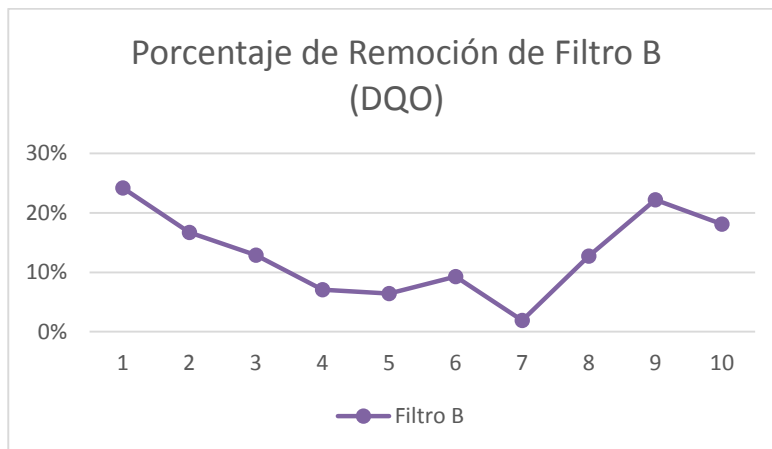
Figura 18. **Porcentaje de eficiencia de remoción de DQO en el filtro tipo A**



Valor mínimo: 4,00 % Valor promedio: 16,00 % Valor máximo: 28,00 %

Fuente: elaboración propia.

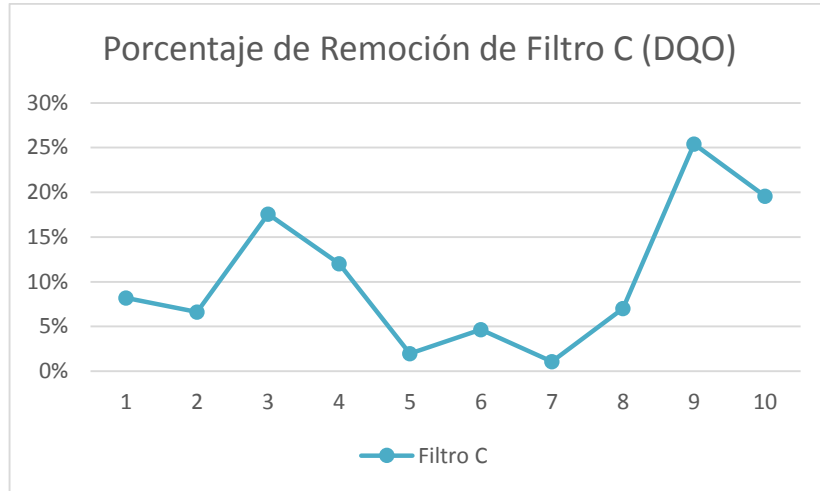
Figura 19. **Porcentaje de eficiencia de remoción de DQO en el filtro tipo B**



Valor mínimo: 2,00 % Valor promedio: 13,00 % Valor máximo: 24,00 %

Fuente: elaboración propia.

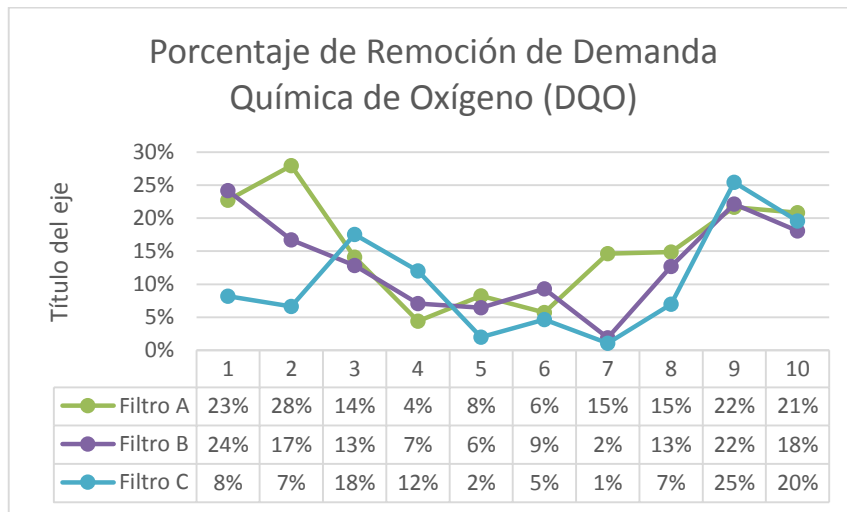
Figura 20. **Porcentaje de eficiencia de remoción de DQO en el filtro tipo C**



Valor mínimo: 1,00 % Valor promedio: 10,00 % Valor máximo: 25,00 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Comparación de porcentajes de eficiencia de DQO**



Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno.

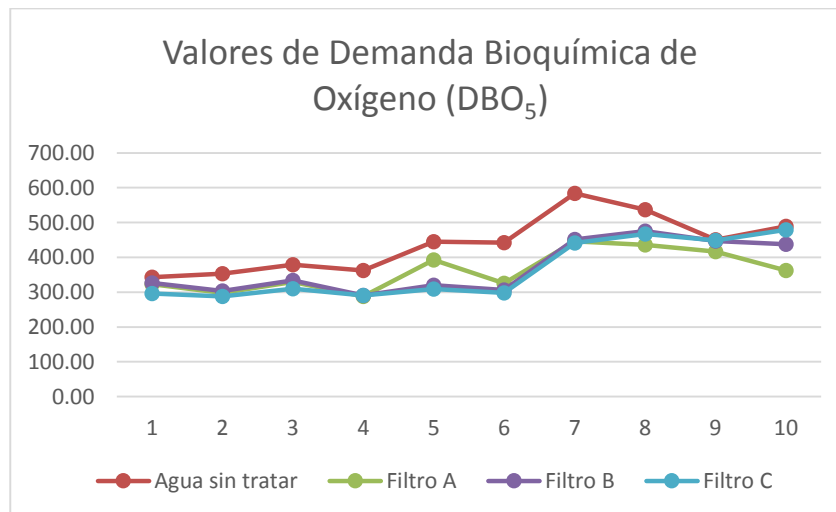
Se observa a continuación:

