

## Artículo Científico / Scientific Article

# Evaluación de un sistema de tratamiento de agua gris domiciliar a base de filtros múltiples

*Evaluation of a household greywater treatment system based on multiple filters*

Edgar Rolando Pichiyá Umul.<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

Dirección para recibir correspondencia: dorjaen@gmail.com

Recibido: 15/11/2022

Revisión: 23/05/2023

Aceptado: 17/09/2023

### Resumen

Las investigaciones que se realizan sobre el tratamiento de aguas grises buscan aportar a la sostenibilidad y la conservación de los recursos hídricos. En esta investigación se evaluó un sistema económico de tratamiento de aguas grises mediante un prototipo de cuatro barriles, basado en materiales reciclados y de bajo costo, inspirado en el "Barrel System" de Jordania utilizado en el año 2007. El sistema incluye cuatro compartimentos: uno para eliminación de grasas, otro con grava en su interior, y dos con arena antracita. El estudio utilizó aguas grises de una lavadora y un lavatrastos, excluyendo otras fuentes debido a limitaciones hidráulicas, de espacio y costo. Para evaluar la eficiencia de remoción de sólidos sedimentables, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), potencial de hidrógeno (pH) y fósforo total (Pt) se utilizó el método 1060B de los Métodos Normalizados para el análisis de Aguas Potables y Residuales. El análisis estadístico se trabajó con un 95% de confianza. Los resultados mostraron una remoción promedio del 54% para la demanda bioquímica de oxígeno, 48% para la demanda química de oxígeno. Se identificaron diferencias significativas entre los valores iniciales de sólidos sedimentables y fósforo total con tendencia a reducirse y el potencial de hidrógeno tuvo una reducción significativa del 9% de su valor inicial promedio. Este sistema de filtración múltiple presenta una propuesta viable para el tratamiento de agua residual a nivel domiciliar.

**Palabras claves:** Remoción de materia orgánica, remoción de fósforo, arena antracita, precipitación biológica del fósforo, adsorción bacteriana del fósforo, reúso de agua gris.

### Abstract

Research on greywater treatment aims to contribute to sustainability and the conservation of water resources. This study evaluated an economical greywater treatment system using a prototype composed of four barrels, based on low-cost, recycled materials, inspired by Jordan's "Barrel System" used in 2007. The system includes four compartments: one for grease removal, one containing gravel, and two with anthracite sand. The study utilized greywater from a washing machine and a dishwashing sink, excluding other sources due to hydraulic, spatial, and cost limitations. To evaluate the removal efficiency of settleable solids, chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD5), hydrogen potential (pH), and total phosphorus (Pt), the 1060B method from the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater was used. Statistical analysis was conducted with a 95% confidence level. The results showed an average removal efficiency of 54% for biochemical oxygen demand and 48% for chemical oxygen demand. Significant differences were identified between the initial values of settleable solids and total phosphorus, with a tendency to decrease, and the hydrogen potential showed a significant reduction of 9% from its initial average value. This multi-filter system presents a viable proposal for household-level greywater treatment.

**Key words:** Organic matter removal, phosphorus removal, anthracite sand, biological phosphorus precipitation, bacterial phosphorus adsorption, gray water reuse.



## Introducción

El tratamiento de aguas grises se ha vuelto crucial en el contexto actual de desafíos globales como el cambio climático, el aumento de la población, la urbanización y la necesidad de preservar los servicios ecosistémicos. De acuerdo con los análisis realizados por diversos autores, el agua gris puede llegar a representar entre el 50% y 80% del uso total de agua residual de las viviendas (Eriksson et al., 2002; Al-Jayyousi, 2003; Flowers, 2004; Friedler & Hadari, 2006; Morel & Diener, 2006), entendiendo que estas son las aguas usadas provenientes de lavabos, duchas y lavadoras, excluyendo las aguas negras de inodoros.

Esta investigación evalúa la eficiencia del sistema conocido como Barrel-System, un método de tratamiento diseñado para la reutilización de aguas grises en viviendas. La reutilización de aguas grises no solo ayuda a conservar los recursos hídricos sino también a reducir la carga sobre los sistemas de tratamiento de aguas residuales, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental. Esta evaluación se realizará en Guatemala debido a que no se ha realizado una evaluación similar y es necesario determinar su comportamiento ante las características propias del agua gris en Guatemala.

