



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos (ERIS)

**EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO “BARREL-SYSTEM” DE 4 BARRILES PARA
LAS AGUAS GRISES DE UNA VIVIENDA Y SU REUTILIZACIÓN**

Ing. Edgar Rolando Pichiyá Umul

Asesorado por el Msc. Ing. Zenón Much Santos

Guatemala, noviembre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO “BARREL-SYSTEM” DE 4 BARRILES PARA
LAS AGUAS GRISES DE UNA VIVIENDA Y SU REUTILIZACIÓN**

ESTUDIO ESPECIAL

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

POR

ING. EDGAR ROLANDO PICHYÁ UMUL

ASESORADO POR EL MSC. ING. ZENÓN MUCH SANTOS

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE

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

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2022

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. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL

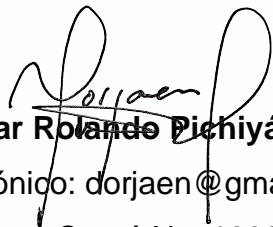
EXAMINADOR	MSc. Ing. Zenon Much Santos
EXAMINADOR	MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
EXAMINADOR	MSc. Ing. Julián Duarte

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:

EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO “BARREL-SYSTEM” DE 4 BARRILES PARA LAS AGUAS GRISES DE UNA VIVIENDA Y SU REUTILIZACIÓN

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, con fecha julio 2017.



Ing. Edgar Rolando Pichiyá Umul
Correo electrónico: dorjaen@gmail.com
Carné No: 100023561

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hídricos

Edificio de ERIS,
Instalaciones de Prefabricados, CII
Ciudad universitaria Zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C..A.

Tel. (502) 24188000,
Ext.86212 y 86213
(502) 24189138
(502) 24189140

Telfax (502) 24189124

www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala 19 de septiembre de 2022

M. Sc. Ing. Adán Pocasangre
Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos "ERIS"
Facultad de Ingeniería, USAC

Habiendo revisado el documento de titulado:

**"Evaluación del tratamiento Barrel-System de 4 barriles
para las aguas grises de una vivienda y su
reutilización".**

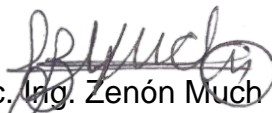
Elaborado por el Ingeniero Edgar Rolando Pichiyá Umul
como parte de su Estudio Especial, requisito previo para
optar al grado académico de Maestro en Ciencias de
Ingeniería Sanitaria.

Mediante la presente me permito informarle mi satisfacción
con su contenido, por lo tanto, le comunico que dicho
documento cuenta con mi **APROBACIÓN**.

Agradeciendo la atención prestada a la presente, me
suscribo de usted,

Atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS".


M. Sc. Ing. Zenón Much Santos
Asesor del estudio





ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA
SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Guatemala, 11 de noviembre 2022

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 coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, el informe final del Estudio Especial titulado:

**EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO “BARREL-SYSTEM” DE 4 BARRILES
PARA LAS AGUAS GRISAS DE UNA VIVIENDA Y SU REUTILIZACIÓN**

Presentado por el estudiante:

Ing. Edgar Rolando Pichiyá Umul

Les manifiesto que el 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 especial.

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

Atentamente,
“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

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

Guatemala, 14 de noviembre de 2022

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, M.Sc. Ing. Zenón Much Santos y M.Sc. Ing. Julian Antonio Duarte Jimenez, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria M.Sc Ing. Adán Ernesto Pocasangre y la revisión lingüística realizada por la Licenciada Jéssica Melgarejo Monterroso, Colegiada No. 27003, al trabajo del estudiante Ing. Edgar Rolando Pichiyá Umul titulado: **EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO “BARREL-SYSTEM” DE 4 BARRILES PARA LAS AGUAS GRISES DE UNA VIVIENDA Y SU REUTILIZACIÓN.** En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los catorce días del mes de noviembre de 2022.

Imprimase

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

DIRECTOR

ACTO QUE DEDICO A:

Mi madre

Rosa Salome Umul Yal (q. e. p. d.) por todos los esfuerzos y sacrificios para apoyarme y brindarme la oportunidad de estudiar y poder superarme.

Mi padre

Rosalio Pichiyá Chovix por trabajar siempre, por sus enseñanzas, bondad y sabiduría.

Mi familia

Que sigan luchando por sus metas.

Mis amigos

Por ser una importante influencia, anécdotas y aprendizaje en la vida, en mi carrera, entre otras cosas.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Alma mater, segundo hogar y fuente de conocimiento e inspiración.

ERIS

Por los conocimientos adquiridos.

Amigos de la ERIS

Por su aporte de ideas, conocimientos y su apoyo siempre.

Catedráticos de la ERIS

Por los conocimientos brindados.

**MSc. Ing. Zenón Much
Santos**

Por su asistencia y colaboración en la realización del presente trabajo. Y por todos los conocimientos compartidos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
JUSTIFICACIÓN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
HIPÓTESIS.....	XXI
ANTECEDENTES.....	XXIII
LIMITACIONES.....	XXXI
ALCANCES.....	XXXIII
INTRODUCCIÓN	XXXV
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Agua potable.....	1
1.2. Dotación.....	1
1.3. Caudal de aguas grises	2
1.4. Agua residual doméstica.....	2
1.4.1. Aguas negras	2
1.4.2. Aguas grises.....	2
1.5. Parámetros para analizar en laboratorio	2
1.5.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	3
1.5.2. Demanda química de oxígeno (DQO)	3
1.5.3. Sólidos suspendidos	3
1.5.4. Fósforo	4

1.5.5.	Potencial de hidrógeno (pH)	4
1.6.	Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales.....	4
1.6.1.	Acuerdo Gubernativo No. 236-2006	4
1.6.2.	Actualizaciones Acuerdo Gubernativo No. 129-2015 y Acuerdo Gubernativo No. 254-2019	5
1.7.	Parámetros de agua para reúso	5
1.7.1.	Artículo 21. Límites máximos permisibles para entes generadores nuevos	6
1.7.2.	Artículo 34 Autorización de reúso	6
1.7.2.1.	Tipo I. Reúso para riego agrícola en general	7
1.7.2.2.	Tipo II. Reúso para cultivos comestibles	7
1.7.2.3.	Tipo III. Reúso para acuicultura	7
1.7.2.4.	Tipo IV. Reúso pasto y otros cultivos	7
1.7.2.5.	Tipo V. Reúso recreativo.....	7
1.7.3.	Artículo 35. Parámetros y límites máximos permisibles para reúso	8
1.8.	Análisis estadístico para el número de muestras representativo	8
2.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	11
2.1.	Composición de aguas grises analizadas.....	11
2.2.	Exclusión de aguas grises analizadas	11
2.3.	Análisis de laboratorio propuestos.....	11
2.4.	Toma de muestras.....	11
2.5.	Cantidad de muestras.....	12
2.6.	Limitación en cantidad de muestras	12
2.7.	Limitación para no construir el prototipo de forma horizontal	12
2.8.	Construcción e implementación “Barrel-System” de 4 barriles para una vivienda	12

2.9.	Costo de construcción del sistema vertical	18
2.10.	Instalación hidráulica.....	18
2.10.1.	Bote No. 1	19
2.10.2.	Bote No. 2, No. 3, No. 4	20
2.10.3.	Válvulas para retrolavado.....	21
2.11.	Filtros	21
2.12.	Construcción, instalación e implementación	23
3.	RESULTADOS: HALLAZGOS DE LA INVESTIGACIÓN	25
3.1.	Sólidos suspendidos	25
3.2.	Interpretación del gráfico obtenido de datos experimentales para sólidos suspendidos.....	26
3.3.	Potencial de hidrógeno (Ph)	28
3.4.	Interpretación de gráfico obtenido de datos experimentales para potencial de hidrógeno (pH).....	29
3.5.	Demanda química de oxígeno (DQO).....	31
3.6.	Interpretación de gráfico obtenido de datos experimentales para demanda química de oxígeno (DQO)	32
3.7.	Demanda bioquímica de oxígeno ₅ (DBO ₅).....	34
3.8.	Interpretación de gráfico obtenido de datos experimentales para demanda bioquímica de oxígeno ₅ (DBO ₅)	35
3.9.	Fósforo total	37
3.10.	Interpretación de gráfico obtenido de datos experimentales para fósforo total	38
3.11.	Resumen de los valores obtenidos entrada vs. salida de todos los parámetros analizados.....	40
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	41

4.1.	Comparación tesis: <i>Alternativas para el tratamiento de las aguas grises de origen doméstico</i>	41
4.2.	Comparación tesis: <i>El uso de geotextiles para el tratamiento de aguas grises</i>	42
4.3.	Comparación Informe por INWRDAM	43
4.4.	Análisis de resultados para comparación de reúso	44
4.5.	Volumen para filtrar	46
4.6.	Ahorro de cantidad de agua potable.....	46
CONCLUSIONES.....		47
RECOMENDACIONES		49
REFERENCIAS		51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Número aproximado de muestras necesarias vs. s/U.....	9
2.	Esquema isométrico "Barrel-System" de 4 barriles	13
3.	Vista de planta dentro de botes No. 2, No. 3 y No. 4	14
4.	Vista perfil material filtrante implementación "Barrel-System" de 4 barriles	16
5.	Vista perfil acotado implementación "Barrel-System" de 4 barriles.....	17
6.	Instalación hidráulica dentro del bote No. 1.	19
7.	Instalación hidráulica dentro de un bote que utiliza filtro.....	20
8.	Filtro de piedrín diámetro 1/4".	22
9.	Implementación "Barrel-System" de 4 barriles.....	23
10.	Resultados entrada vs. salida sólidos suspendidos	26
11.	Eficiencia entrada y salida de sólidos suspendidos.	27
12.	Resultados entrada vs. salida potencial de hidrógeno (pH).....	29
13.	Eficiencia entrada vs. salida de potencial de hidrógeno (pH).....	30
14.	Resultados entrada vs. salida demanda química de oxígeno (DQO).....	32
15.	Eficiencia entrada vs. salida demanda química de oxígeno (DQO)	33
16.	Resultados entrada vs. salida demanda bioquímica de oxígeno ₅ - DBO ₅ -.....	35
17.	Eficiencia entrada vs. salida de demanda bioquímica de oxígeno ₅ (DBO ₅).....	36
18.	Resultados entrada vs. salida fósforo total.....	38
19.	Eficiencia entrada vs. salida de fósforo total	39

TABLAS

I.	Límites máximos permisibles y plazos establecidos.....	5
II.	Límites máximos permisibles para entes generadores nuevos.	6
III.	Parámetros y límites máximos permisibles para reúso.....	8
IV.	Resumen de materiales y costos (mayo 2022).....	18
V.	Resultados entrada vs. salida sólidos suspendidos.....	25
VI.	Resultados entrada vs. salida potencial de hidrógeno (pH).....	28
VII.	Resultados entrada vs. salida demanda química de oxígeno (DQO).	31
VIII.	Resultados entrada vs. salida demanda bioquímica de oxígeno ₅ (DBO ₅).	34
IX.	Resultados entrada vs. salida fósforo total	37
X.	Resumen de resultados entrada vs. salida	40
XI.	Comparación de resultados (Juárez, 2010)	42
XII.	Comparación de resultados (Urrutia, 2020)	43
XIII.	Resultados vs. límites máximos permisibles.....	45

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados Celsius
l	Litros
l/hab/día	Litros por habitante por día
l/s	Litros por segundo
m³/hab/año	Metros cúbicos por habitante al año
mg/l	Miligramos por litro
ml	Mililitros

GLOSARIO

Antracita	Es un excelente medio de filtración para clarificación del agua en uso potable o industrial, cuando es usada en combinación con arenas filtrantes. Es un carbón mineral, de color negro, brillante, con gran dureza, presenta mayor contenido en carbono, hasta un 95 %.
BID	Banco Interamericano de Desarrollo.
CARE	Cooperative for Assistance and Relief Everywhere (Cooperativa de asistencia y socorro en todas partes), antiguamente Cooperative for American Remittances to Europe (Cooperativa de remesas estadounidenses a Europa).
Caudal	El volumen de agua por unidad de tiempo.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)	La medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius.

Demanda química de oxígeno (DQO)	La medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius.
Desviación estándar	Es una medida que se utiliza para cuantificar la variación o la dispersión de un conjunto de datos numéricos. En otras palabras es la separación que existe entre un valor cualquiera de la serie y la media aritmética.
Dotación	Cantidad de agua asignada a un habitante por día.
ENCOVI	Encuesta Nacional de Condiciones de Vida.
Fertirriego	La práctica agrícola que permite el reúso de un efluente de aguas residuales, que no requiere tratamiento, a fin de aprovechar los diversos nutrientes que posee para destinarlos en la recuperación y mejoramiento de suelos, así como en fertilización de cultivos que no se consuman crudos o precocidos.
IARNA	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente

IDRC	International Development Research Centre. (Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Ottawa, Canadá)
INE	Instituto Nacional de Estadística.
INFOM	Instituto de Fomento Municipal.
INWRDAM	Inter-Islamic Network on Water Resources Development and Management based in Amman. (La Red Inter islámica sobre Desarrollo y Gestión de Recursos Hídricos con sede en Amman, Jordania)
Límite máximo permisible	El valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para reúso y lodos.
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
Media aritmética	Es el valor o promedio es una medida de tendencia central.
Mediana	Representa el valor de la variable de posición central en un conjunto de datos ordenados.
MENA	Middle East and North Africa. (Medio Oriente y Norte de África)

NGO	Norma Guatemalteca Obligatoria.
OMS	Organización mundial de la salud.
PVC	Policloruro de vinilo.
SEGEPLAN	Secretaría de Planificación y de Programación de la Presidencia.
UNEPAR	Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales.