Tabla VIII. Resultados de demanda bioquímica de oxígeno

Muestra	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)				Porcentaje de Remoción		
	Agua sin tratar	Filtro A	Filtro B	Filtro C	Filtro A	Filtro B	Filtro C
1	343,00	323,00	327,00	296,00	6 %	5 %	14 %
2	353,00	298,00	304,00	288,00	16 %	14 %	18 %
3	379,00	329,00	334,00	310,00	13 %	12 %	18 %
4	362,00	288,00	291,00	291,00	20 %	20 %	20 %
5	445,00	393,00	320,00	309,00	12 %	28 %	31 %
6	442,00	326,00	306,00	298,00	26 %	31 %	33 %
7	584,00	446,00	452,00	441,00	24 %	23 %	24 %
8	537,00	436,00	475,00	467,00	19 %	12 %	13 %
9	451,00	417,00	447,00	449,00	8 %	1 %	0 %
10	489,00	362,00	438,00	479,00	26 %	10 %	2 %
promedio					17 %	15 %	17 %

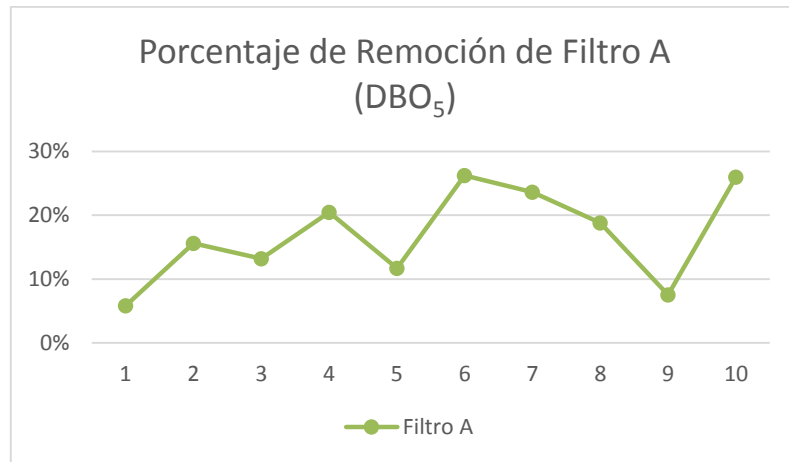
Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Valores de DBO₅ obtenidos en las muestras



Fuente: elaboración propia.

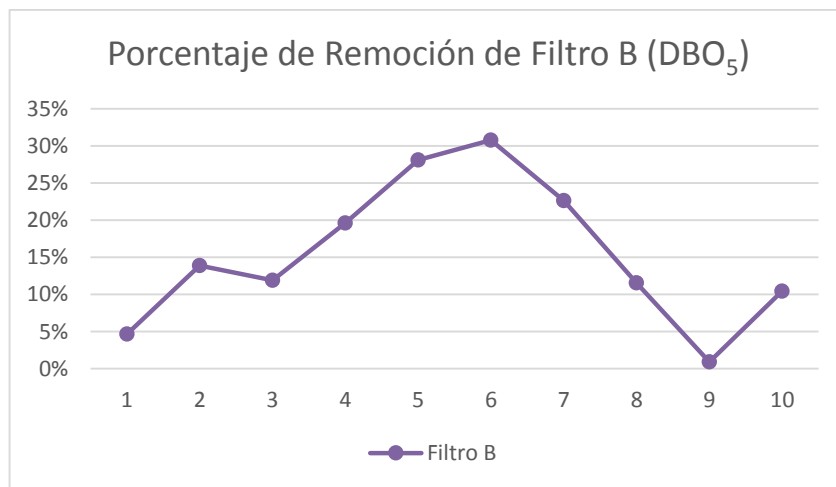
Figura 23. **Porcentaje de eficiencia de remoción de DBO₅ en filtro tipo A**



Valor mínimo: 6,00 % Valor promedio: 17,00 % Valor máximo: 26,00 %

Fuente: elaboración propia.

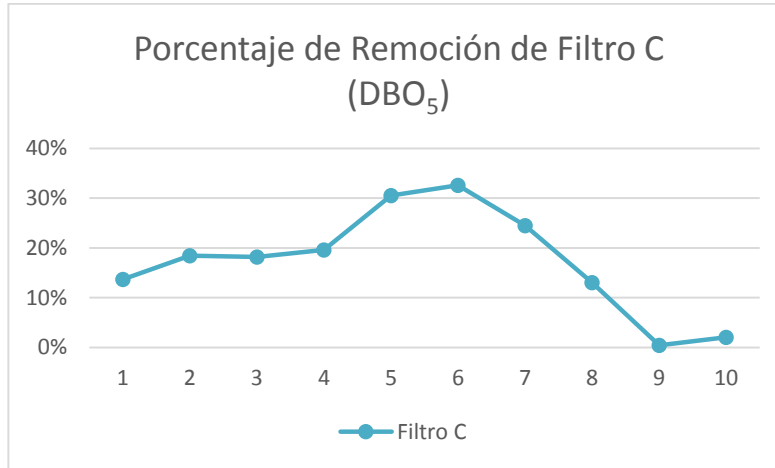
Figura 24. **Porcentaje de eficiencia de remoción de DBO₅ en filtro tipo B**



Valor mínimo: 1,00 % Valor promedio: 15,00 % Valor máximo: 31,00 %

Fuente: elaboración propia.