El reúso de aguas grises presenta varios desafíos, como la necesidad de asegurar la calidad del agua tratada para evitar riesgos sanitarios, el costo inicial de instalación de sistemas de tratamiento, y la falta de conciencia y educación sobre su importancia. Sin embargo, también ofrece oportunidades significativas, incluyendo la reducción del consumo de agua potable, la disminución de la demanda sobre los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, y la promoción de prácticas sostenibles en el hogar.

En Guatemala, el marco legal para el manejo y reutilización de aguas residuales está regulado por acuerdos gubernativos que establecen los lineamientos para el tratamiento y reúso de aguas residuales, incluyendo aguas grises. Es crucial que los sistemas de tratamiento cumplan con estos estándares para asegurar su viabilidad y aceptación.

Para determinar la eficiencia del Barrel-System, se realizaron varios análisis de calidad del agua en la entrada y salida de la unidad. Estos análisis incluyeron

la medición de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), fósforo total (Pt) y el potencial de hidrógeno (pH) a nivel de laboratorio. Un monitoreo continuo y un control riguroso son esenciales para asegurar que el agua tratada cumpla con los estándares requeridos y sea segura para su reutilización.

Desde la perspectiva del usuario, la implementación de sistemas de tratamiento de aguas grises como el Barrel-System puede ser percibida como una forma de contribuir activamente a la conservación del medio ambiente y a la sostenibilidad de los recursos hídricos. La aceptación y adopción de estos sistemas dependen de la concienciación y educación sobre sus beneficios, así como de la demostración de su efectividad y rentabilidad a largo plazo.

Este estudio busca demostrar la eficiencia y viabilidad del sistema Barrel-System para el tratamiento de aguas grises en viviendas de Guatemala.

La composición de las aguas grises puede variar considerablemente de un país a otro, dado que esta depende de la calidad de agua que se suministra, el tipo de actividades del hogar, los accesorios que posee la vivienda, así como el estilo de vida y costumbres de cada hogar (Eriksson et al., 2002).

Las aguas grises generadas en las viviendas se pueden ver afectadas también por productos químicos resultado de la utilización de productos químicos utilizados en la limpieza de utensilios de cocina, conteniendo estos compuestos de nitratos, fosfatos, agentes tensoactivos (Narváez, Miranda & Narváez, 2012) y otros como sodio, calcio, magnesio, potasio y grasas (Al-Hamaiedeh & Bino, 2010).

En la tabla 1 se muestran algunos valores típicos que distintos autores han definido para caracterizar las aguas grises crudas domésticas que incluyen el agua proveniente de duchas, lavamanos, lavadero de ropa y lavaplatos. Es importante observar el rango tan amplio que existe en sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y demanda química de oxígeno (DQO), lo cual se atribuye a la diversidad de artefactos sanitarios que pueden aportar a este tipo de agua y a las distintas características de actividades de la vivienda como ya se ha explicado.

**Tabla 1. Parámetros de concentraciones normales para aguas grises domésticas.**

Parámetro	Unidad	Concentración
Sólidos suspendidos totales	mg/L	25 – 183
Fosforo total	mg/L	0.1 – 2.0
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidades pH	6.3 – 8.1
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	47 – 466
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	100 – 700

Fuente: adaptado de Hocaoglu y colaboradores (2010), Li y colaboradores (2009), Al-Hamaiedeh y Bino (2010), Hypes y colaboradores (1975), March y colaboradores (2004), y Al-Jayyousi (2003).

En los compuestos presentes en el agua gris, pueden ocurrir procesos de oxidación y reducción en los filtros. Además, en estos filtros puede darse la adsorción, lo que permite retener ciertos compuestos presentes en las aguas grises, tales como contaminantes orgánicos e inorgánicos (Rojas, 1999).

En la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) se han llevado a cabo dos investigaciones similares para el tratamiento de aguas grises de origen doméstico.

En el primer estudio, se emplearon dos baterías de filtros. La primera estaba compuesta por carbón y grava, logrando una remoción del 17.86% de DBO5 y 29.19% de DQO. La segunda batería consistía en piedra pómez y grava, alcanzando una remoción del 18.50% de DBO5 y 31.45% de DQO. Cada prototipo evaluado en esta investigación incluía los siguientes componentes: un primer compartimiento que funcionaba como trampa para grasas, un segundo compartimiento con la batería filtrante principal y un tercer compartimiento que combinaba un medio filtrante con ninfas acuáticas (Hernández Juárez, 2010).