RESUMEN

El propósito de la investigación es hacer conciencia del uso del agua potable en actividades de la vivienda donde no lo requieren. Es posible realizar actividades como riego de jardines, césped, lavar patios, aceras, con aguas grises ya tratadas.

Se construyó un prototipo que es una réplica de un sistema de cuatro barriles y manteniendo costos bajos para la construcción e instalación; se utilizaron materiales reciclados obteniendo un sistema eficiente para el tratamiento de aguas grises dentro de una vivienda; el cual se pretende pueda ser utilizado como ejemplo y en un futuro ser implementado en el área urbana y rural.

En el sistema fue implementado en una vivienda donde se utilizará aguas grises provenientes de un lavatrastos y una lavadora. Es un sistema de cuatro módulos que funciona en serie y de forma anaerobia, con el cual se analizó y si fue posible disminuir materia orgánica, sólidos suspendidos, entre otros parámetros. Los módulos están distribuidos de la siguiente manera: primer módulo sin filtro, segundo módulo con filtro de grava, tercer y cuarto módulos con arena antracita.

Después de instalado el sistema, se procedió varias veces a introducir las aguas grises y realizar tomas de muestras crudas (entrada), y el agua ya tratada (salida); para posteriormente analizar en el laboratorio dichas muestras del sistema implementado. Se determinó la eficiencia y la capacidad de remoción de

varios parámetros con los siguientes análisis: sólidos suspendidos totales, fósforo total, pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO). El procedimiento experimental se realizará en El Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina”.

Para analizar los datos, se compararon los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio con los límites máximos permisibles para hacer reúso de las aguas residuales establecidos en Acuerdo 236-2006. Los resultados fueron muy positivos al revelar que si es eficiente disminuyendo los parámetros evaluados y cumplir con varios tipos de reúso de las aguas grises. Se cumplió el objetivo y se concluyó que, si es posible hacer un reúso del agua gris ya tratada por el sistema “Barrel System” de 4 barriles, en actividades donde no se requiera agua potable.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Guatemala existe muy poca evidencia o implementaciones de sistemas que desde la vivienda sea posible actuar, para disminuir el uso de agua potable y la contaminación en las descargas finales, por medio de tratamientos de aguas grises. Existen sistemas económicos para el tratamiento de aguas grises y si es posible tratar las aguas grises a nivel vivienda.

Se analizará la implementación del sistema “Barrel-System” de cuatro barriles para el tratamiento de aguas grises y basándose en los parámetros máximos permisibles del reúso del agua en el Acuerdo 236-2006; para justificar su eficiencia y determinar de forma sólida el reúso de las aguas grises ya tratadas.

La finalidad del proyecto es poder determinar si al implementar el sistema para el tratamiento de aguas grises en una vivienda, dicho sistema es eficiente para disminuir los parámetros propuestos, y con ello determinar que si es posible hacer reúso de las aguas grises ya tratadas y disminuir la cantidad de agua potable utilizada en actividades donde no es necesaria.

JUSTIFICACIÓN

Con la implementación del sistema “Barrel-System” de cuatro barriles en una vivienda ha tenido muy buenos resultados en otros países. El proyecto pretende implementar y analizar este sistema para obtener información y resultados importantes de los análisis de parámetros planteados, obteniendo valores para determinar la eficiencia del sistema, para el tratamiento de aguas grises en una vivienda.

Se requiere un cambio en el uso adecuado y responsable del agua potable desde el nivel vivienda. Para prevenir la escasez y el costo de generar agua potable; en un país donde cada vez disminuye el caudal de las fuentes y se hace insuficiente debido al crecimiento poblacional.

El análisis y los resultados de este método darán un respaldo a las condiciones biológicas de salida de las aguas grises al ser tratadas con el sistema y determinar qué tan factible es reutilizarlas, comparando los resultados para establecer el cumplimiento de los límites máximos permisibles en los Acuerdos Gubernativos correspondientes para su reuso.

OBJETIVOS

General

Evaluar la eficiencia del tratamiento “Barrel-System” de 4 barriles para el tratamiento de las aguas grises de una vivienda y su reutilización.

Específicos

1. Mejorar la calidad de las aguas grises en la vivienda para su reutilización, disminuyendo la cantidad de agua potable utilizada por medio de un sistema económico.
2. Determinar la eficiencia de remoción del sistema, en base a los resultados obtenidos con las siguientes pruebas de laboratorio (entrada y salida): demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), Sólidos suspendidos totales, fosfato y potencial de hidrógeno (pH).

HIPÓTESIS

Será posible mejorar la calidad de las aguas grises en una vivienda mediante el sistema “Barrel-System” de cuatro barriles para su reúso. Comprobando con los siguientes análisis de laboratorio: sólidos suspendidos, fósforo total, potencial de hidrógeno (pH), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO). Comprobar con los límites máximos permisibles de los acuerdos gubernativos para su reúso. Con ello reutilizar el agua gris ya tratada en un 100 % para actividades donde no requiera agua potable.

Se podrá hacer reúso del agua gris ya tratada en el área rural como urbana en actividades como:

- Riego extensivo e intensivo, a manera de fertirriego, para recuperación y mejoramiento de suelos y como fertilizante en plantaciones de cultivos que, previamente a su consumo, requieren de un proceso industrial.
- Con restricciones en el riego de áreas con cultivos comestibles que se consumen crudos o precocidos, como hortalizas y frutas.
- Con restricciones en el riego de áreas de cultivos no alimenticios para el ser humano como pastos, forrajes, fibras, semillas y otros.

ANTECEDENTES

Los datos publicados por el censo del año 2018 en Guatemala, en los resultados el acceso a servicios de agua en las viviendas para obtener agua para el consumo indica que los hogares con tubería dentro de la vivienda 59 %; tubería fuera de la vivienda 14.8 %; pozos artesanales y ríos 12.2 %; lagos y manantiales 6.1 %.

En el acceso a un inodoro la cobertura es del 55.5 %, de los cuales están distribuidos de la siguiente manera: con sistema de drenaje 44.9 %; con fosa séptica 10.6%; letrinas 32.3 %; sin sanitario 4.8 %. En el manejo de las aguas grises el 49.1 % la eliminan en la red de drenajes. (Instituto Nacional de Estadística Guatemala, 2019, pp. 67- 68)

La información de los pozos mecánicos va de la mano con la recarga hídrica y la profundidad para obtener agua, lo que se menciona a continuación en el estado del área metropolitana de la ciudad de Guatemala, Mixco y Villa Nueva:

La recarga de estos acuíferos se encuentra directamente en los aforamientos fracturados y se da a través de la infiltración en las formaciones del relleno volcánico que están superpuestas a estas formaciones, propiciando la recarga de los acuíferos en calizas, que se encuentran a mayor profundidad.

Los niveles estáticos de los pozos en la zona metropolitana varían entre 25 hasta más de 600 metros de profundidad, dependiendo del acuífero o acuíferos captados. (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, 2013, pp. 110-113)

La cobertura en calidad y cantidad de agua potable en Guatemala se ha mantenido estancada o con déficit según estudios mencionados. Por lo tanto, existe escases en el servicio y se deben implementar estrategias para el uso eficaz del agua potable.

En la historia se han realizado muchas maneras y métodos para filtrar el agua para beber, el uso de filtros ha sido utilizado desde hace muchos años, dicho principio ha sido la base fundamental de los sistemas y tipos de filtros de la actualidad. Una breve historia de los filtros para agua a continuación:

En el año 2,000 a. C., la gente de la India filtraba el agua a través del carbón y la almacenaba en recipientes de cobre para mantenerla fresca. La ebullición es otro método para mejorar la calidad del agua que se ha empleado desde el comienzo de la civilización. La filtración a través de recipientes porosos e incluso la filtración con arena y grava se han prescrito durante miles de años. En sus escritos sobre higiene pública, Hipócrates (460-354 a. C.) recomendó hervir y colar el agua antes de beberla. La bolsa de tela que él recomendó para colar más tarde se conoció como "manga de Hipócrates".

Uno de los primeros pasos para purificar el agua fue la filtración. Las pinturas de una tumba egipcia construida durante el reinado de Amenofis II en el siglo XV a. C. muestran a hombres usando sifones de mecha para extraer agua

o vino sedimentado. Otra pintura en la tumba de Ramsés II, construida en el siglo XIII a. C. muestra varios sifones de mecha en una cocina egipcia.

En 1685, Luc Antonio Porzio, médico italiano, publicó la primera descripción ilustrada conocida de los filtros de arena. La guerra austro-turca de 1685 llevó a Ponzio a escribir un libro sobre la conservación de la salud de los soldados en los campos y probablemente fue el primer tratado publicado sobre el saneamiento del hombre.

Porzio propuso un sistema de filtración múltiple a través de arena, precedida de filtrado y sedimentación. Cada par consistía en un filtro de flujo descendente y un filtro de flujo ascendente. El agua entraba en el primer compartimento de sedimentación del bote a través de una placa perforada que actuaba como colador. El agua superior o más clara en el compartimento de sedimentación fluía a través de dos embudos en la parte superior de una partición, bajaba a través del primer filtro de arena, salía a través de aberturas alargadas en la parte inferior de una segunda partición y subía a través del segundo filtro de arena. Luego, el agua fluyó a través de dos pares de filtros adicionales antes de usarse. Porzio dijo que su plan era una imitación del método de la naturaleza de hacer pasar agua a través de las "entrañas de la tierra". (PennWell Magazines, 1999, pp. 9-11)

En la trayectoria para la potabilización y para obtener agua segura para el consumo humano obtenida de distintas fuentes, siguen utilizando los mismos principios filtración, sedimentación y desinfección. En la actualidad se ha replicado y mejorado los tipos de tratamientos, donde se pueden utilizar varios

procesos dependiendo las características del agua cruda y el tipo de agua de que se desea obtener para ser utilizada en distintos fines.

Un programa internacional el cual tenía el financiamiento, la idea principal se basó en un prototipo cuyo principio es la filtración, para el tratamiento de aguas grises y su reutilización en el riego de hortalizas a nivel vivienda. Para poder realizar su investigación fue implementado en Jordania.

El programa buscó las mejores condiciones para implementarlo, basándose en la situación económica, las costumbres y condiciones hidráulicas en las viviendas; con ello poder estudiar de mejor manera y como aplicarlo a cada vivienda, mantener el programa y la aceptación en su vida cotidiana.

Por otro lado, se analizaron varios prototipos y el fin fue analizar cuál de los prototipos tiene la mayor eficiencia para el tratamiento de las aguas grises y su reutilización. La metodología, logística utilizada e historia a continuación:

La Red Inter islámica sobre Desarrollo y Gestión de Recursos Hídricos con sede en Amman, Jordania ha estado involucrada desde febrero de 2000 en actividades de investigación de aguas grises en Jordania. Estas actividades fueron financiadas principalmente por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC) en Ottawa, Canadá.

Las casas en las zonas rurales de la región del Medio Oriente y Norte de África (MENA) suelen ser sencillas y esto hace posible separar las aguas grises de las aguas negras con una modificación mínima de las tuberías de alcantarillado dentro de la casa. Las aguas grises separadas de la casa se

recolectan en un punto ubicado en un lugar que está en la dirección del viento dominante para que el olor de la unidad de tratamiento se elimine de la casa.

Durante el año 2000, el IDRC apoyó a INWRDAM para realizar una evaluación integral del potencial de reutilización de aguas grises en áreas rurales de Jordania. Esta evaluación resultó en el inicio de la Fase I del proyecto de investigación de aguas grises que se implementó en Em Al-Baida, de la Gobernación de Tafila, al sur de Jordania, de mayo de 2001 a mayo de 2003. La Fase I resultó en el desarrollo y evaluación de cinco tipos diferentes de unidades de tratamiento de aguas grises en el sitio. Dos de las cinco unidades fueron seleccionadas como unidades potenciales para mejoras adicionales y ampliación. Un módulo ahora se conoce como unidad de 4 barriles y el otro se conoce como unidad de trinchera confinada. (Bino, Al-Beirut, y INWRDAM, 2007, p. 5)

La fase II del proyecto de aguas grises financiado por el IDRC comenzó en febrero de 2004 y continuó hasta octubre de 2007 y estaba ubicado en un área con escasez de agua en las aldeas de Al-Amer, en la gobernación de Karak, parte sur de Jordania, la fase II mejoró aún más los diseños y el funcionamiento de las unidades de 4 barriles y la unidad de trinchera confinada para simplificar y facilitar la limpieza de rutina, resolvió problemas con el cebado de la bomba y mejoró las prácticas agrícolas que aumentan los ingresos familiares y reducen los impactos de las aguas grises en el suelo y las plantas.

La unidad de 4 barriles consta de cuatro barriles de plástico reciclado conectados entre sí por tuberías de plástico de 3 pulgadas de diámetro. El primer barril de 50 litros de capacidad recibe las aguas grises provenientes de la casa y elimina grasas, aceites y sólidos sedimentables. Posteriormente, dos barriles de

200 litros de capacidad se conectan mediante tuberías de tal manera que las aguas grises pasan en forma de flujo ascendente a través de un lecho de grava y logran un tratamiento físico y biológico. Un último barril de 160 litros de capacidad está equipado con una pequeña bomba eléctrica y un interruptor de flotador que envía aguas grises tratadas a un sistema de riego por goteo que sirve a un pequeño jardín de árboles.

El modelo de trinchera confinada es una modificación para aumentar la carga hidráulica de la unidad de 4 barriles. La modificación se logra reemplazando el segundo y tercer barriles en la unidad de 4 barriles con una zanja excavada revestida con una gruesa lámina de plástico impermeable y de unos 3.0 metros cúbicos de capacidad rellena con un medio de grava. Luego, las aguas grises tratadas se bombean automáticamente a través de un sistema de riego por goteo hacia el jardín de una casa.