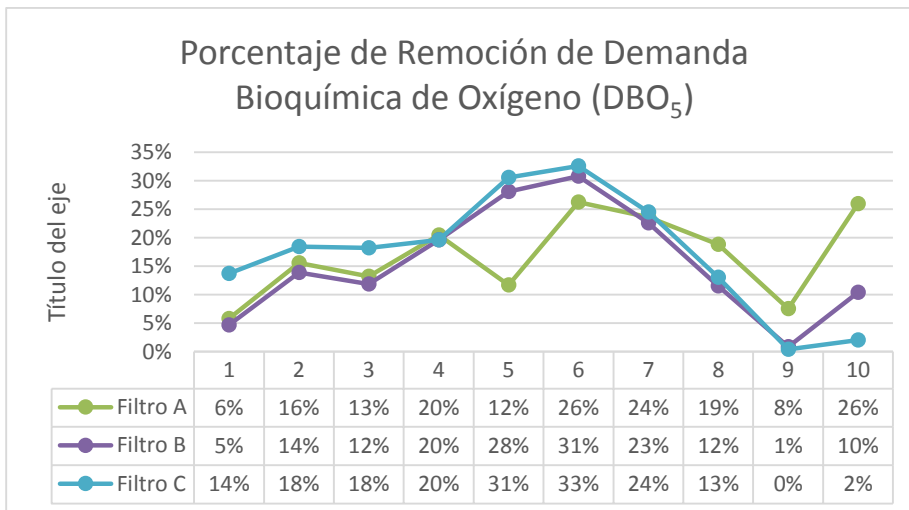
Figura 25. **Porcentaje de eficiencia de remoción de DBO₅ en filtro tipo C**



Valor mínimo: 0,00 % Valor Promedio: 17,00 % Valor máximo: 33,00 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Comparación de porcentaje de eficiencia de remoción de DBO₅**



Fuente: elaboración propia.

3.2.4. Potencial de hidrógeno

La información se presenta a continuación:

Tabla IX. **Resultados del potencial de hidrógeno obtenido en las muestras**

Potencial de Hidrógeno (u)				
Muestra	Agua sin tratar	Filtro A	Filtro B	Filtro C
1	7,80	7,64	7,54	7,45
2	7,30	7,36	7,30	7,22
3	7,53	7,59	7,60	7,51
4	7,35	7,49	7,50	7,48
5	7,54	7,53	7,60	7,53
6	7,54	7,53	7,55	7,52
7	7,30	7,30	7,40	7,35
8	7,32	7,48	7,35	7,35
9	7,42	7,46	7,39	7,38
10	7,51	7,52	7,50	7,49

Fuente: elaboración propia.

3.2.5. Determinación de carga contaminante

Para tener una idea más clara de la carga contaminante que llega a la entrada de los filtros, se calculó el valor promedio de los resultados de sólidos suspendidos, DQO y DBO obtenidos en las muestras y con base en este dato se calculó la carga contaminante.

Cálculo de carga contaminante:

$$Q_{\text{filtro}} = 0,0022 \text{ l/seg}$$

$$\text{Carga} = (\text{concentración}) * (Q_{\text{filtro}})$$

Carga de sólidos suspendidos:

$$\text{Carga S.S.T} = (133,59 \text{ mg/l}) * (0,0022 \text{ l/seg})$$

$$\text{S.S.T} = 0,29 \text{ mg/seg}$$

$$\text{S.S.T} = 0,29 \frac{\text{mg}}{\text{seg}} * \frac{1\text{g}}{1000\text{mg}} * \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} * \frac{86400\text{seg}}{1\text{dia}} = 0,025 \text{ kg/d}$$

Carga de DQO:

$$\text{Carga DQO} = (710,60 \text{ mg/l}) * (0,0022 \text{ l/seg})$$

$$\text{Carga DQO} = 1,56 \text{ mg/seg}$$

$$\text{Carga DQO} = 1,56 \frac{\text{mg}}{\text{seg}} * \frac{1\text{g}}{1000\text{mg}} * \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} * \frac{86400\text{seg}}{1\text{dia}} = 0,13 \text{ kg/d}$$

Carga de DBO:

$$\text{Carga DBO} = (438,5 \text{ mg/l}) * (0,0022 \text{ l/seg})$$

$$\text{Carga DBO} = 0,96 \text{ mg/seg}$$

$$\text{Carga DBO} = 0,96 \frac{\text{mg}}{\text{seg}} * \frac{1\text{g}}{1000\text{mg}} * \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} * \frac{86400\text{seg}}{1\text{dia}} = 0,083\text{kg/d}$$

Tabla X. **Resumen de cargas contaminantes**

Sólidos suspendidos totales	0,025 Kg/d
Demanda química de oxígeno	0,13 Kg/ d
Demanda bioquímica de oxígeno	0,083 Kg/d

Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Interpretación de las gráficas de eficiencia de los filtros propuestos

A continuación se describe la interpretación de las gráficas presentadas anteriormente.

4.1.1. Sólidos suspendidos totales

Como se observa en la figura 16, el porcentaje de remoción en los tres filtros propuestos tuvo una gran variación entre muestreos. Ninguno de los filtros presentó una tendencia constante o definida sobre el porcentaje de remoción.

El filtro A (ver figura 7) presenta un valor mínimo de remoción de 27 %, un valor promedio de remoción de 40 % y un valor máximo de remoción de 54 %.

El filtro B (ver figura 8) presenta un valor mínimo de remoción de 18 %, un valor promedio de remoción de 34 % y un valor máximo de remoción de 55 %.

El filtro C (ver figura 9) presenta un valor mínimo de remoción de 9 %, un valor promedio de 28 % y un valor máximo de 54 %.

Realizando una comparación entre los valores promedio como representativos de la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales entre los tres filtros, se obtiene que el filtro A tiene un mayor valor promedio de remoción con un 40 %, que es un 6 % más que el filtro B y un 12 % más que el filtro C.

4.1.2. Demanda química de oxígeno

En la figura 21 de comparación de porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno se observa que el comportamiento de estas gráficas no marca ninguna tendencia y ningún tipo de modelo de comportamiento entre los tres filtros.