El segundo estudio realizado en ERIS utilizó una combinación de geotextiles como medio filtrante, analizando tres tipos de geotextil. El primer sistema empleó cuatro tipos de geotextil en doble capa cada uno (2 capas NT 1800, 2 capas NT 2500, 2 capas NT 3000, 2 capas NT 4000), alcanzando una remoción del 16% de DQO y 17% de DBO5. El segundo sistema utilizó cuatro tipos distintos de geotextil en una sola capa cada uno (1 capa NT 1800, 1 capa NT 2500, 1 capa NT 3000, 1 capa NT 4000), logrando una remoción del 13% de DQO y 15% de DBO5. El tercer sistema utilizó tres tipos de geotextil en una sola capa cada uno (1 capa NT

1800, 1 capa NT 3000, 1 capa NT 4000), logrando una remoción del 10% de DQO y 17% de DBO5 (León Urrutia, 2022).

Un estudio sobre el tratamiento de aguas grises realizado en un sistema controlado en laboratorio mostró una eficiencia de remoción del 89% de la DQO, reduciendo el valor inicial de 163 mg/l a un valor final de 18 mg/l. Este resultado se obtuvo utilizando un filtro de arena con separación previa de sólidos suspendidos sedimentables (Anaya Meléndez, 2022).

De igual forma, Ángel Palomino (2019) investigó la eficiencia de remoción de DBO5 y DQO utilizando un sustrato orgánico y plantas comerciales aplicadas en paredes verdes. Determinó que la especie *A. Nidus*, en conjunto con el sustrato de *musgo sphagnum*, obtuvo la mejor eficiencia, alcanzando una remoción del 90% en sólidos totales, del 86% en DBO5 y del 81% en DQO.

## Materiales y método

El estudio propuesto es de tipo cuantitativo con alcance exploratorio, en él se evaluó la eficiencia de un sistema de tratamiento de agua gris domiciliar a base de filtros múltiples, para promover la reutilización de aguas grises en una vivienda.

Luego de considerar el alcance del estudio, se realizó un muestreo aleatorio simple a conveniencia, utilizando agua gris proveniente de una lavadora y lavatrastos de una vivienda, extrayendo de ella veinte muestras puntuales. Se realizaron dos experimentos: el primero el 14 de junio del 2022 con 10 repeticiones, y el segundo experimento, el 20 de septiembre del 2022 con otras 10 repeticiones, se obtuvo un total de 20 muestras analizadas.

El sistema construido se basó en el modelo Barrel System, utilizado en Jordania, el cual se modificó a través de una disposición vertical de la unidad, medios filtrantes de dimensiones más pequeñas y una distribución equilibrada mejorada en cada filtro.

El prototipo modificado es un sistema de tratamiento de agua gris en el cual se ingresó agua proveniente de una lavadora y un lavatrastos, se determinó las concentraciones de calidad de agua en el ingreso al dispositivo y en la salida de este, para

establecer la existencia de diferencias significativas que puedan atribuirse a la utilización del sistema de agua gris evaluado. El agua fue recolectada y mezclada en un recipiente, con el fin de obtener una muestra uniforme.

A cada una de las 20 muestras que fueron tomadas en el laboratorio se les midió la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), la demanda química de oxígeno (DQO), los sólidos disueltos totales y el fósforo total.

Otra condición de control durante la investigación fue garantizar un caudal constante de agua gris. Para lograr esto se lavó ropa de diferentes tipos, así como varios utensilios de cocina. Durante este proceso, no se varió la cantidad ni el tipo de jabones utilizados. De este modo se buscó que las propiedades del agua gris reflejaran un uso cotidiano y típico en una vivienda.

Es importante mencionar que, en el transcurso de la investigación, no se registraron cambios sustanciales en la composición del agua gris, asegurando así la representatividad de los resultados.