La unidad de 4 barriles cuesta alrededor de US\$ 350 y puede tratar alrededor de 150-200 litros por día de aguas grises para un hogar de 6 miembros. La unidad trinchera confinada cuesta alrededor de US\$ 500 y puede tratar de 200 a 500 litros por día de aguas grises para un hogar de 10 miembros. En ambos casos, las aguas grises tratadas son compatibles con las pautas de calidad de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para riego restringido.

El sistema de 4 barriles y el de la trinchera confinada son bien aceptados por los usuarios y pueden durar hasta diez años con poco cuidado, mantenimiento y costos mínimos de funcionamiento. La calidad de las aguas grises tratadas depende mucho de la calidad del agua sin tratar.

En el año 2003, el Ministerio de Planificación y Cooperación Internacional de Jordania financió a INWRDAM y CARE International para instalar más de 750 unidades de aguas grises del tipo de 4 barriles en más de 90 aldeas de Jordania en beneficio de familias de bajos ingresos. Esto resultó en la ampliación de las prácticas de uso de aguas grises en todas las áreas rurales de Jordania.

La fase II estaba destinada a ampliar las prácticas de uso de aguas grises a nivel comunitario, mejorar los aspectos técnicos del tratamiento de aguas grises, eliminar los obstáculos sociales e institucionales y generar impulso, acelerando así la adopción del sistema de reutilización en Jordania y en otros lugares de la región MENA. La Fase II involucró la cooperación entre investigadores de NWRDAM y de ministerios interesados clave, relacionados con aguas residuales, agricultura, desarrollo social, medio ambiente, salud pública y política socioeconómica y aspectos de planificación.

Todas las unidades de aguas grises instaladas por INWRDAM eran para uso unifamiliar y todas las aguas grises producidas se usaban en el jardín de la casa.

Muchas organizaciones en Jordania, Palestina, Líbano y Yemen ahora son conscientes del potencial del uso de aguas grises en áreas urbanas de corrales como una práctica centrada en el papel de las mujeres en la gestión del jardín doméstico y la mejora de la seguridad alimentaria para las familias pobres y como un medio para la gestión de la demanda de agua y reducción de la contaminación de los sistemas de tanques sépticos.

La fase II intenta responder preguntas de investigación relacionadas con la sustentabilidad a largo plazo de las prácticas de uso de aguas grises, la

relación costo-beneficio de los sistemas, la capacidad de los pobres urbanos para gastar sus pocos recursos financieros frente a los beneficios prometidos, los impactos en la salud, la aceptabilidad social y la confiabilidad técnica del sistema. (Bino, Al-Beirut, y INWRDAM, 2007)

Enfocándose en el volumen de las aguas grises por vivienda es considerable; en las viviendas, tanto rurales, como urbanas; las aguas grises van al sistema de alcantarillado o a sumideros, con grasas, espumas y sólidos suspendidos.

Las infraestructuras de las viviendas, urbanizaciones tanto urbanas, como rurales, o en edificios tampoco cuentan con ningún tratamiento para las aguas grises, no existe la cultura para que se implemente un reúso de las aguas grises, para disminuir la cantidad de agua potable utilizada por vivienda.

LIMITACIONES

Existen varios prototipos que han utilizado en muchos países, para realizar tratamientos de aguas grises obteniendo buenos resultados, pero el problema es la falta de información en la población, y éste sea implementado en las viviendas rurales o urbanas, en edificios y condominios, para el tratamiento y reúso de las aguas grises en actividades cotidianas como: riego en áreas verdes, lavar patios, lavar aceras, entre otros donde no se requiera agua potable. Lo que ocasiona una falta de interés por las personas para adoptar un sistema de tratamiento de aguas grises y poder reutilizarla.

La falta de infraestructura y espacio en las viviendas, edificios y condominios, donde es más difícil implementar los sistemas para el tratamiento de aguas grises y su reutilización. Esto ocasiona mucho costo de inversión para poder implementarlo.

Para implementarse el sistema se debe realizar: modificación del sistema de drenaje el cual debe ser separado para aguas negras y aguas grises, el espacio para instalar el tratamiento, así como un sistema de bombeo de ser necesario, porque el tratamiento “Barrel-System” funciona por gravedad.

Una de las limitaciones en el estudio es que, se utilizó un tamaño estadístico representativo de un muestreo de 10 análisis en la entrada y 10 en la

salida, lo que es válido según el *Método 1060B* indicado en *Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales*.

Otra limitación del estudio es que no se encuentra información de estudios o investigaciones de haber utilizado arena antracita como filtro para aguas grises, en este tipo de sistema.

ALCANCES

En el estudio se realizaron 10 muestreos en la entrada y 10 en la salida, según el *Método 1060B* indicado en *Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales* es una toma de muestra estadística representativa y tiene una confianza del 95 %. Se utilizaron las aguas grises provenientes de una lavadora y lavatrastos de una vivienda rural. Utilizando como base dichos parámetros se obtuvieron los resultados, estos fueron tabulados y analizados con respecto a los parámetros establecidos en el acuerdo 236-2006 y sus actualizaciones, para el reúso de las aguas grises.

No fue posible implementar el sistema en otras viviendas, ni para analizar varias viviendas juntas por un mismo sistema, debido al costo del prototipo; así como al apoyo, interés, condiciones hidráulicas y espacio.

Por el alto costo de los reactivos para los análisis respectivos en el laboratorio, solo se tomaron en cuenta ciertos parámetros establecidos en el estudio.

Para implementar el sistema de drenaje de una vivienda debe estar separado aguas grises de aguas negras, así como debe ser acondicionado en la parte final de desfogue para adaptar el tratamiento Barrel-System de 4 barriles, el cual funciona por gravedad. Puede ser útil aplicado en filtraciones para césped, en jardines o árboles. Si se requiere para otro tipo de actividades es necesario utilizar un sistema de bombeo para utilizar el agua ya tratada. Por esas razones

y los costos que implica el interés y gastos influyen en el alcance de implementación.

INTRODUCCIÓN

El estudio es una evaluación de un sistema para tratamiento de aguas grises llamado Barrel-System de 4 barriles, por los cuales se hace pasar las aguas grises por el sistema que es anaerobio, donde se pretende que disminuya la cantidad de materia orgánica, grasas entre otros parámetros requeridos, para determinar qué tipo de reuso se le puede dar a las aguas grises ya tratadas.

Se analizó dicho sistema porque en Guatemala la mayoría de las fuentes de agua para abastecer a la población se encuentran contaminadas, algunas se han secado y otras han disminuido considerablemente su caudal. En el caso de los pozos mecánicos cada vez se debe profundizar más para encontrar agua y los costos de bombeo son mayores. La población no tiene cultura ni conciencia en cuidar el agua y utilizarla en forma adecuada, no se preocupan ni saben lo invaluable que es tener agua potable en sus hogares.

Utilizando el sistema Barrel-System de 4 barriles las aguas grises ya tratadas, se analizan y evalúan parámetros específicos, para determinar si cumple con los parámetros requeridos y verificar si es posible hacer un reuso de ellas, logrando demostrar que si es posible mejorar la calidad de las aguas grises y plantear que si se puede disminuir la cantidad de agua potable utilizada en actividades de la vida cotidiana como lo son: riego de jardín, césped, lavar el patio y acera.

Esto podría ser implementado en cada vivienda; pensando en una mayor cantidad de aguas grises a manejar se puede implementar sistemas de

tratamiento de aguas grises a mayor escala utilizando el mismo principio en condominios y edificios.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Agua potable

Se denomina al agua que puede ser consumida sin limitación para beber o preparar alimentos. En Guatemala los parámetros de calidad del agua son los contenidos en la norma COGUANOR NG0 29001.

1.2. Dotación

Es la cantidad de agua asignada a un habitante en un día en una población. Comúnmente se expresa en litros por habitante por día (l/hab./día). Se consideran los factores: clima, nivel de vida, actividad productiva, abastecimiento privado, servicios comunales o públicos, facilidad de drenaje, calidad del agua, medición, administración del sistema y presiones de este.

Para fijar la dotación se tomarán en cuenta estudios de demanda para la población o de poblaciones similares, si los hubiere. A falta de éstos se tomará en cuenta los siguientes valores:

- Servicio exclusivo de conexiones prediales fuera de la vivienda: 60 a 120 l/hab/día.
- Servicio de conexiones intradomiciliarias con opción a varios grifos por vivienda de 90 a 170 l/hab/día.
- Servicio de conexiones intradomiciliarias con opción a varios grifos por vivienda de 170 a 300 l/hab/día. En cascos urbanos.

(Instituto de Fomento Municipal [INFOM] y Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales [UNEPAR], 1997, p. 21)

1.3. Caudal de aguas grises

Para disminuir gastos en modificación de las instalaciones hidráulicas del drenaje, se obtuvieron las aguas grises provenientes de una lavadora y un lavatrastos, de una vivienda urbana con 3 habitantes. Se midió el caudal en forma volumétrica, dando como resultado un consumo promedio de 120 litros al día.

1.4. Agua residual doméstica

Son los líquidos provenientes de las viviendas, edificios comerciales, institucionales y educativos.

1.4.1. Aguas negras

Agua residual proveniente de inodoros, contiene excremento humano, orina. Contienen sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales.

1.4.2. Aguas grises

“Provenientes de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras. Contienen sólidos suspendidos, fósforo y grasas” (Rojas, 1999, p. 17).

1.5. Parámetros para analizar en laboratorio

Para determinar la eficiencia del sistema se propusieron varios análisis de laboratorio, tanto en el ingreso, como en la salida, para con ello fundamentar que

si es posible reciclar y reutilizar sin ningún problema las aguas grises ya tratadas se realizaron los siguientes laboratorios:

1.5.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Es el parámetro de contaminación orgánica aplicable para aguas residuales como para aguas superficiales. La determinación de este está relacionada con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. (METCALF y EDDY, INC., 1991, p. 80)

1.5.2. Demanda química de oxígeno (DQO)

Es un parámetro que se utiliza para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente, por lo regular se utilizan dicromato de potasio. Y este parámetro es utilizado para determinar la concentración orgánica en aguas residuales, industriales, municipales, entre otros. (Rojas, 1999, p. 54)

1.5.3. Sólidos suspendidos

Son los sólidos no disueltos y son medidos con la diferencia entre los sólidos totales de la muestra no filtrada y los sólidos totales de la muestra filtrada. Tienen un tamaño mayor a 1.2 micrómetros que es el tamaño nominal de los filtros de fibra de vidrio, que se utilizan para realizar la separación. (Rojas, 1999, p. 68)

1.5.4. Fósforo

“En las aguas residuales domésticas el contenido de fósforo oscila entre 6 y 20 mg/l; las formas más usuales son los ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos” (Rojas, 1999, p. 58).

1.5.5. Potencial de hidrógeno (pH)

Es un valor el cual representa la medida de concentración del ion hidrógeno en el agua. El valor adecuado del pH para distintos tratamientos y procesos de aguas residuales oscila entre 6.5 a 8.5. Entre las reacciones que ocurren en sistemas biológicos y producen disminución del valor del pH son: destrucción de alcalinidad cáustica por producción bioquímica; oxidación bioquímica de sulfuros; nitrificación; producción de ácidos orgánicos. (Rojas, 1999, pp. 66-67)

1.6. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales

Fue creado con la finalidad de establecer los criterios, límites permisibles y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reúso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos. Lo anterior con el propósito de prevenir el impacto adverso del ambiente, mantener el equilibrio ecológico y propiciar el mejoramiento progresivo de la calidad de las aguas y así contribuir a la sostenibilidad del recurso hídrico. (Consortium, 2021)

1.6.1. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006

Que por imperativo constitucional el Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga el impacto adverso del ambiente y

mantenga el equilibrio ecológico; para lo cual es necesario dictar normas que garanticen la utilización y el aprovechamiento racional de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, evitando su depredación. (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Guatemala, C.A. [MARN], 2006, p. 1)

1.6.2. Actualizaciones Acuerdo Gubernativo No. 129-2015 y Acuerdo Gubernativo No. 254-2019

Dicta los límites máximos permisibles de descarga a cuerpos receptores para aguas residuales municipales y urbanizaciones no conectadas al alcantarillado público. Cuya actualización del acuerdo gubernativo 236-2006, queda de la siguiente manera. (MARN, 2019, p. 2)

Tabla I. Límites máximos permisibles y plazos establecidos

		FECHA MÁXIMA DE CUMPLIMIENTO		
		DOS DE MAYO 2024	DOS DE MAYO 2028	TRES DE MAYO 2032
		ETAPA		
PARÁMETROS	DIMENSIONALES	UNO	DOS	TRES
Temperatura	°C	TCR +/-7	TCR +/-7	TCR +/-7
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	250	100	100
Sólidos Suspendidos	mg/l	275	200	100
Fósforo total	mg/l	40	20	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9

Fuente: MARN (2019). Acuerdo Gubernativo No. 254-2019.

1.7. Parámetros de agua para reúso

Para poder reutilizar las aguas ya tratadas existen parámetros y artículos según el Acuerdo Gubernativo 236-2006 proporcionados por el MARN (2006).

1.7.1. Artículo 21: límites máximos permisibles para entes generadores nuevos

En la siguiente tabla se presentan los límites máximos permisibles para entes generadores nuevos establecidos en el Artículo 21.

Tabla II. Límites máximos permisibles para entes generadores nuevos

PARÁMETROS	DIMENSIONALES	LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
Temperatura	°C	TCR +/-7
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	200
Sólidos Suspendidos	mg/l	100
Fósforo total	mg/l	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9

Fuente: MARN (2006). *Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.*

1.7.2. Artículo 34. Autorización de reúso

En este artículo se describen los diferentes tipos de reúso permitido a las aguas residuales, así como sus límites permisibles dependiendo el uso.