En el filtro A el valor mínimo de remoción fue 4 %, el valor promedio de remoción fue de 16 % y el valor máximo de remoción fue de 28 %.

Para el filtro B se obtuvo en el valor mínimo de remoción 2 %, el valor promedio de remoción 13 % y el valor máximo de remoción de 24 %.

Para el filtro C se observa que el valor mínimo de remoción fue de 1 %, el valor promedio de remoción fue de 10 % y el valor máximo de remoción fue de 25 %.

Realizando una comparación entre los valores promedios de remoción obtenidos por los tres filtros, se observa que el filtro A tiene un valor promedio de remoción mayor a los otros dos, siendo un 3 % más que el filtro B y 6 % más que el filtro C.

4.1.3. Demanda bioquímica de oxígeno

En la figura 26 no se observa alguna tendencia en el comportamiento de la remoción.

En el filtro A, el valor mínimo de remoción fue 6 %, el valor promedio de remoción fue de 17 % y el valor máximo de remoción fue de 26 %.

Para el filtro B se obtuvo como valor mínimo de remoción 1 %, como valor promedio de remoción se obtuvo 15 % y para el valor máximo de remoción se obtuvo 31 %.

En el filtro C el valor mínimo de remoción fue de 0 %, el valor promedio de remoción fue de 17 % y el valor máximo de remoción fue de 33 %.

4.1.4. Potencial de hidrógeno

En cuanto a la variación de potencial de hidrógeno en el muestreo realizado se observa que no ni aumentó ni disminuyó de los valores de este parámetro.

4.1.5. Coliformes fecales y totales

Según las pruebas realizadas, se observa que el valor de coliformes es mayor a 2419,6 unidades, indicando que la muestra contiene una cantidad alta de coliformes totales y coliformes fecales y que debido al tipo de filtración no se remueve ni reduce estos parámetros.

4.1.6. Tiempo de saturación de los filtros

El tiempo de saturación será proporcional al volumen filtrado, por lo cual se estimó un promedio de 250 litros filtrados para llegar a la saturación del medio filtrante (ver anexo).

CONCLUSIONES

1. Según los resultados obtenidos se confirma la hipótesis, ya que el mayor porcentaje promedio de remoción en los filtros fue de 40 % en sólidos suspendidos totales, 16 % en DQO y 17 % en DBO₅, demostrando con esto que no se logra remover más del 45 % de los parámetros mencionados anteriormente como se había planteado inicialmente.
2. En los tres tipos de filtros se tiene una remoción menor a 45 % en los parámetros de DBO₅, DQO y de sólidos suspendidos. En el parámetro de PH no se observó una variación, el valor se mantuvo entre 7,22 y 7,80.
3. Se observó que el filtro tipo A fue el que presentó mayor remoción, siendo el de mayor capas de membrana de geotextil, mientras que el filtro tipo C fue con el porcentaje menor de remoción en los parámetros, debido a que este contaba con menos capas de geotextil.
4. El tiempo de operación y mantenimiento es proporcional a la cantidad de aguas grises filtradas, se estimó que la limpieza del geotextil del filtro tendría que limpiarse a los 250 litros aproximadamente, o en caso de que al hacer la filtración directa el agua lleve restos de sólidos muy grandes, lo cual puede provocar una saturación en menor tiempo.
5. El costo de materiales para la construcción de la unidad es de Q 503,20, siendo un precio accesible para la construcción, aunque este monto esté sujeto a cambios de precios del mercado o a condiciones del lugar donde se coloque el sistema.

RECOMENDACIONES

1. Tomar como base el diseño de esta investigación, pero evaluar otro tipo de geotextiles, ya sean con otra porosidad, otro color o tipo de tejidos.
2. Evaluar la unidad de filtración de geotextiles en combinación con otras unidades, como una trampa de grasas o un filtro biológico.
3. Tomar como base la investigación y realizarla con mayor cantidad de capas de geotextiles y verificar el comportamiento de remoción de los parámetros propuestos.
4. Replicar la investigación y evaluar la eficiencia de remoción de otros parámetros físicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Vivamos Mejor. *Manual del sistema de tratamiento de aguas residuales y manejo de biodigestores domiciliarios. Proyecto: Protección de las Fuentes de Agua en la cuenca del Lago de Atitlán.* [en línea]. ; <https://issuu.com/asociacionvivamosmejor/docs/manual_aguas_residuales26-04-2012>. [Consulta: octubre de 2019].
2. Almar Water Solutions. *Reutilización, la gran asignatura pendiente a nivel mundial.* 2017. [en línea]. <<https://www.iagua.es/blogs/carlos-cosin/reutilizacion-gran-asignatura-pendiente-nivel-mundial>>. [Consulta: septiembre de 2019].
3. Comité ACI 221 de Agregados. *Informe del estado del arte sobre la reactividad del agregado alcalino.* American Concrete Institute. 1998. 15 p.
4. ESTRADA ASTURIAS, Jorge Mario. *Aplicación de geotextiles en filtración lenta como parte del tratamiento terciario en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas Ing. Arturo Pazos, Colonia Aurora II, zona 13 de la Ciudad de Guatemala.* Trabajo de graduación de Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 67 p.