Para establecer el número de repeticiones para lograr la certeza de los resultados, se utilizó la ecuación (1), obtenida del método 1060B recomendado por la American Public Health Association [APHA] y colaboradores (2023).

$$N \geq \left(\frac{ts}{U}\right)^2 \quad (1)$$

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

Para determinar el número de muestras, se utilizó como base la desviación estándar para el parámetro de fósforo obtenido de la investigación realizada por Argueta Gálvez y Aguilar Carrera (2017), con lo cual se obtuvo una muestra de 10 unidades. Esta cantidad se determinó considerando para la desviación estándar ( $s = 0.02$  o  $2\%$ ), el nivel de confianza en la medición del fósforo, donde  $0.001 \leq U \leq 0.05$ .

El gráfico del método 1060B exhibe tres curvas que representan niveles de confianza del 90 %, 95 % y 99

%, respectivamente. Para emplear una de estas curvas de confianza, es necesario contar con una cantidad específica de muestras que indica el mismo, por lo que utilizando  $s=0.02$  y  $U=0.015$ , se obtiene  $s/U=1.33$ . Este valor se plotea en la curva del 95 % de confianza del método 1060B, para determinar la cantidad de muestras del presente estudio.

Para este estudio se tomaron muestras en la entrada y salida del prototipo con lo cual se puede establecer si existe una diferencia significativa en los valores analizados.

También para garantizar la integridad de las muestras, se almacenaron en recipientes de un litro, libres de impurezas, se mantuvieron y transportaron refrigeradas para evitar cambios en las características físicas y químicas del agua, lo que podría afectar la precisión y la representatividad de los resultados del análisis.

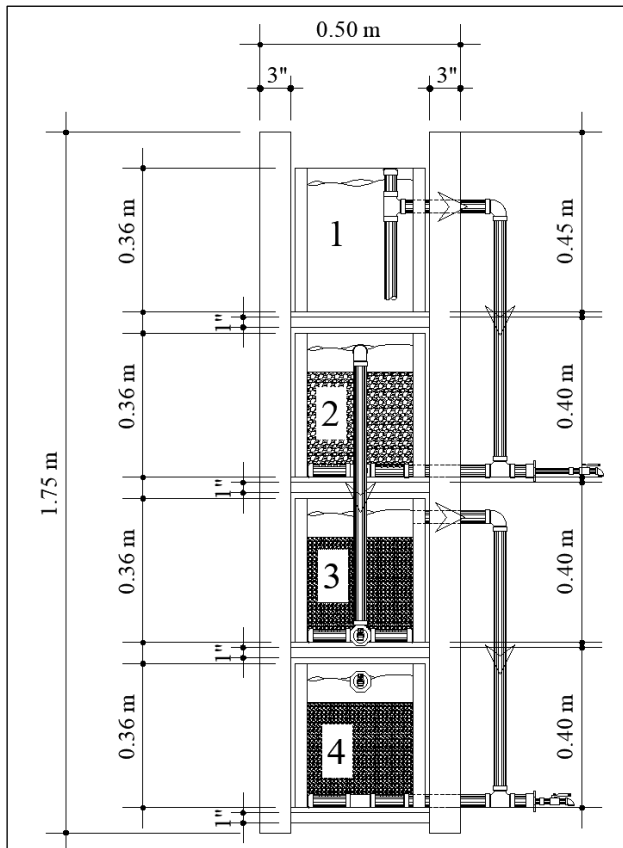
Es importante indicar que en este estudio no fueron consideradas las aguas grises provenientes de la ducha, así como de la pila de la vivienda, por ello el agua gris puede tener menor concentración de fósforo en relación con otra agua gris que sí incluye este tipo de aportaciones.

### Prototipo experimental utilizado

En la figura 1, se muestra las medidas del prototipo experimental para el tratamiento de aguas grises utilizado en el estudio. Este sistema está compuesto por 4 depósitos, de los cuales tres tienen un medio filtrante en su interior. La estructura que sostiene el prototipo fue construida con vigas de madera de 3" por 3", mientras que los soportes intermedios son de madera de 1" de grosor.

Los depósitos utilizados fueron depósitos de pintura de 20 litros cada una, y la interconexión se realizó a través de tuberías de PVC de 1¼" de diámetro.