1.7.2.1. Tipo I. Reúso para riego agrícola en general

Uso de un efluente que debido a los nutrientes que posee se puede utilizar en el riego extensivo e intensivo, a manera de fertirriego, para recuperación y mejoramiento de suelos y como fertilizante en plantaciones de cultivos que, previamente a su consumo, requieren de un proceso industrial, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35. Se exceptúa de este reúso los cultivos considerados en el tipo II.

1.7.2.2. Tipo II. Reúso para cultivos comestibles

Con restricciones en el riego de áreas con cultivos comestibles que se consumen crudos o precocidos, como hortalizas y frutas. Para el caso de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno, deberá cumplirse de conformidad con los límites máximos permisibles del artículo 35. Adicionalmente, para otros parámetros, deberán cumplir los límites máximos permisibles presentados en el cuadro del artículo 21, a excepción de sólidos en suspensión, nitrógeno y fósforo total.

1.7.2.3. Tipo III. Reúso para acuacultura

Uso de un efluente para la piscicultura y camaronicultura, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

1.7.2.4. Tipo IV. Reúso pasto y otros cultivos

Con restricciones en el riego de áreas de cultivos no alimenticios para el ser humano como pastos, forrajes, fibras, semillas y otros, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

1.7.2.5. Tipo V. Reúso recreativo

Con restricciones en el aprovechamiento para fines recreativos en estanques artificiales donde el ser humano sólo puede tener contacto incidental, incluido el riego en áreas verdes, donde el público tenga contacto o no, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

Cualquier otro reuso no contemplado en el presente artículo deberá ser autorizado previamente por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (MARN, 2006, pp. 16-17)

1.7.3. Artículo 35. Parámetros y límites máximos permisibles para reuso

Para los distintos tipos de reuso de aguas residuales deben cumplir con los siguientes parámetros:

Tabla III. Parámetros y límites máximos permisibles para reuso

TIPO DE REÚSO	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (mg/l)	COLIFORMES FECALES (número más probable por 100 ml)
TIPO I	No aplica	No aplica
TIPO II	No aplica	< 2x10 ²
TIPO III	200	No aplica
TIPO IV	No aplica	< 1x10 ³
TIPO V	200	< 1x10 ³

Fuente: MARN (2006) Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

1.8. Análisis estadístico para el número de muestras representativo

Para determinar el número de muestras para evaluar el sistema, se tomaron en dos puntos (entrada y salida) se determinó con respecto al Método 1060B indicado en Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Se utilizaron las curvas de niveles de confianza de la figura 1060:1 de dicho método.

$$N \geq \left(\frac{ts}{U} \right)^2$$

Donde

N = número de muestras

t = es la t de *student* para un nivel de confianza determinado

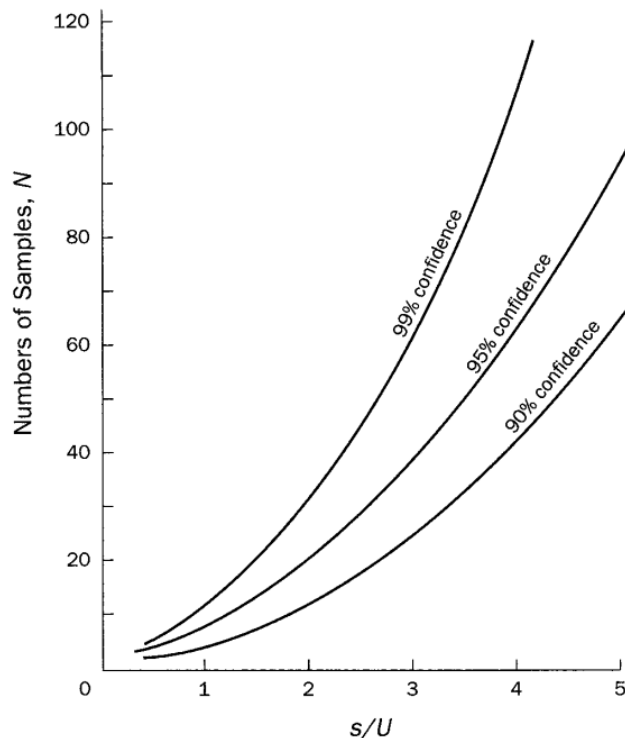
s = desviación estándar global

U = nivel de confianza aceptable

Utilizando los valores experimentales para $s=0.02$ y $U=0.015$, se obtiene el siguiente resultado en la relación para $s/U=1.33$.

Para determinar el número de muestras se debe de plotear el valor de la relación $s/U=1.33$ en la Figura No. 1, utilizando la curva con un nivel de confianza del 95 %, se obtiene que el número de muestras a realizar debe ser igual o mayor a 10. (American Public Health Association, American Water Works Association y Water Environment Federation, 2018, p. 52)

Figura 1. **Número aproximado de muestras necesarias vs. s/U**



Fuente: American Public Health Association., American Water Works Association., y Water Environment Federation. (2018). *Standard methods for the examination of water and wastewater.*

2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Composición de aguas grises analizadas

Las aguas grises analizadas provienen de una lavadora y un lavatrastos, los cuales se reunieron en un recipiente para crear una mezcla uniforme, la composición de materia orgánica e inorgánica de cada elemento es: lavatrastos contiene residuos de comida, aceites, grasas, jabón en pasta para trastos. Lavadora contiene residuos de ropa (pelusa) y cabello, jabón líquido para ropa.

2.2. Exclusión de aguas grises analizadas

No fueron tomadas las aguas grises provenientes de la ducha, así como de la pila, la razón principal fue el costo de inversión para separar los drenajes dentro de la vivienda.

2.3. Análisis de laboratorio propuestos

Los parámetros propuestos son en base a los que se comparan en el acuerdo para descarga y reúso. Entre los cuales se trabajaron: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Sólidos suspendidos, fósforo total, potencial de hidrógeno (pH).

2.4. Toma de muestras

Las muestras fueron tomadas en el recipiente donde se creó la mezcla uniforme de las aguas grises provenientes de la lavadora y lavatrastos, se consideró como la entrada; la muestra de salida fue tomada desde el último bote,

donde ya había pasado por todo el sistema. La cantidad tomada en cada muestra fue de un litro, en recipientes plásticos limpios de impurezas. Fueron almacenadas en refrigeración previo a realizar los ensayos correspondientes.

2.5. Cantidad de muestras

Se determinó de acuerdo con el método 1060B indicado en Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Se utilizó la curva de niveles de confianza de la figura 1060:1 de dicho método, en el cual se obtuvo la cantidad de 10 muestras, con una confianza del 95 %. Por lo que se realizaron 10 muestras para la entrada y 10 muestras para la salida.

2.6. Limitación en cantidad de muestras

El monto para comprar reactivos para determinar los diferentes parámetros de cada muestra fue el principal problema por lo que delimito a un nivel de confianza del 95 %.

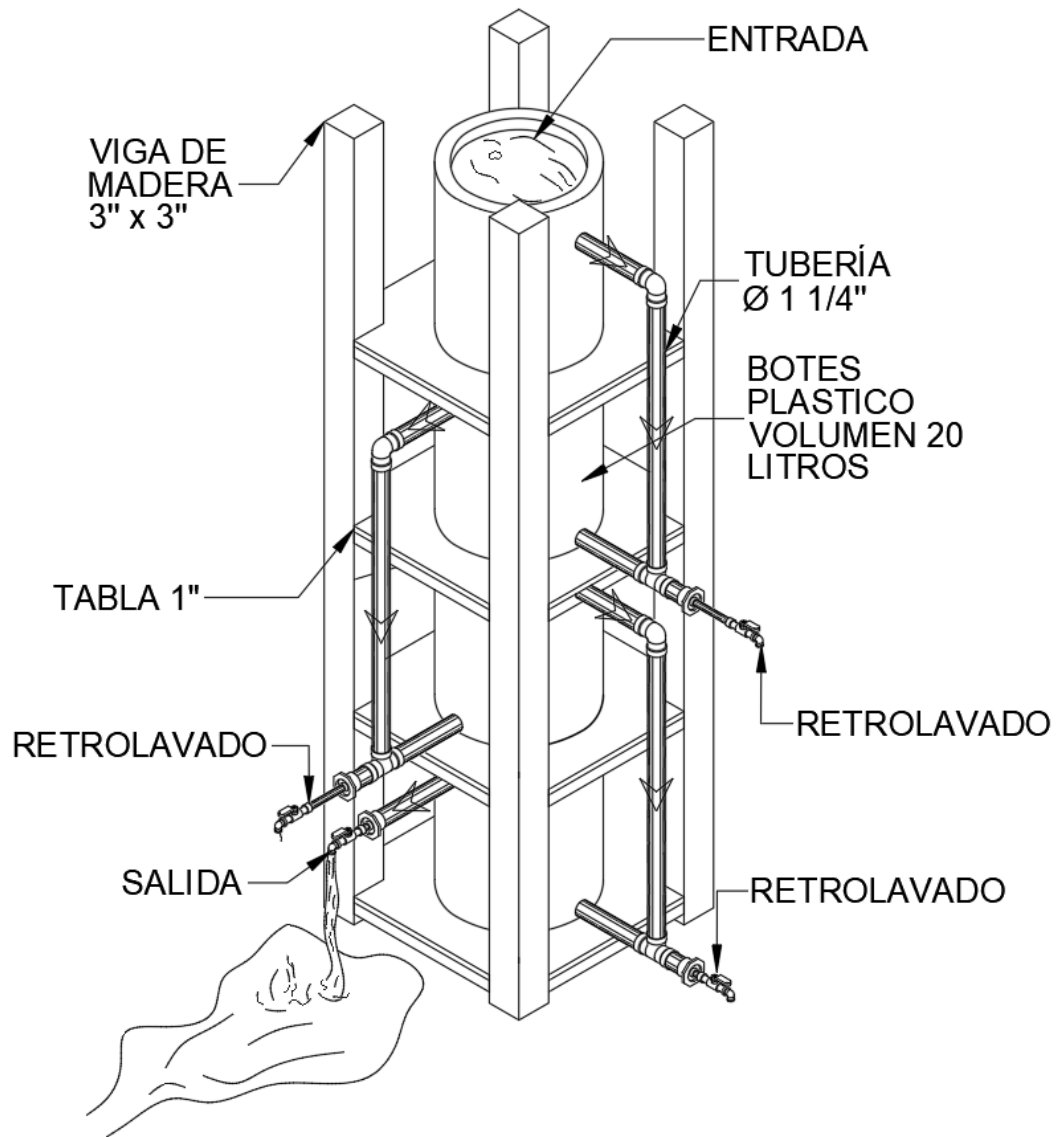
2.7. Limitación para no construir el prototipo de forma horizontal

El espacio requerido para construir el sistema en forma horizontal dentro de la vivienda era insuficiente, por lo que se conservó el principio, el tipo de sistema, pero construyéndolo de forma vertical.

2.8. Construcción e implementación “Barrel-System” de 4 barriles para una vivienda

Partiendo de las condiciones hidráulicas y el espacio insuficiente se construyó el sistema de forma vertical, cuyo problema es el llenado o ingreso del agua gris cruda, que es de forma manual, como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Esquema isométrico “Barrel-System” de 4 barriles

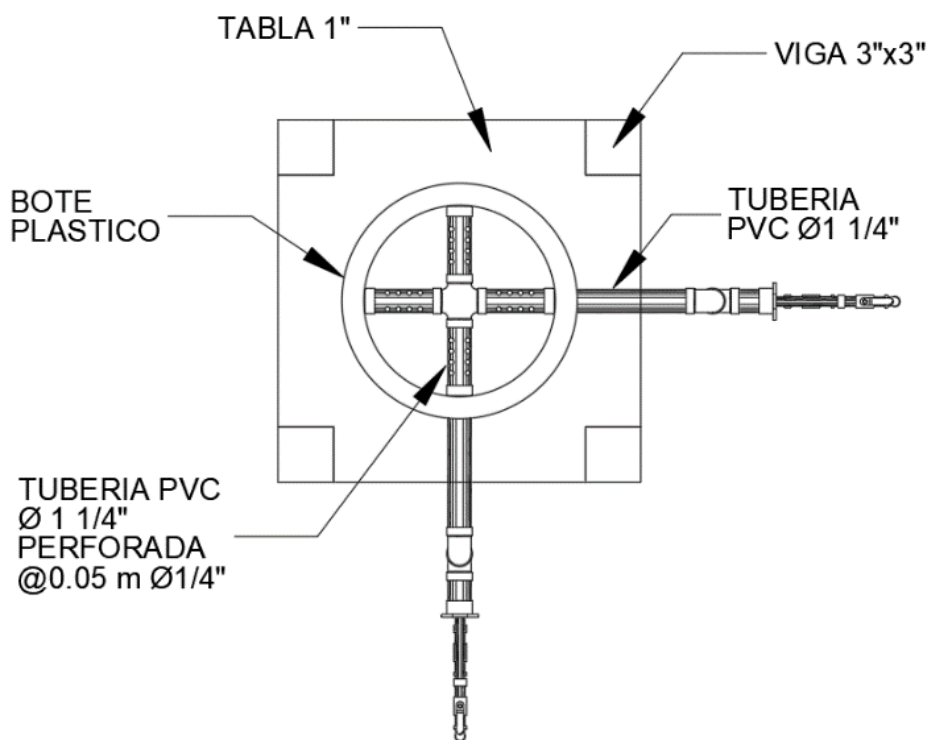


Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.

El sistema funciona de forma anaerobia, el ingreso del flujo es de forma ascendente, para controlar el ingreso del flujo se construyó una cruz y colocaron tapones en la parte final de los tubos, se perforaron los tubos con agujeros de diámetro 1/16", para que sea una distribución homogénea.