5. HERNÁNDEZ JUÁREZ , Jaime Raúl. *Alternativas para el tratamiento de las aguas grises de origen doméstico*. Trabajo de tesis de graduación de maestro de ingeniería sanitaria. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010. 53 p.
6. HERNÁNDEZ ORTIZ, Camilo Alberto. *Desempenho de geoóxteis na filtração de suspensões água-solo*. Trabajo de tesis de maestría. Universidade de Sao Paulo, Escola de Engenharia de Sao Carlos, Sao Paulo, Brasil. 2012. 101 p.
7. Mexichem. *Funciones y aplicaciones de geotextiles tejidos y no tejidos*. [en línea]. <<http://www.amanco.com.ar/wp-content/uploads/descargas/geosinteticos/amanco-geotextiles-folleto-pavco.pdf?v=7516fd43adaa>>. [Consulta: septiembre de 2018].
8. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN); Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). *Manual de educación ambiental sobre el recurso hídrico en Guatemala*. [en línea]. <<http://www.marn.gob.gt/Multimedios/7419.pdf>>. [Consulta: diciembre de 2019].
9. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. *Diagnóstico Nacional de Salud*. [en línea]. <[https://www.mspas.gob.gt/images/files/cuentasnacionales/publicaciones/11MSPAS\(2012\)Diagnostico-Salud-marzo.pdf](https://www.mspas.gob.gt/images/files/cuentasnacionales/publicaciones/11MSPAS(2012)Diagnostico-Salud-marzo.pdf)>. Consulta: diciembre de 2019.

10. Organización Panamericana de la Salud; Organización Mundial de la Salud. *Agua y saneamiento*. [en línea]. <https://www.paho.org/gut/index.php?option=com_content&view=article&id=789:agua-y-saneamiento&Itemid=405>. [Consulta: octubre de 2019].
11. PIERRI PALMA, Ileana Felicia. *Eficiencia en la remoción de nitrógeno y fósforo en los filtros percoladores de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de San Carlos de Guatemala*. Trabajo de graduación de maestro en ciencias de ingeniería sanitaria. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013. 57 p.
12. SIGUÍ GIL, Norman Leonel. *Diseño y construcción de un filtro intermitente de grava sin recirculación y comparación con eficiencias teóricas de filtros con recirculación para el tratamiento de agua residuales doméstica*. Trabajo de graduación de maestro en ciencias de ingeniería sanitaria. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 2013. 67p.
13. Wikipedia. *Agua*. [en línea]. <<https://es.wikipedia.org/wiki/>>. [Consulta: enero de 2020].

APÉNDICE

Apéndice 1. Construcción del sistema de filtros



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Instalación de bases para filtros



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Instalación de medio filtrante de Geotextil en filtro tipo A



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Instalación de medio filtrante de geotextil para filtros tipo B y C



Fuente: elaboración propia.

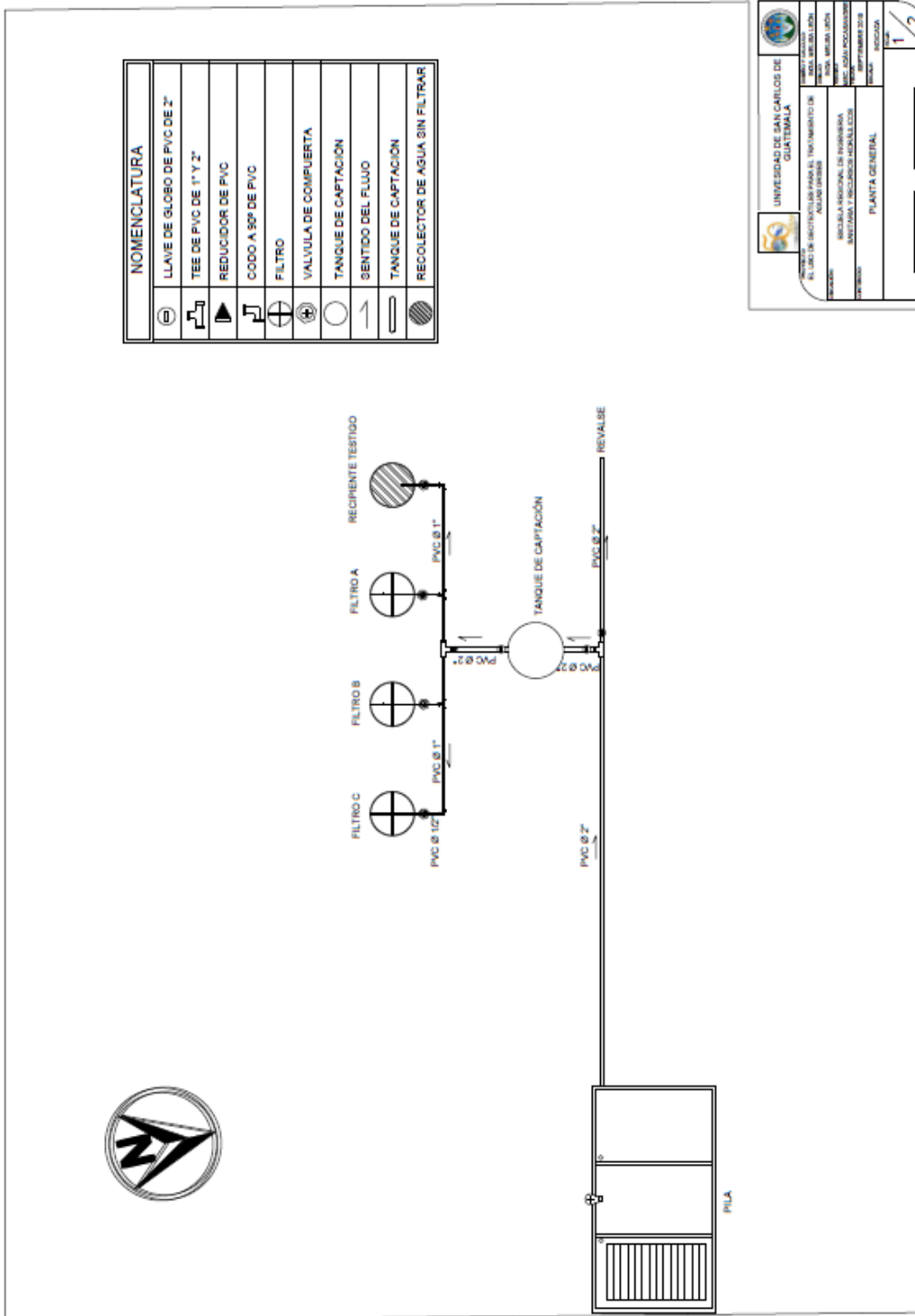
Apéndice 5. Sistema completo con los filtros tipo A, B y C