**Figura 1. Vista en elevación del prototipo utilizado para la investigación.**



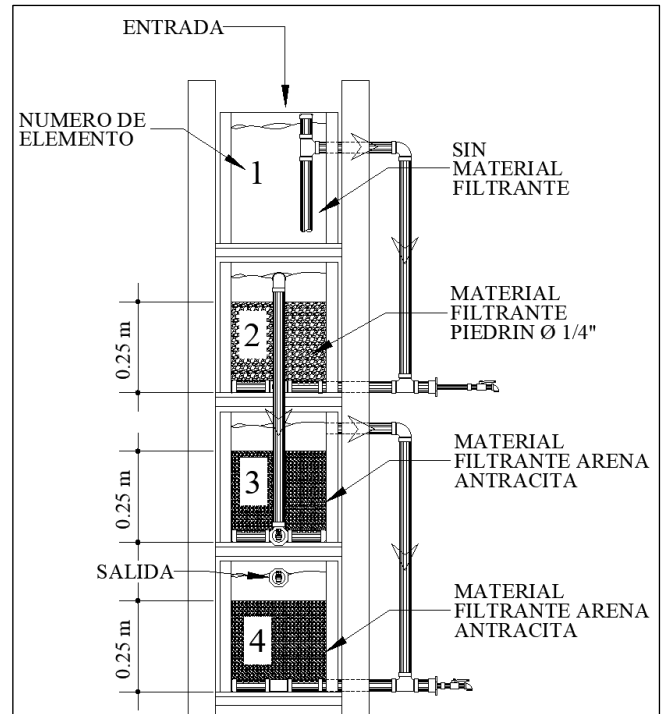
En la figura 2, se indica la dirección del flujo en el prototipo, observándose que el caudal ingresa en la parte superior y a través de las distintas tuberías de PVC va bajando hasta la salida.

El depósito 1 cumple la función de trampa de grasas. Este primer depósito se diseñó con un tiempo de retención de 3 minutos y un caudal de 0.10 litros por segundo.

El depósito 2 contiene en su interior piedrín de 1/4" como material filtrante, en este depósito se busca la retención de sólidos suspendidos, así como el desarrollo de actividad biológica que contribuya con la reducción de materia orgánica presente en el agua gris. El depósito 3 tienen en su interior arena antracita como material filtrante.

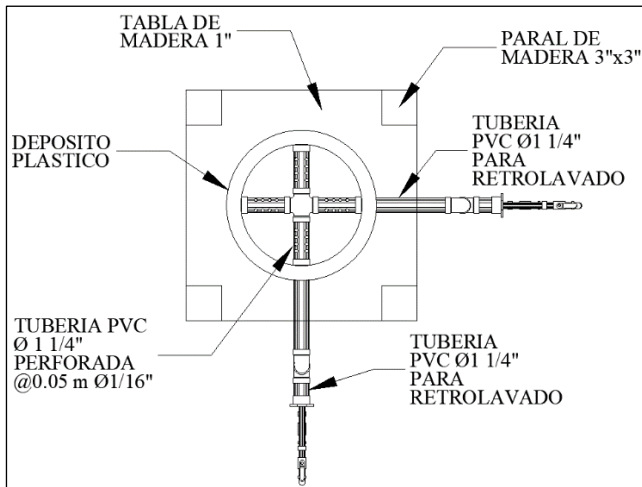
La altura de material filtrante en los depósitos 2, 3 y 4 se estableció en 0.25 metros para cada depósito.

**Figura 2. Esquema de los componentes del prototipo utilizado en la investigación.**



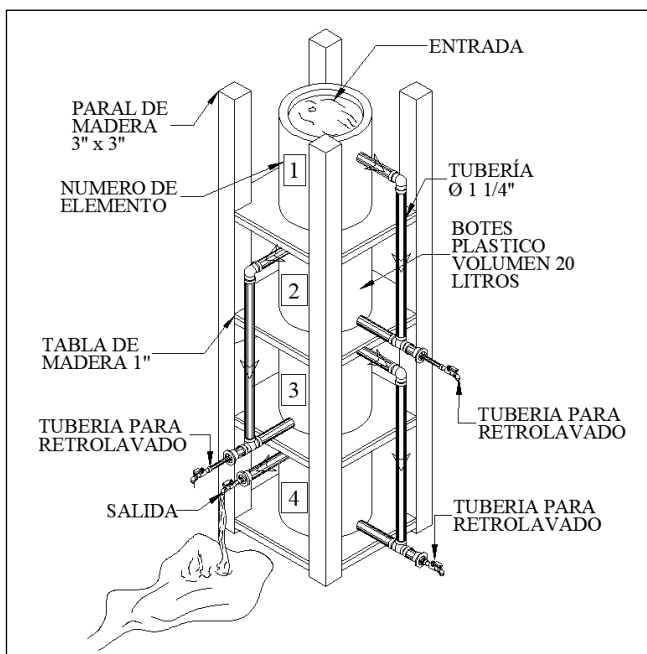
En la figura 3, se muestra una vista en planta de las tuberías de ingreso y retrolavado, así como el sistema de distribución de agua utilizado en el fondo de cada depósito la cual tiene tubería PVC con perforaciones de diámetro 1/16".