Los botes No. 3 y No. 4 tienen filtro de arena antracita, pero por el diámetro de esta, se colocó una pequeña capa de piedrín de diámetro $\frac{1}{4}$ ", de 3 centímetros de espesor, para que no se obstruyera la entrada. Como se muestra en la figura No. 3.

Figura 3. **Vista de planta dentro de botes No. 2, No. 3 y No. 4**



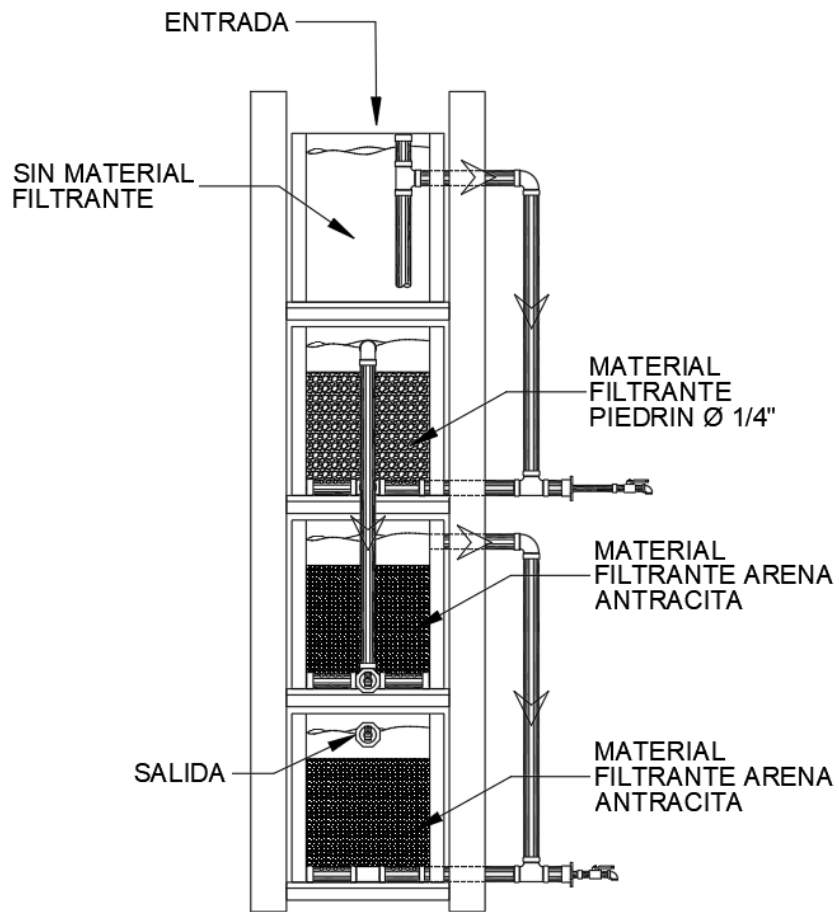
Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.

El mecanismo de funcionamiento es por gravedad y funciona de la siguiente manera: el flujo de salida de cada bote siempre sale en la parte superior e ingresa en la parte inferior.

Para evitar colmatación de materia orgánica, películas de microorganismos y algas en el material filtrante, se utilizó la misma tubería de

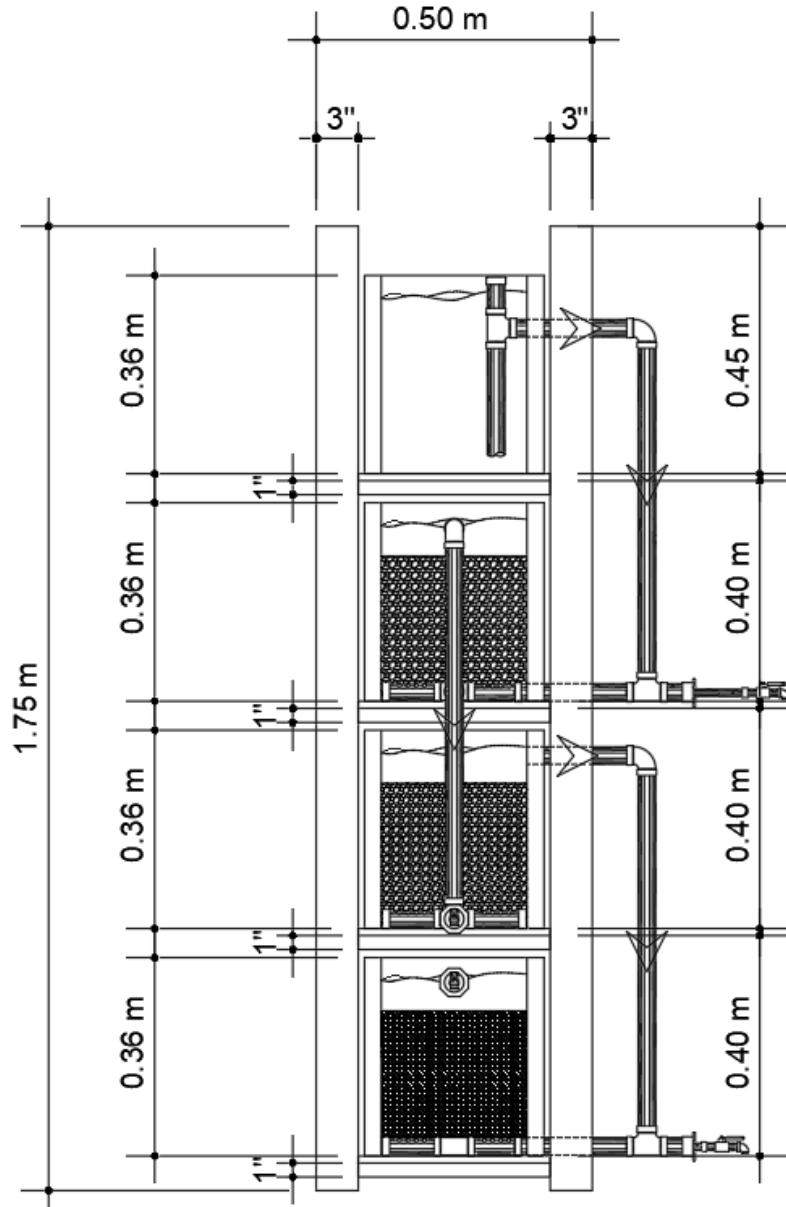
ingreso y en la parte inferior, se colocaron tuberías con válvulas de bola estas permanecen cerradas para que no afecte al circuito del sistema. Se utilizan como retrolavado para vaciar los botes cuando no se esté utilizando el sistema, con ello se evitan malos olores por acumulación de aguas grises y también para evitar obstrucciones en la tubería de ingreso. Como se muestra en la figura 4.

Figura 4. **Vista perfil material filtrante implementación "Barrel-System" de 4 barriles**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.

Figura 5. Vista perfil acotado implementación “Barrel-System” de 4 barriles



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.

2.9. Costo de construcción del sistema vertical

La implementación del prototipo “Barrel-System” se construyó con los materiales que se podían reutilizar, el espacio disponible y con las instalaciones hidráulicas de la vivienda modificándolas lo menos posible. A continuación, el cuadro resumen para los materiales utilizados, se colocan dos columnas debido a que dichos materiales fueron reutilizados.

Tabla IV. **Resumen de materiales y costos (mayo 2022)**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO NUEVO	COSTO RECICLADO
Tabla 1"x1"x10'	1	Q. 75.00	Q. 0.00
Paral 3"x3"x8'	3	Q. 150.00	Q. 0.00
Clavo 3"	1	Q. 7.50	Q. 7.50
Bote 20 litros	4	Q. 124.00	Q. 0.00
Tubería PVC \varnothing 1 ¼"	1	Q. 56.50	Q. 56.50
Codo 90° PVC \varnothing 1 ¼"	3	Q. 18.75	Q. 18.75
Tee PVC \varnothing 1 ¼"	6	Q. 48.00	Q. 48.00
Cruz PVC \varnothing 1 ¼"	3	Q. 78.00	Q. 78.00
Reducidor Bushing PVC \varnothing 1 ¼" x ½"	3	Q. 15.00	Q. 15.00
Tapón Hembra PVC \varnothing 1 ¼"	9	Q. 36.00	Q. 36.00
Grifo PVC \varnothing ½"	3	Q. 64.50	Q. 64.50
Pegamento para PVC	1	Q. 35.50	Q. 35.50
Tubo de silicona para fugas	2	Q. 90.00	Q. 90.00
Piedrín \varnothing ¼"	1	Q. 60.00	Q. 60.00
Arena Antracita	1	Q. 550.00	Q. 00.00
TOTAL		Q.1,408.75	Q. 509.75

Fuente: elaboración propia.

2.10. Instalación hidráulica

El mecanismo hidráulico de la implementación “Barrel-System”, por tener poco espacio y realizarlo de forma vertical, se diseñó aprovechando la fuerza de gravedad para realizar la una filtración ascendente. El sistema se compone por 4 botes, los cuales se describen a continuación:

2.10.1. Bote No. 1

El bote superior no lleva filtro esté funciona como una trampa para grasas, aparte quedan algunos sólidos suspendidos, el ingreso de las aguas grises es de forma manual. La salida al bote No. 2 se colocó una tee, un tapón y un tubo para que el flujo entre en la parte baja y no permia entrar el material flotante y las partículas livianas. En la figura 6, se muestra el bote No. 1.

Figura 6. **Instalación hidráulica dentro del bote No. 1**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pichiyá]. (Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

2.10.2. Bote No. 2, No. 3, No. 4

Utilizando la gravedad el ingreso a estos botes de las aguas grises siempre es por la parte de abajo, por lo que dentro de estos barriles se construyó una cruz con tubos perforados con agujeros de diámetro 1/16" y tapones al final para disminuir la cantidad y la velocidad del caudal que pase por los filtros. La salida es por la parte de arriba donde se instaló una Tee para disminuir la cantidad de materia flotante que pueda pasar al siguiente bote o salida final. Como se muestra en la figura No. 7.

Figura 7. **Instalación hidráulica dentro de un bote que utiliza filtro**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pichiyá]. (Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

2.10.3. Válvulas para retrolavado

Estas válvulas van instaladas en la parte baja de cada bote, la función principal es para extraer el agua por ese lugar si se obstruyeran las perforaciones de los tubos y como los botes se encuentran en serie afectaría el sistema. También se utilizaría cuando el material filtrante tenga una película de partículas y que no esté funcionando correctamente, por esas válvulas se pueden abrir y extraer de manera más sencilla la materia orgánica acumulada.

2.11. Filtros

Se utilizaron filtros basados en “Barrel-System” que se trata de un sistema económico. Se realizó una prueba piloto donde se utilizó filtro de piedrín de diámetro $\frac{3}{4}$ ”, los resultados eran poco evidentes, disminuía poca la turbiedad y pasaba muy rápido el agua por el sistema. Basado en esto se le propuso al asesor MSc. Ing. Zenón Much utilizar otro tipo de filtro más pequeño, por lo que se utilizó piedrín de diámetro $\frac{1}{4}$ ” y arena antracita reutilizada de la planta de tratamiento para agua potable Lo de Coy. Quedando el bote No. 2 con piedrín de diámetro $\frac{1}{4}$ ” y el bote 3 y 4 con arena antracita.

La preparación del material utilizado como medio filtrante requiere varios lavados con abundante agua, porque el piedrín y la arena antracita vienen con muchas partículas pequeñas, suelo y arenas, se deben realizar varias lavadas con abundante agua y deben ser las necesarias hasta que el agua del lavado salga clara y tenemos la certeza que no existen sólidos suspendidos extras, lo cual es necesario para tener resultados con mayor certeza. En la figura 8 se muestra el filtro de piedrín de diámetro $\frac{1}{4}$ ” lavado y sin materiales extras.

Figura 8. **Filtro de pedrín diámetro 1/4"**



Fuente: [Fotografía de Edgar Pichiyá]. (Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

2.12. Construcción, instalación e implementación

Para la estructura que contiene el sistema, se utilizó madera, clavos, botes de pintura limpios sin ningún residuo de pintura, tubería y accesorios PVC de 1 ¼", pegamento PVC.

Figura 9. Implementación "Barrel-System" de 4 barriles



Fuente: [Fotografía de Edgar Pichiyá]. (Guatemala. 2021). Colección particular. Guatemala.

3. RESULTADOS: HALLAZGOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los puntos de análisis de la calidad de las aguas grises fueron la entrada y salida del prototipo construido del sistema propuesto “Barrel-System” de 4 barriles. A continuación, se muestran los resultados experimentales obtenidos en el: Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina”.

3.1. Sólidos suspendidos

A continuación, se presenta la tabla V con los resultados entrada vs. Salida de sólidos suspendidos.