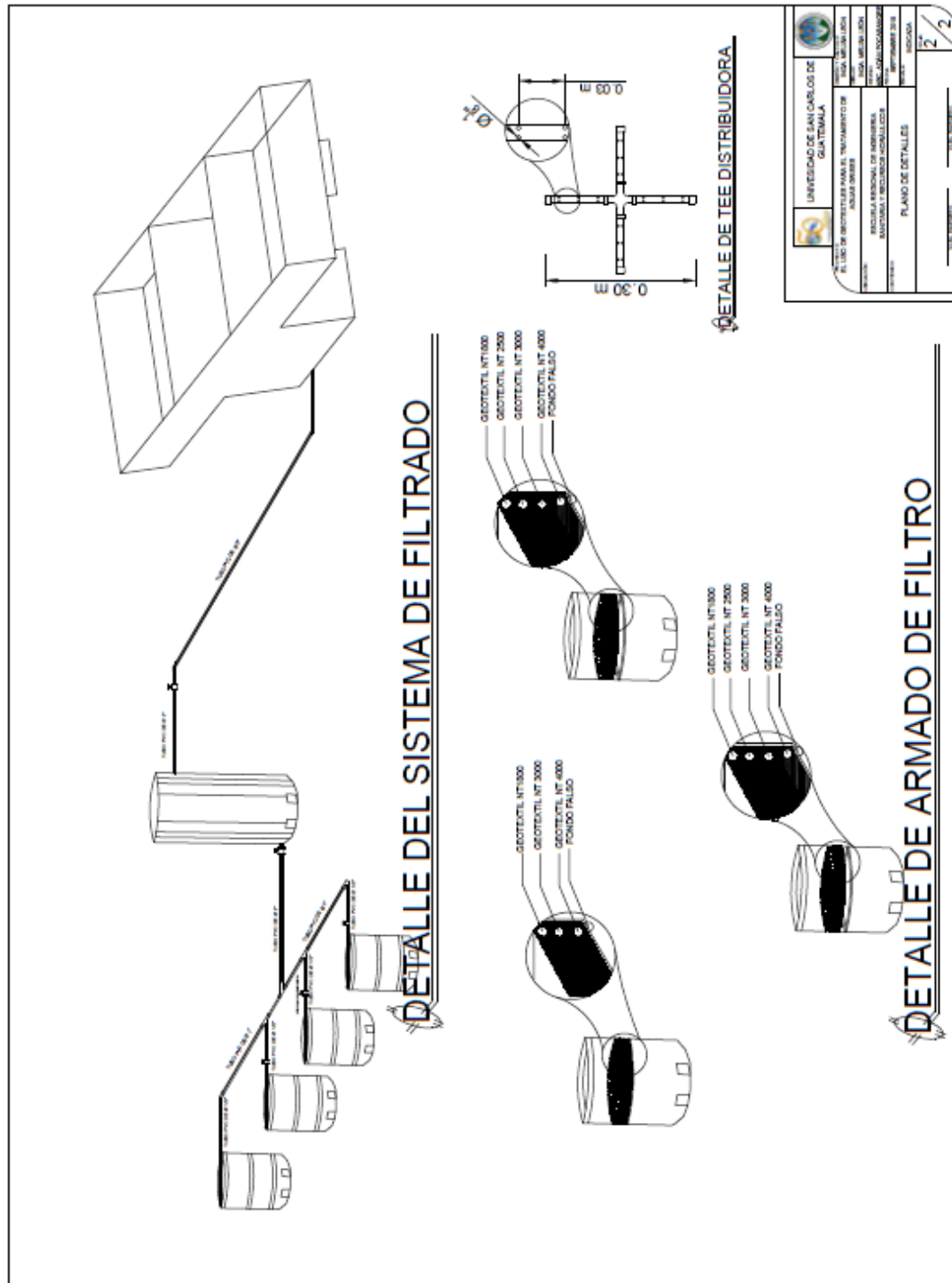
Superficie de la membrana luego de la saturación.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Planos del sistema



Continuación de apéndice 6.