**Figura 3. Vista de planta del fondo de los depósitos 2, 3 y 4.**



La figura 4 muestra un esquema en isométrico de todos los componentes del prototipo utilizado para la investigación

**Figura 4. Esquema isométrico prototipo Barrel System modificado utilizado en la investigación.**



## Resultados

Con el objetivo de establecer la eficiencia de remoción de las variables objeto del estudio, se realizó la medición de la concentración de cada una de las variables a la entrada y salida del prototipo Barrel-System modificado.

A los resultados de cada variable se les determinó su media aritmética, mediana, desviación estándar, varianza, valor mínimo y máximo.

Los resultados obtenidos para las concentraciones de sólidos suspendidos se muestran en la tabla 2. Observar que en los datos de concentración de sólidos suspendidos de salida se presenta el valor de la mediana dado que la prueba de normalidad no fue satisfactoria para estos datos.

**Tabla 2. Resultados obtenidos en el estudio para sólidos suspendidos de ingreso y salida.**

No.	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Porcentaje de remoción (%)
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 %
<b>Media aritmética</b>	110		
<b>Mediana</b>		28	
<b>Desviación estándar</b>	44	33	
<b>Valor mínimo</b>	36	20	
<b>Valor máximo</b>	168	130	

En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos para la variable de potencial de hidrógeno.

**Tabla 3. . Resultados obtenidos en el estudio para potencial de hidrógeno (pH) de ingreso y salida.**

No.	Entrada (unidades pH)	Salida (unidades pH)	Porcentaje de remoción (%)
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 %
<b>Media aritmética</b>	7.4	6.7	9 %
<b>Desviación estándar</b>	0.52	0.36	
<b>Valor mínimo</b>	6.70	6.20	
<b>Valor máximo</b>	8.40	7.30	

En la tabla 4 se puede observar los resultados obtenidos de las mediciones de DQO realizados en la entrada y salida del dispositivo Barrel System modificado utilizado para la investigación.

La tabla 5 muestra los resultados de la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) realizada a la entrada y salida del dispositivo evaluado. En la primera columna se indica el número de repetición y los estadísticos analizados a este grupo de datos.

**Tabla 4. Resultados obtenidos en el estudio para la concentración de demanda química de oxígeno (DQO) de ingreso y salida.**

No.	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Porcentaje de remoción (%)
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 %
<b>Media aritmética</b>	1,074	556	48 %
<b>Mediana</b>	380	126	
<b>Desviación estándar</b>	589	395	
<b>Valor mínimo</b>	1,630	760	

**Tabla 5. Resultados obtenidos en el estudio para la concentración de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) de ingreso y salida.**

No.	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Porcentaje de remoción (%)
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 %
<b>Media aritmética</b>	501	231	48 %
<b>Desviación estándar</b>	185	68	
<b>Valor mínimo</b>	252	141	
<b>Valor máximo</b>	793	366	

En la tabla 6 se presentan los resultados para la concentración de fósforo total en la entrada y salida del dispositivo evaluado para cada una de las 10 repeticiones realizadas. Se aprecia en las últimas filas los estadísticos utilizados. Es importante observar que se coloca la media aritmética para los valores de entrada y la mediana para la salida, dado que la prueba de normalidad no fue favorable para los datos de concentración de fósforo en salida.