Tabla V. **Resultados entrada vs. salida sólidos suspendidos**

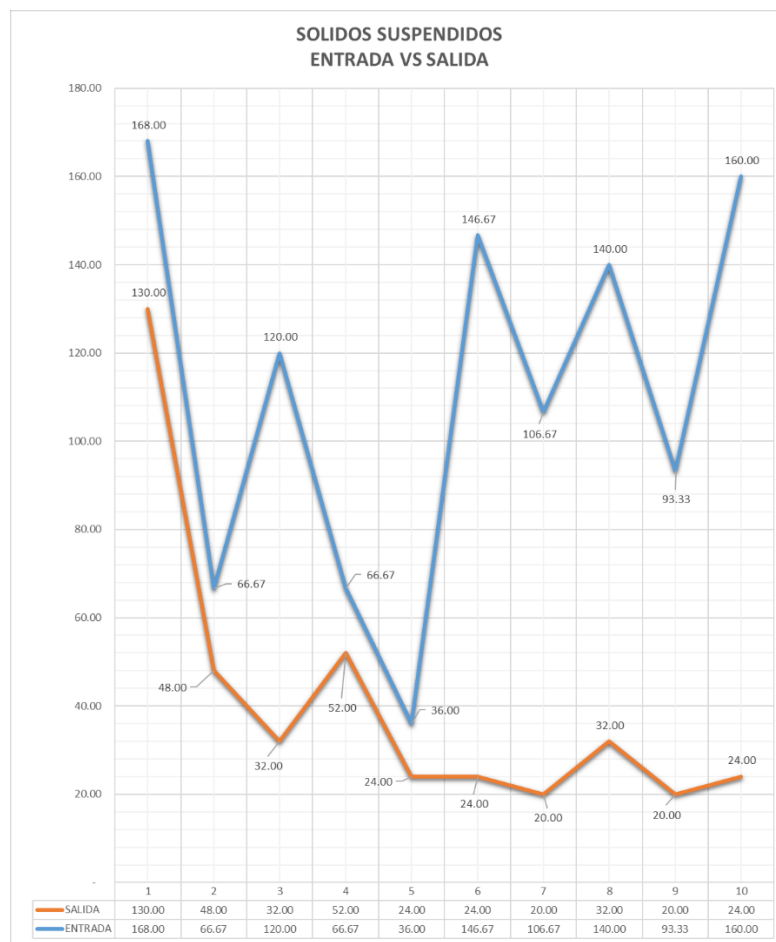
No.	ENTRADA (mg/l)	SALIDA (mg/l)	EFICIENCIA ENTRADA VS SALIDA (%)
1	168	130	23 %
2	67	48	28 %
3	120	32	73 %
4	67	52	22 %
5	36	24	33 %
6	147	24	84 %
7	107	20	81 %
8	140	32	77 %
9	93	20	79 %
10	160	24	85 %
MEDIA ARITMÉTICA	110	41	58 %
MEDIANA	113	28	75 %
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	44	33	28 %
VALOR MÍNIMO	36	20	22 %
VALOR MÁXIMO	168	130	85%

Fuente: elaboración propia.

3.2. Interpretación del gráfico obtenido de datos experimentales para sólidos suspendidos

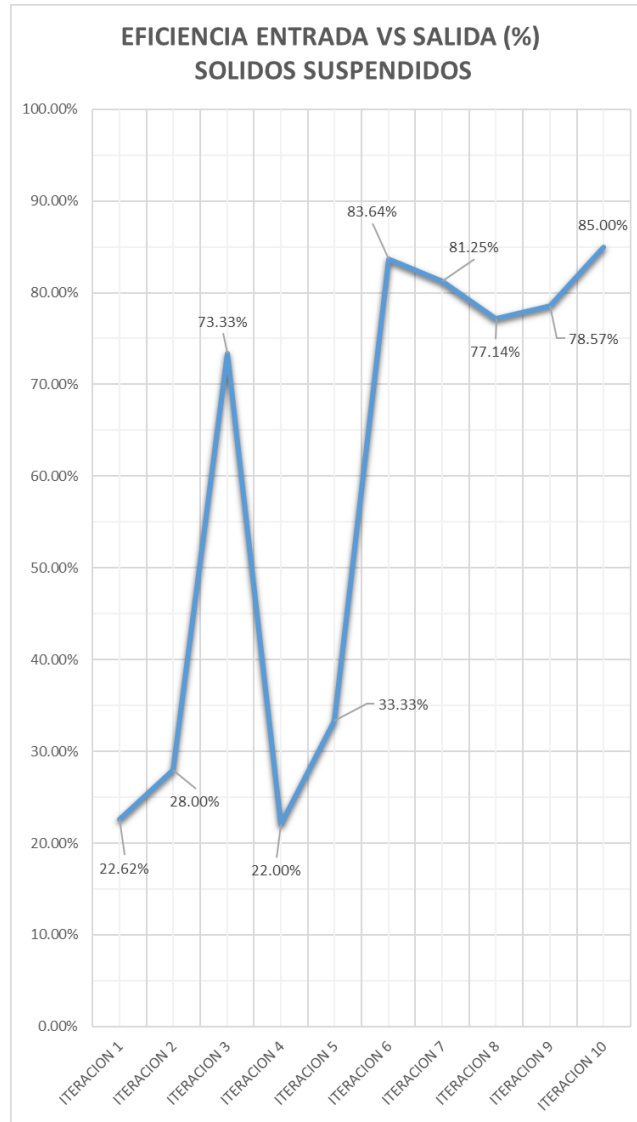
En la siguiente figura se presenta la interpretación del gráfico con los resultados de entrada vs. Salida de sólidos suspendidos.

Figura 10. Resultados entrada vs. salida sólidos suspendidos



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Eficiencia entrada y salida de sólidos suspendidos**



Fuente: elaboración propia.

Según los datos experimentales obtenidos expresados en las gráficas anteriores, para Sólidos Suspendidos se puede determinar que si es eficiente el sistema para la remoción de estos. Comparando los valores de entrada versus salida, queda una eficiencia con un valor mínimo de 22 %, un promedio de 58 % y un valor máximo de 85 %.

3.3. Potencial de hidrógeno (pH)

En la siguiente tabla se presentan los resultados de entrada vs. la salida potencial de hidrógeno.

Tabla VI. **Resultados entrada vs. salida potencial de hidrógeno (pH)**

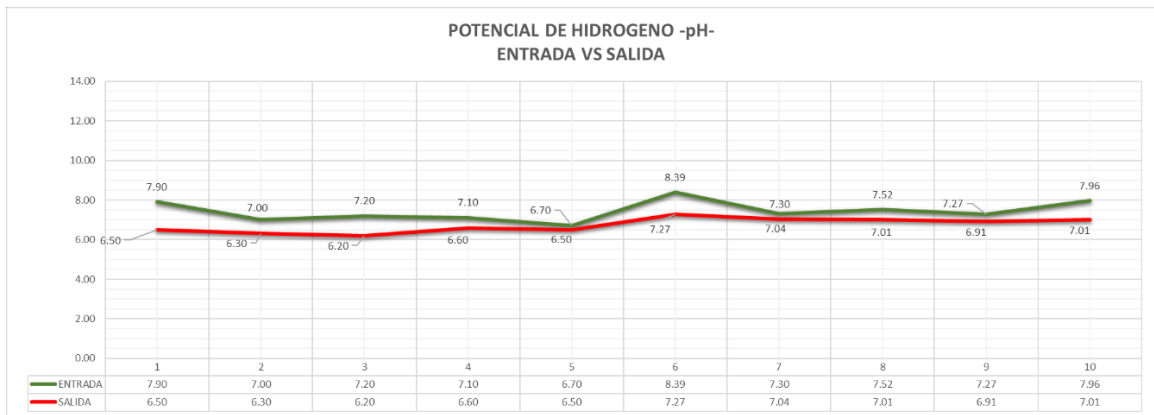
No.	ENTRADA (unidades pH)	SALIDA (unidades pH)	EFICIENCIA ENTRADA VS SALIDA (%)
1	7.9	6.5	18 %
2	7.0	6.3	10 %
3	7.2	6.2	14 %
4	7.1	6.6	7 %
5	6.7	6.5	3 %
6	8.4	7.3	13 %
7	7.3	7.0	4 %
8	7.5	7.0	7 %
9	7.3	6.9	5 %
10	8.0	7.0	12 %
MEDIA ARITMÉTICA	7.4	6.7	9 %
MEDIANA	7.3	6.8	9 %
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.5	0.4	5 %
VALOR MÍNIMO	6.7	6.2	3 %
VALOR MÁXIMO	8.4	7.3	18 %

Fuente: elaboración propia.

3.4. Interpretación de gráfico obtenido de datos experimentales para potencial de hidrógeno (pH)

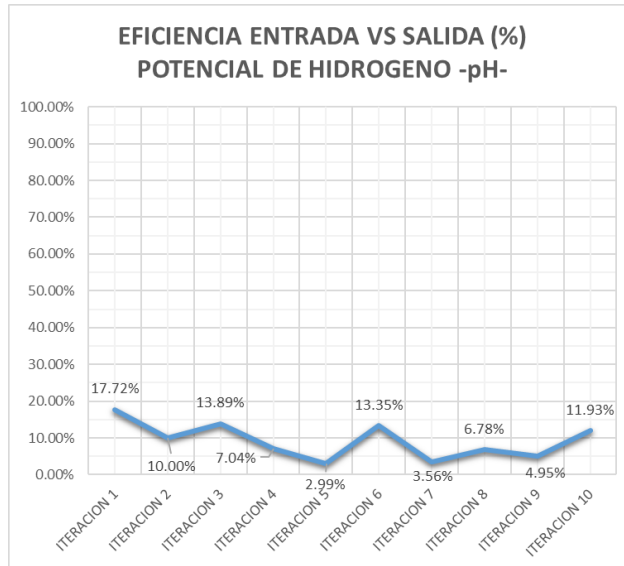
A continuación, la interpretación del gráfico con los datos experimentales para potencial de hidrógeno, con los resultados de entrada vs. salida potencial de hidrógenos.

Figura 12. Resultados entrada vs. salida potencial de hidrógeno (pH)



Fuente: elaboración propia.

Figura 13. Eficiencia entrada vs. salida de potencial de hidrógeno (pH)



Fuente: elaboración propia.

Según los datos experimentales obtenidos expresados en las gráficas anteriores, para el potencial de hidrógeno (pH) se puede determinar que si existe una estabilización del este. Comparando los valores de entrada versus salida, queda una eficiencia con un valor mínimo de 3 %, un promedio de 9 % y un valor máximo de 18 %.

3.5. Demanda química de oxígeno (DQO)

En la siguiente tabla se presentan los resultados de entrada vs. salida de la demanda química de oxígeno.

Tabla VII. **Resultados entrada vs. salida demanda química de oxígeno (DQO)**

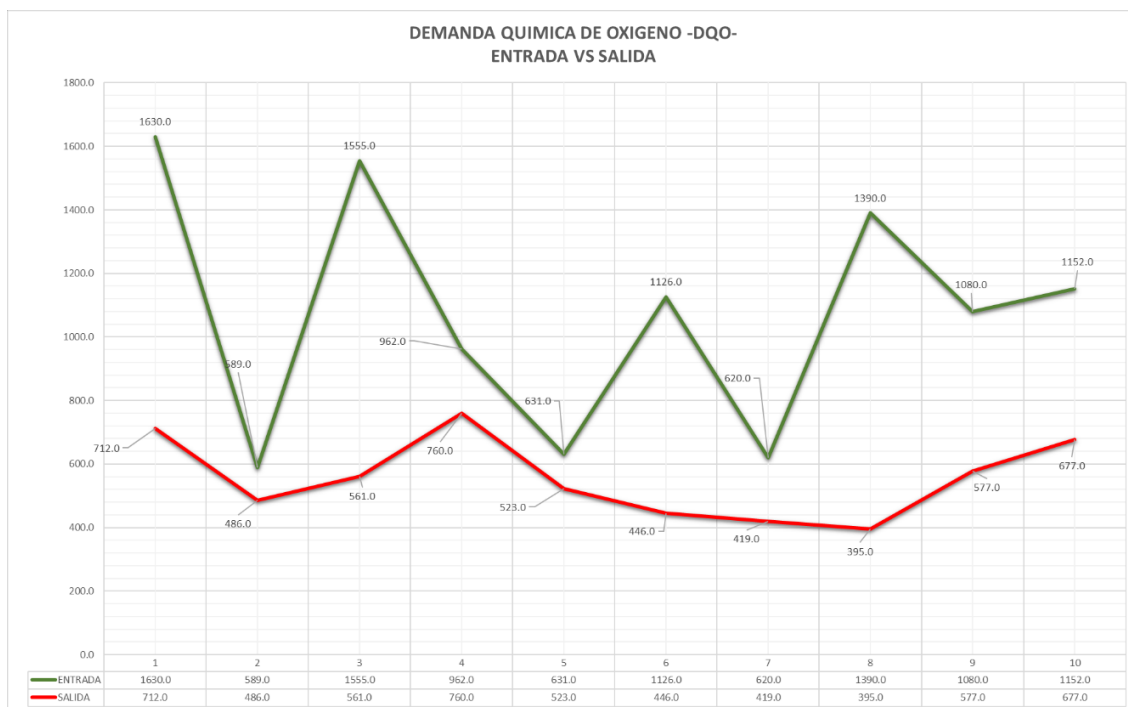
No.	ENTRADA (mg/l)	SALIDA (mg/l)	EFICIENCIA ENTRADA VS SALIDA (%)
1	1,630	712	56 %
2	589	486	17 %
3	1,555	561	64 %
4	962	760	21 %
5	631	523	17 %
6	1,126	446	60 %
7	620	419	32 %
8	1,390	395	72 %
9	1,080	577	47 %
10	1,152	677	41 %
MEDIA ARITMÉTICA	1,074	556	43 %
MEDIANA	1,103	542	44 %
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	380	126	20 %
VALOR MÍNIMO	589	395	17 %
VALOR MÁXIMO	1,630	760	72 %

Fuente: elaboración propia.