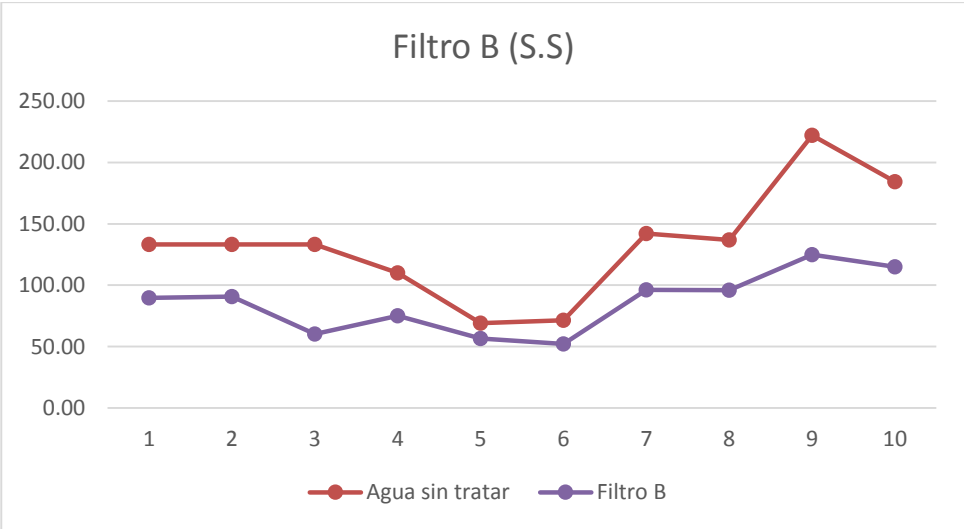
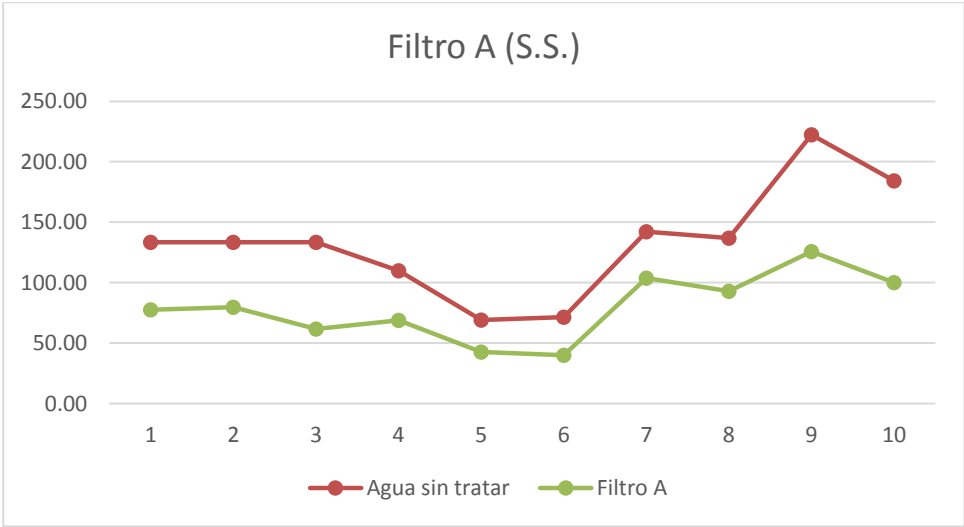


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
FACULTAD DE INGENIERIA	
ESCUELA NACIONAL DE INGENIERIA	
MATERIA: MECANICA DE FLUIDOS	
PLAN DE DETALLES	
FECHA:	2 / 2

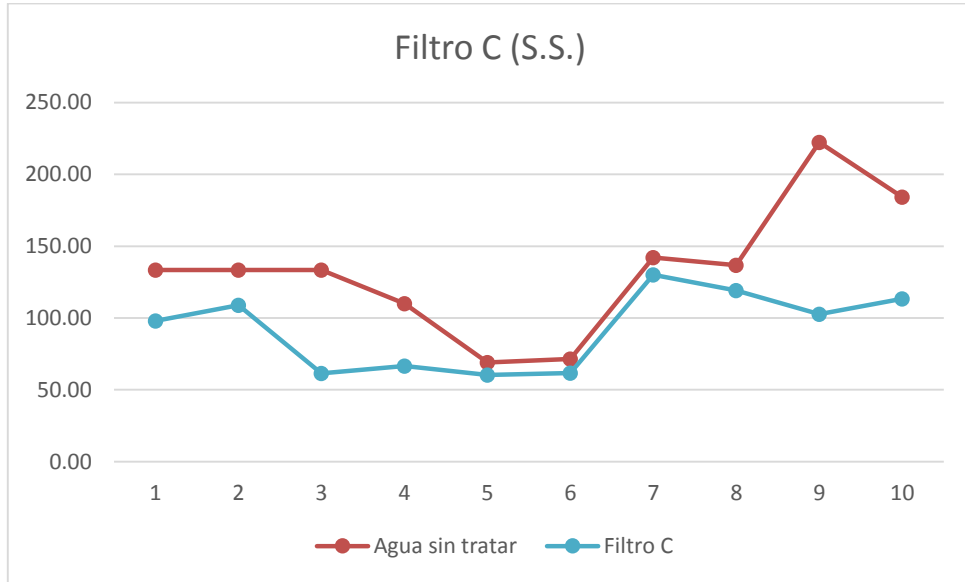
Fuente: elaboración propia.

Gráficas de resultados de laboratorio:

Apéndice 7. Sólidos suspendidos totales

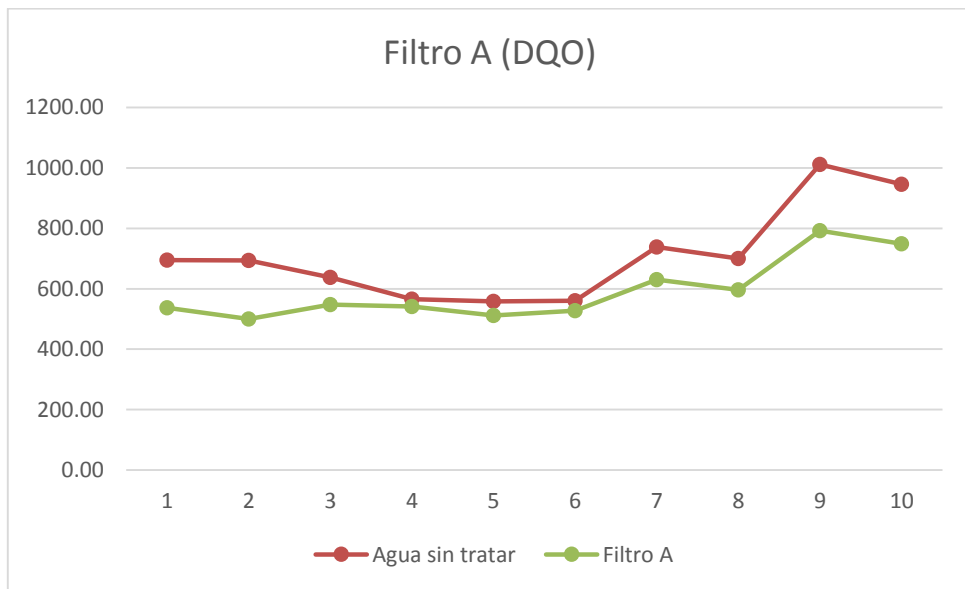


Continuación de apéndice 7.