3.6. Interpretación de gráfico obtenido de datos experimentales para demanda química de oxígeno (DQO)

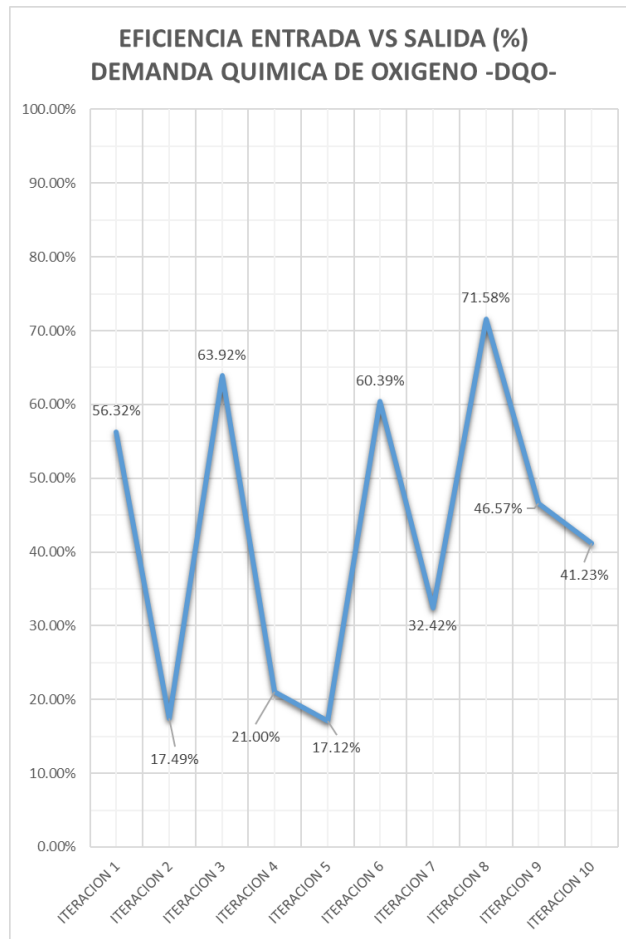
En la figura 14 se presentan los resultados obtenidos de entrada vs. salida de la demanda química de oxígeno.

Figura 14. Resultados entrada vs. salida demanda química de oxígeno (DQO)



Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Eficiencia entrada vs. salida demanda química de oxígeno (DQO)**



Fuente: elaboración propia.

Según los datos experimentales obtenidos expresados en las gráficas anteriores, para la demanda química de oxígeno (DQO) se puede determinar que si es eficiente el sistema para la remoción de este. Comparando los valores de entrada versus salida, queda una eficiencia con un valor mínimo de 17 %, un promedio de 43 % y un valor máximo de 72 %.

3.7. Demanda bioquímica de oxígeno₅ (DBO₅)

A continuación, se presenta la tabla VIII con los resultados de entrada vs. salida de la demanda bioquímica de oxígeno₅.

Tabla VIII. **Resultados entrada vs. salida demanda bioquímica de oxígeno₅ (DBO₅)**

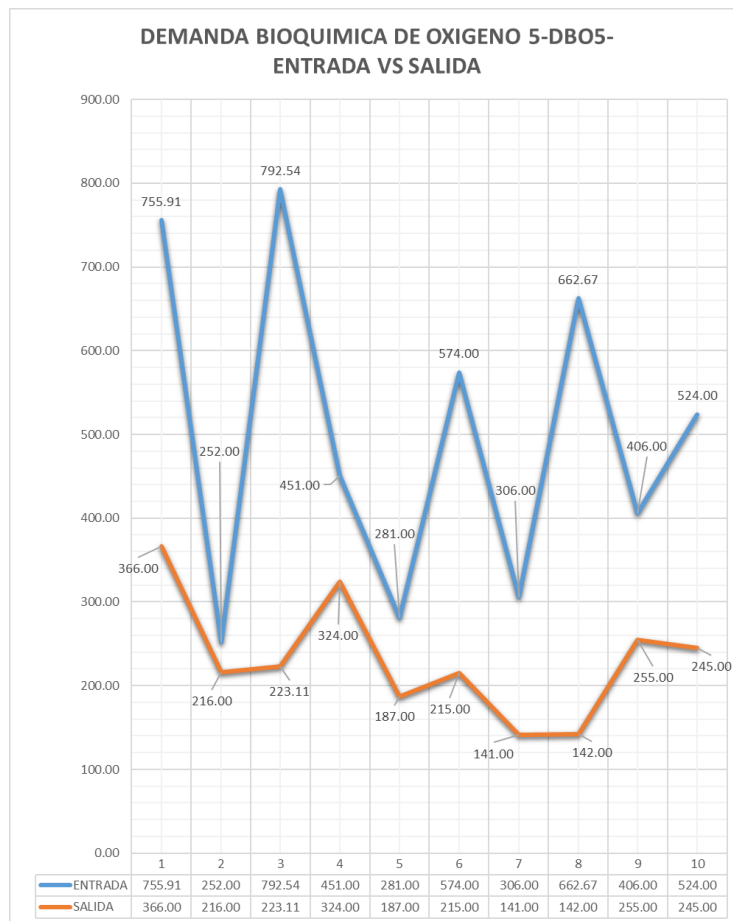
No.	ENTRADA (mg/l)	SALIDA (mg/l)	EFICIENCIA ENTRADA VS SALIDA (%)
1	756	366	52 %
2	252	216	14 %
3	793	223	72 %
4	451	324	28 %
5	281	187	33 %
6	574	215	63 %
7	306	141	54 %
8	663	142	79 %
9	406	255	37 %
10	524	245	53 %
MEDIA ARITMÉTICA	501	231	48 %
MEDIANA	488	220	52 %
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	195	72	20 %
VALOR MÍNIMO	252	141	14 %
VALOR MÁXIMO	793	366	79 %

Fuente: elaboración propia.

3.8. Interpretación de gráfico obtenido de datos experimentales para demanda bioquímica de oxígeno₅ (DBO₅)

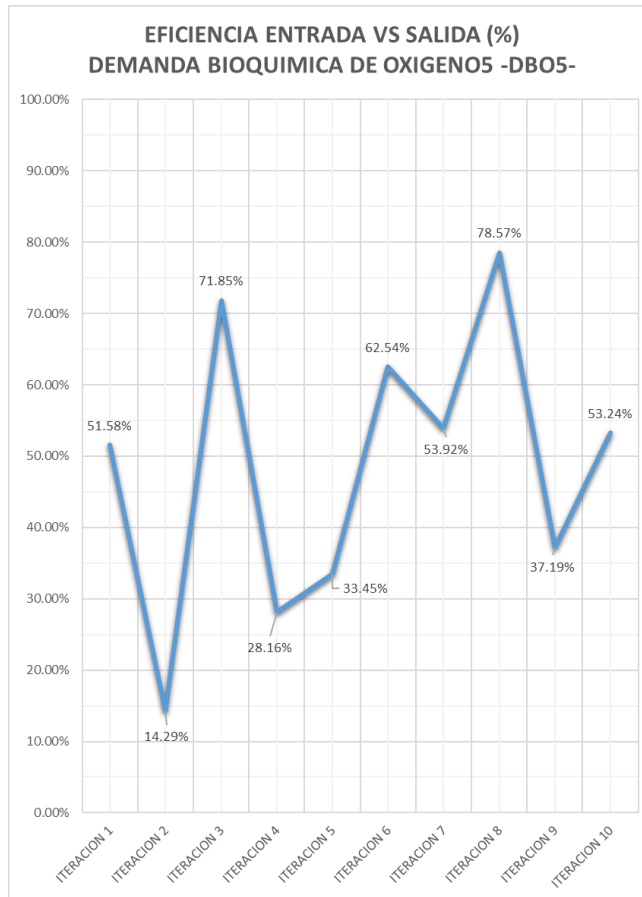
A continuación, se presenta la figura 16 con la gráfica que plantea los resultados entrada vs. salida demanda bioquímica de oxígeno₅.

Figura 16. **Resultados entrada vs. salida demanda bioquímica de oxígeno₅ (DBO₅)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Eficiencia entrada vs. salida de demanda bioquímica de oxígeno₅ (DBO₅)**



Fuente: elaboración propia.

Según los datos experimentales obtenidos expresados en las gráficas anteriores, para la demanda bioquímica de oxígeno₅ (DBO₅) se puede determinar que si es eficiente el sistema para la remoción de este. Comparando los valores de entrada versus salida, queda una eficiencia con un valor mínimo de 14 %, un promedio de 48 % y un valor máximo de 79 %.

3.9. Fósforo total

En la tabla IX se presentan los resultados de entrada vs. salida de fósforo total.

Tabla IX. Resultados entrada vs. salida fósforo total

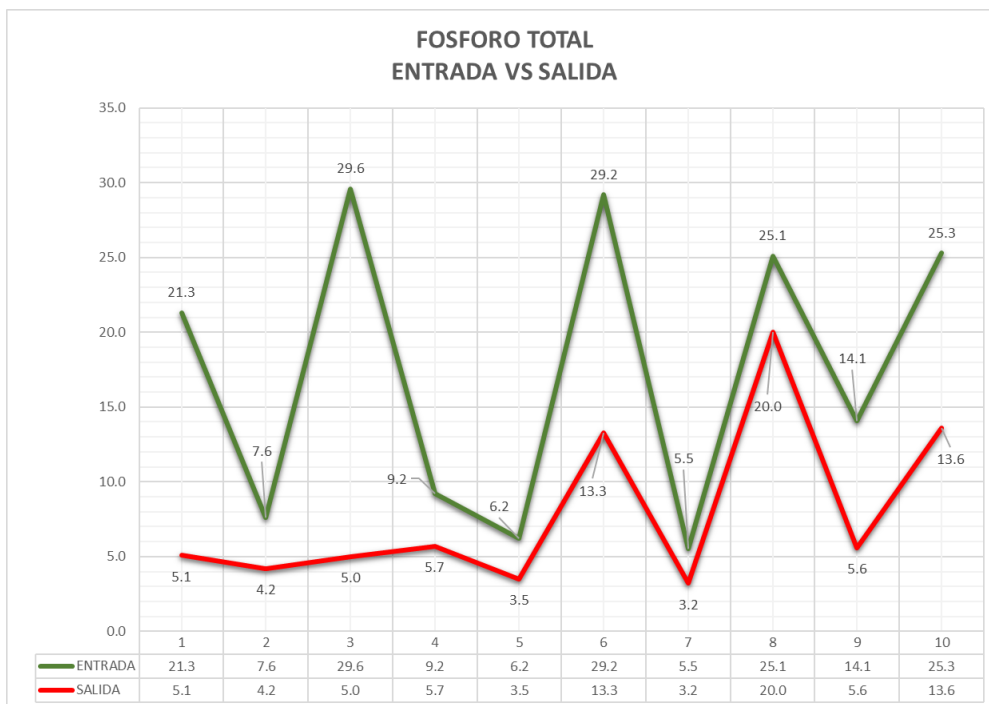
No.	ENTRADA (mg/l)	SALIDA (mg/l)	EFICIENCIA ENTRADA VS SALIDA (%)
1	21	5	76 %
2	8	4	45 %
3	30	5	83 %
4	9	6	38 %
5	6	4	44 %
6	29	13	54 %
7	6	3	42 %
8	25	20	20 %
9	14	6	60 %
10	25	14	46 %
MEDIA ARITMÉTICA	17	8	51 %
MEDIANA	18	5	45 %
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	10	6	18 %
VALOR MÍNIMO	6	3	20 %
VALOR MÁXIMO	30	20	83 %

Fuente: elaboración propia.

3.10. Interpretación de gráfico obtenido de datos experimentales para fósforo total

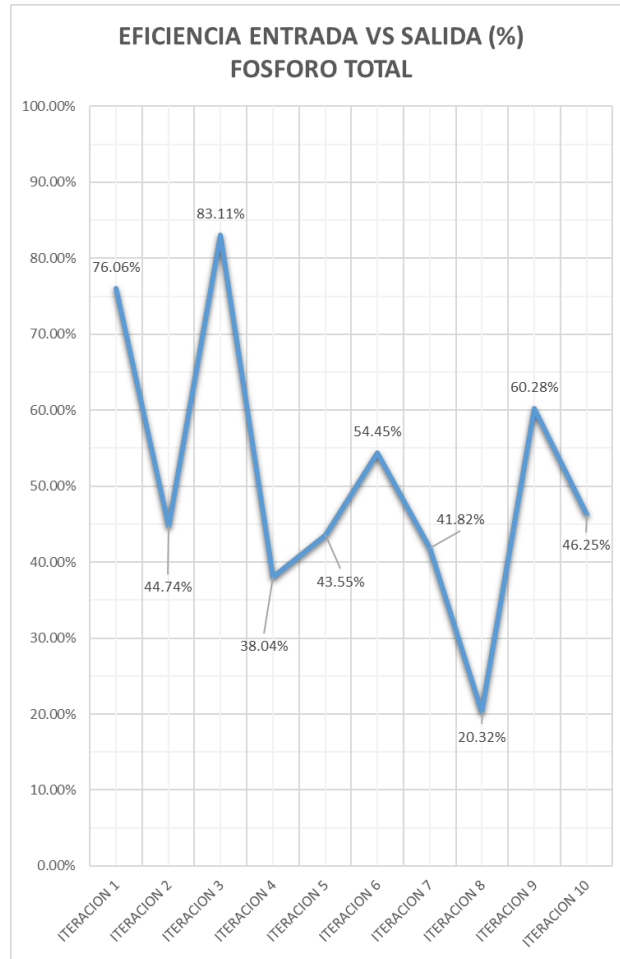
En la siguiente figura se presenta la gráfica con los resultados obtenidos de entrada vs. salida del fósforo total.

Figura 18. Resultados entrada vs. salida fósforo total



Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Eficiencia entrada vs. salida de fósforo total**



Fuente: elaboración propia.

Según los datos experimentales obtenidos expresados en las gráficas anteriores, para fósforo total se puede determinar que si es eficiente el sistema para la remoción de este. Comparando los valores de entrada versus salida, queda una eficiencia con un valor mínimo de 20 %, un promedio de 51 % y un valor máximo de 83 %.

3.11. Resumen de los valores obtenidos entrada vs. salida de todos los parámetros analizados

A continuación, se presenta el resumen de los valores obtenidos de entrada vs. salida de todos los parámetros realizados.

Tabla X. **Resumen de resultados entrada vs. salida**

PARÁMETRO / ENSAYO	SÓLIDOS SUSPENDIDOS		POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)		DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)		DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)		FÓSFORO TOTAL	
	Entrada (mg/l)	SALIDA (mg/l)	Entrada (mg/l)	SALIDA (mg/l)	Entrada (mg/l)	SALIDA (mg/l)	Entrada (mg/l)	SALIDA (mg/l)	Entrada (mg/l)	SALIDA (mg/l)
No.										
1	168	130	7.9	6.5	1,630	712	756	366	21	5
2	67	48	7.0	6.3	589	486	252	216	8	4
3	120	32	7.2	6.2	1,555	561	793	223	30	5
4	67	52	7.1	6.6	962	760	451	324	9	6
5	36	24	6.7	6.5	631	523	281	187	6	4
6	147	24	8.4	7.3	1,126	446	574	215	29	13
7	107	20	7.3	7.0	620	419	306	141	6	3
8	140	32	7.5	7.0	1,390	395	663	142	25	20
9	93	20	7.3	6.9	1,080	577	406	255	14	6
10	160	24	8.0	7.0	1,152	677	524	245	25	14
MEDIA ARITMÉTICA	110	41	7.4	6.7	1,074	556	501	231	17	8
MEDIANA	113	28	7.3	6.8	1,103	542	488	220	18	5
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	44	33	0.5	0.4	380	126	195	72	10	6
VALOR MÍNIMO	36	20	6.7	6.2	589	395	252	141	6	3
VALOR MÁXIMO	168	130	8.4	7.3	1,630	760	793	366	30	20

Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la investigación serán comparados con algunos estudios de similares condiciones. Cabe recalcar que los parámetros y resultados del estudio se basan en un sistema vertical “Barrel-System” con 4 barriles, el primero funciona como trampa para grasa, el segundo lleva filtro de piedrín de diámetro ¼” y el tercer y cuarto tienen filtro de arena antracita. Todos son anaerobios entra en agua desde la parte de abajo y sale en la parte de arriba.

Se realizaron 10 muestreos a la entrada y 10 a la salida. Se realizaron laboratorios para analizar los parámetros: DBO, DQO, Sólidos suspendidos, Fósforo Total, Potencial de Hidrógeno.

4.1. Comparación tesis: *Alternativas para el tratamiento de las aguas grises de origen doméstico*

En el Centro de Información de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), se registra una investigación sobre tratamientos individuales para aguas grises de origen doméstico; elaborada por MSc. Jaime Raúl Hernández Juárez.

En dicho documento se presentaron dos propuestas en cada una se utilizaron medios filtrantes distintos. Cada sistema tiene 3 elementos, el primero es una trampa para grasas, el segundo es el medio filtrante y el tercero es otro medio filtrante y ninfas acuáticas. (Juárez, 2010)

Tabla XI. **Comparación de resultados (Juárez, 2010)**

VALORES	FILTRO 1 (3 BARRILES), CARBÓN Y GRAVA			FILTRO 2 (3 BARRILES), PIEDRA PÓMEZ Y GRAVA			"BARREL-SYSTEM" (4 BARRILES), PIEDRÍN Y ARENA ANTRACITA		
	DBO	DQO	pH	DBO	DQO	pH	DBO	DQO	pH
Mínimo	5.00 %	9.37 %	7.0	7.69 %	8.04 %	7.0	14 %	17 %	6.2
Promedio	17.86 %	29.19 %	7.4	18.50 %	31.45 %	7.4	48 %	43 %	6.7
Máximo	39.76 %	47.41 %	8.0	28.94 %	44.04 %	7.9	79 %	72 %	7.3

Fuente: elaboración propia.

La limitante principal es que no tienen los mismos tipos de filtros ni la misma cantidad de elementos.

Se puede determinar que los valores obtenidos al comparar los resultados del sistema "Barrel-System" de 4 barriles, tiene una mayor eficiencia para remover, DQO y DBO contra los resultados del sistema propuesto en el trabajo de graduación. (Juárez, 2010)

4.2. Comparación tesis: *El uso de geotextiles para el tratamiento de aguas grises*

En el Centro de Información de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), se registra una investigación sobre tratamientos individuales para aguas grises de origen doméstico; elaborada por MSc. Melisa Noemi León Urrutia.

En dicho documento se presentaron tres propuestas en cada una se utilizaron geotextiles como medios filtrantes, cada propuesta variaba en la cantidad y el diámetro de filtro del geotextil. (Urrutia, 2020, pp. 17-40)

Tabla XII. Comparación de resultados (Urrutia, 2020)

VALORES	FILTRO A 2 CAPAS NT 1800 2 CAPAS NT 2500 2 CAPAS NT 3000 2 CAPAS NT 4000			FILTRO B 1 CAPA NT 1800 1 CAPA NT 2500 1 CAPA NT 3000 1 CAPA NT 4000			FILTRO C 1 CAPA NT 1800 1 CAPA NT 3000 1 CAPA NT 4000			"BARREL-SYSTEM" (4 BARRILES), PIEDRÍN Y ARENA ANTRACITA		
	S.S.	DQO	DBO	S.S.	DQO	DBO	S.S.	DQO	DBO	S.S.	DQO	DBO
Mínimo	27 %	4 %	6 %	18 %	2 %	1 %	9 %	1 %	0 %	22 %	17 %	14 %
Promedio	40 %	16 %	17 %	34 %	13 %	15 %	28 %	10 %	17 %	58 %	43 %	48 %
Máximo	54 %	28 %	26 %	55 %	24 %	31 %	54 %	18 %	33 %	85 %	72 %	79 %

Fuente: elaboración propia.

La limitante principal es que no tienen los mismos tipos de filtros ni la misma cantidad de elementos.

Se puede determinar que los valores obtenidos al comparar los resultados del sistema "Barrel-System" de 4 barriles, tiene una mayor eficiencia para remover, Sólidos Suspendidos, DQO y DBO contra los resultados del sistema propuesto en el trabajo de graduación de Urrutia, 2020.

4.3. Comparación informe por (INWRDAM)

El proyecto comenzó en febrero de 2004 y continuó hasta octubre de 2007 y estaba ubicado en una zona con escasez de agua en las aldeas de Al-Amer, en la gobernación de Karak, parte sur de Jordania.

Los resultados obtenidos para la calidad de las aguas grises tratadas dependen mucho de la calidad del agua sin tratar. Los hallazgos de investigación acumulados sobre la calidad de las aguas grises crudas indican que para una familia de seis personas y con un consumo promedio de agua doméstica per cápita de 50 litros por día.

“La calidad de las aguas grises crudas es aproximadamente de 500 a 700 mg/l de DBO y el tratamiento puede reducirla por debajo de 300 mg/l DBO. Por lo que se puede determinar que eficiencia promedio es mayor al 50 % en la reducción de DBO” (Bino, Al-Beiruti, y INWRDAM, 2007, p. 6).

Se puede determinar que los valores obtenidos al comparar los resultados del sistema evaluado “Barrel-System” de 4 barriles, tiene una eficiencia promedio muy similar para remover -DBO- contra los resultados obtenidos en el proyecto de tratamiento de aguas grises en Jordania.

Los limitantes es el volumen del sistema tratado, las costumbres, calidad de vida y caudales tratados, lo que ocasiono cierta discrepancia en los resultados.

4.4. Análisis de resultados para comparación de reúso

Se utilizará como base el Acuerdo Gubernativo para el Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de los lodos” No. 236-2006 y sus Actualizaciones No. 129-2015 y No. 254-2019 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, para comparar con los resultados experimentales obtenidos al analizar el tratamiento de las aguas grises en el prototipo “Barrel-System” de 4 barriles.

Según los resultados experimentales obtenidos en los distintos parámetros se puede verificar en la siguiente tabla resumen, para que tipo de actividades se pueden reutilizar las aguas grises ya tratadas utilizando el sistema “Barrel-System” de 4 barriles implementado en una vivienda urbana.

Tabla XIII. **Resultados vs. límites máximos permisibles**

PARÁMETROS	DIMENSIONALES	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES					RESULTADOS PROMEDIO SALIDA
		TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV	TIPO V	
Sólidos Suspendidos	mg/l	100	100	100	100	100	41
Potencial de Hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	7
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	--	--	--	--	--	556
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	n/a	n/a	200	n/a	200	231
Fósforo Total	mg/l	10	10	10	10	10	8

Fuente: elaboración propia.

Con base en los resultados obtenidos y a los límites máximos permisibles para su reúso, se puede determinar que cumple con los parámetros requeridos y es apta para los Tipos de Reúso I, II, IV:

- Tipo I: Reúso para riego agrícola en general
 Uso de un efluente que debido a los nutrientes que posee se puede utilizar en el riego extensivo e intensivo, a manera de fertirriego, para recuperación y mejoramiento de suelos y como fertilizante en plantaciones de cultivos que, previamente a su consumo, requieren de un proceso industrial.
- Tipo II: Reúso para cultivos comestibles
 Con restricciones en el riego de áreas con cultivos comestibles que se consumen crudos o precocidos, como hortalizas y frutas, a excepción de sólidos en suspensión, nitrógeno y fósforo total.

- Tipo IV: Reúso pasto y otros cultivos
Con restricciones en el riego de áreas de cultivos no alimenticios para el ser humano como pastos, forrajes, fibras, semillas y otros.

4.5. Volumen para filtrar

Se utilizó un consumo promedio de 120 litros al día (lavadora y lavatrastos una sola vez). La manera en la cual fue diseñado el prototipo toma un tiempo de 12 minutos en pasar por los 4 botes, 3 de los cuales tienen filtros, por lo que tiene una velocidad de 0.03 litros/segundo para tratar las aguas grises.

4.6. Ahorro de cantidad de agua potable

Se realizó un tratamiento a 120 litros de agua disminuyendo el desperdicio y pérdidas en filtros, quedan 100 litros de agua. Lo que representan un 83.33 % de agua que se puede reutilizar (de dos accesorios lavadora y lavatrastos). Si la dotación mensual en una vivienda es de 30 metros cúbicos (30,000 litros), y si se realiza este proceso 5 veces por semana, se estaría ahorrando 2.0 metros cúbicos (2,000 litros) al mes, lo que representa un 6.67 % de la dotación mensual por vivienda.

CONCLUSIONES

1. Se determina que la hipótesis planteada es verdadera, los resultados experimentales obtenidos en el laboratorio, el prototipo implementado en una vivienda urbana del sistema "Barrel-System" de 4 barriles con filtros de piedrín y antracita, cumple con los límites máximos permisibles para el reúso según el Acuerdo 236-2006 y sus actualizaciones; por lo que sí es posible reutilizar las aguas grises tratadas en un 100% en actividades donde sean permitidas y no requieran el uso de agua potable.
2. Se determinó que el sistema es un prototipo construido a costos bajos, que es eficiente para tratar aguas grises, mejorando la calidad de las estas.
3. Con base en los resultados experimentales obtenidos del análisis al sistema, se determina que, si es eficiente, mejora la calidad de las aguas grises. La eficiencia en promedio de 10 muestras analizadas (entrada vs. salida) de cada parámetro medido fue la siguiente:
 - Sólidos Suspendidos = 58 %
 - Potencial de hidrógeno = 9 %
 - Demanda química de oxígeno = 43 %
 - Demanda bioquímica de oxígeno₅ = 48 %
 - Fósforo total = 51 %

4. Los resultados fueron positivos en este tipo de sistema económico. Se puede proponer para nuevos estudios y analizar estos filtros para manejar un mayor volumen de aguas grises, con ello poder tener las bases para implementarlo a mayor escala, condominios, edificios.

RECOMENDACIONES

1. Es importante hacer conciencia y fomentar el utilizar el agua potable de manera eficiente y buscar alternativas para el reúso de las aguas grises.
2. Concientizar a la población para implementar dicho sistema en sus viviendas, tanto en áreas urbanas como rurales.
3. Se puede implementar como iniciativa de ley para fomentar el riego de pasto en las zonas urbanas.
4. Este prototipo fue estudiado e implementado en lugares donde existe escasez de agua y fue para fomentar huertos en cada vivienda utilizando aguas grises de origen doméstico, también se podría realizar dicho estudio para huertos familiares ya sea en el área urbana o área rural en Guatemala. Posteriormente realizar programas sociales de huertos familiares.

REFERENCIAS

1. Acuerdo Gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Diario de Centroamerica. Guatemala. 12 de mayo de 2006.
2. American Public Health Association., American Water Works Association y Water Environment Federation. (2018). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Estados Unidos: Autor.
3. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. (2013). *Bases técnicas para la gestión del agua con visión de largo plazo en la zona metropolitana de Guatemala. Serie textos para la educación y el cuidado de la vida*. Guatemala: Autor.
4. Instituto de Fomento Municipal, Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales. (1997). *Guía para el diseño de abastecimiento de agua potable a zonas rurales*. Guatemala: INFOM.
5. Instituto Nacional de Estadística Guatemala. (2019). *Resultados XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda*. Guatemala: INE.
6. IRC. (1999). *Word of Water 2000 the past, present and future, Water*. Estados Unidos: Autor.

7. Jino, M., Al-Beirut, S., y INWRDAM. (2007). *Compilation of Greywater Studies and Reports on Policy, Economic Feasibility, Health Impacts and Reuse Quality Guidelines and the Aqaba Declaration on Greywater Use*. Estados Unidos: McGraw-Hill.
8. Juárez, J. R. (2010). Alternativas para el tratamiento de las aguas grises de origen doméstico. (Tesis de grado) Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
9. METCALF EDDY, INC. (1991). *Ingeniería de Las Aguas Residuales, tratamiento, vertido y reutilización*. Estados Unidos: McGraw-Hill.
10. Reforma al Acuerdo Gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Diario Centroamerica. Guatemala. 27 de noviembre de 2019.
11. Rojas, J. A. (1999). *Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
12. Urrutia, M. N. (2020). *El uso de geotextiles para el tratamiento de aguas grises*. Guatemala. Editorial de la USAC.