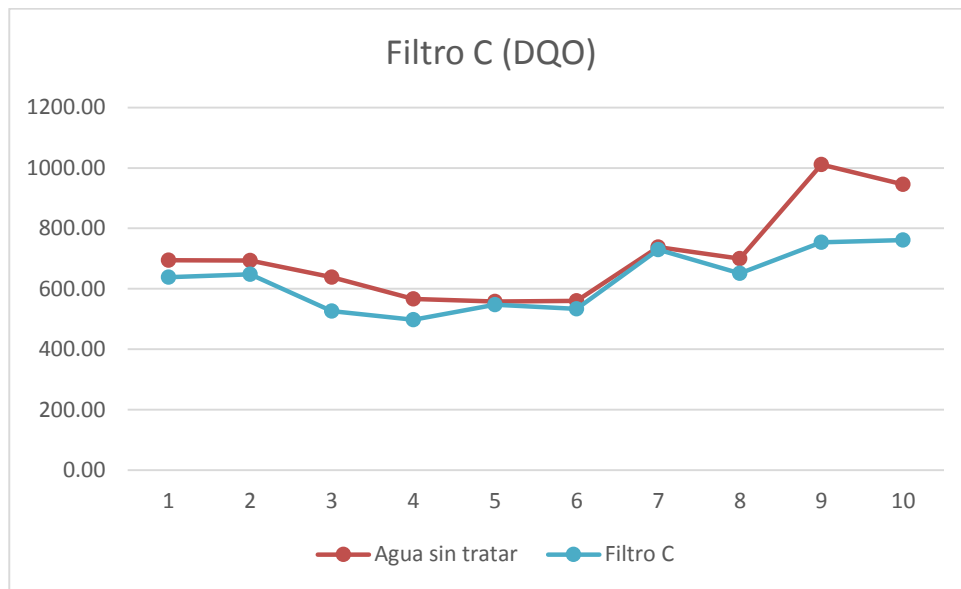
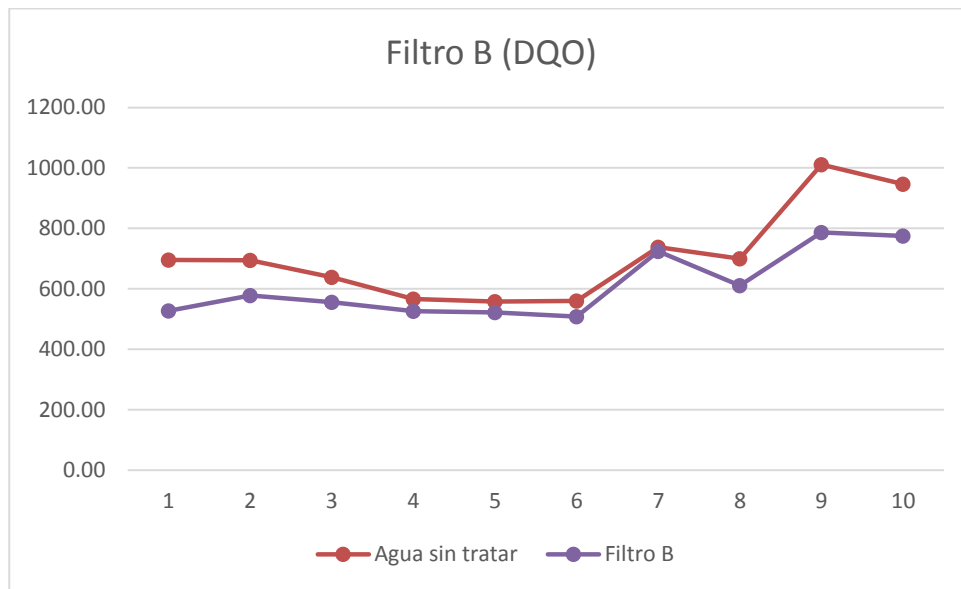


Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Demanda química de oxígeno**

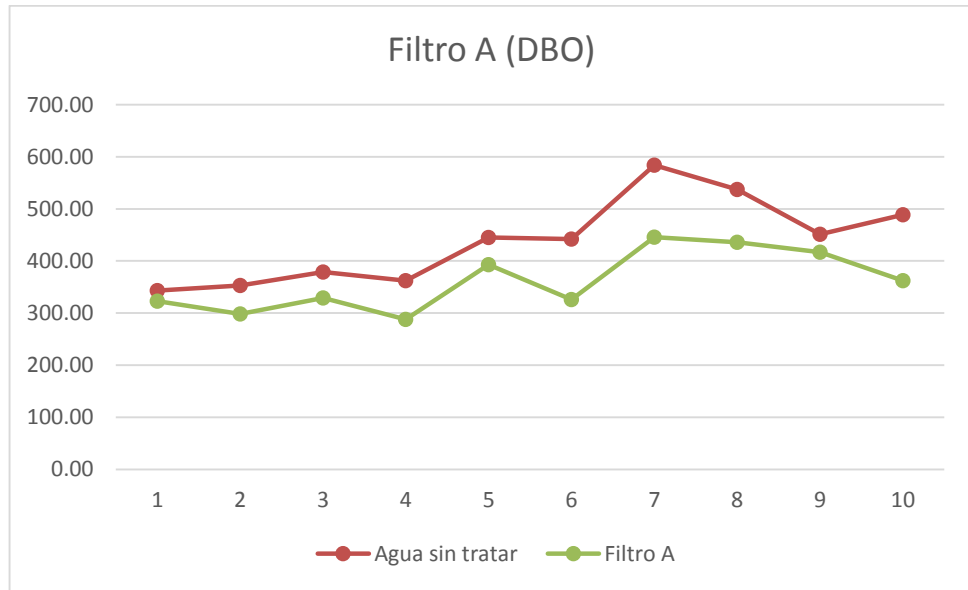


Continuación apéndice 8.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. Demanda bioquímica de oxígeno



Fuente: elaboración propia.