**Tabla 6. Resultados obtenidos en el estudio para la concentración de fosforo total (Pt) de ingreso y salida.**

No.	Entrada (mg/l)	Salida (mg/l)	Porcentaje de remoción (%)
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 %
<b>Media aritmética</b>	17		
<b>Mediana</b>		6	
<b>Desviación estándar</b>	10		
<b>Valor mínimo</b>	6	3	
<b>Valor máximo</b>	30	20	

En la tabla 7 se presenta el resultado de la prueba de normalidad aplicada a las cinco variables analizadas en el estudio, para los datos de concentración inicial (entrada al dispositivo) y concentración final (salida del dispositivo). La prueba utilizada es la de Shapiro-Wilk con 10 grados de libertad. Se observa en esta tabla que los datos de fósforo total y sólidos suspendidos no cumplen con la prueba de normalidad (significancia menor a 0.05).

**Tabla 7. Resultados del análisis estadístico de prueba de normalidad Shapiro-Wilk para los datos de la investigación.**

Variable	Parámetro	Estadístico	Sig.
<b>Concentración inicial</b>	DBO5	.938	0.533
	DQO	.919	0.348
	FOSFORO TOTAL	.870	0.100
	PH	.952	0.689
	SOLIDOS	.951	0.683
<b>Concentración final</b>	DBO5	.933	0.478
	DQO	.942	0.570
	FOSFORO TOTAL	.795	0.013
	PH	.935	0.500
	SOLIDOS	.641	0.000

## Discusión de resultados

Los valores obtenidos para la variable sólidos sedimentables presentaron un promedio en el ingreso de la unidad de  $110 \pm 44$  miligramos por litro mientras que en la salida no se cumplió con la prueba de normalidad por lo que la mediana resulta en 28 miligramos por litro, implicando esto una remoción de sólidos sedimentables estimada en 75%. De acuerdo con la prueba no paramétrica de Wilcoxon si existen diferencias significativas entre los valores iniciales y finales de sólidos sedimentables.

El análisis realizado a la variable potencial de hidrógeno (pH), permitió determinar que, si existen diferencias significativas entre el valor medio de pH inicial y el final del estudio, dado que la significancia de la prueba T aplicada fue menor a 5%, por lo que el sistema Barrel-System modificado provoca un cambio significativo en esta variable.

La siguiente variable analizada corresponde a la concentración de demanda química de oxígeno, a la cual se le aplicó la prueba T para muestras relacionadas obteniéndose una significancia menor a 5%, lo que indica que, si existe una diferencia significativa entre el valor medio de DQO inicial y el final, resultando esto en una remoción promedio de DQO de 48%, con una concentración promedio inicial de  $1074 \pm 380$  miligramos por litro y una concentración final de  $556 \pm 126$  miligramos por litro.



En cuanto a la variable demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), se obtuvo una significancia menor a 5% en la prueba T para muestras relacionadas, por lo tanto, si existe una diferencia significativa entre el valor promedio de inicio y salida de DBO5 obtenido en el sistema Barrel-System, con una remoción estimada en 54% con una concentración promedio inicial de  $501 \pm 185$  miligramos por litro y una concentración final de  $231 \pm 68$  miligramos por litro.

Finalmente, la variable fósforo total (Pt) presentó un valor promedio inicial de  $17 \pm 10$  miligramos por litro y una mediana de 6 miligramos por litro en la salida (no cumplió con la prueba de normalidad), implicando esta diferencia un porcentaje de remoción de 65%. De acuerdo con la prueba no paramétrica de Wilcoxon si existen diferencias significativas entre los valores iniciales y finales de fósforo.

Como puede observarse con los resultados obtenidos, el sistema de filtración múltiple aplicado en el modelo Barrel-System modificado si logra reducciones significativas en las variables sólidos sedimentables, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y fósforo, asimismo se aprecia un cambio significativo en el potencial de hidrógeno, reduciendo el mismo.

Es importante observar que los valores mas bajos de remoción de DBO5 se observa cuando las concentraciones iniciales de DBO5 se encontraron por debajo de 451 miligramos por litro, mientras que con concentraciones superiores a esta concentración se obtienen remociones superiores a 50%, por lo que habrá que evaluar en futuros estudios este comportamiento observado en esta investigación.

Los resultados obtenidos en las reducciones de DBO5 y DQO demuestra que el sistema evaluado es capaz de manejar adecuadamente la carga orgánica y química presente en las aguas grises, contribuyendo a la mejora de la calidad del agua tratada.

Los resultados obtenidos utilizando el Barrel-System de este estudio son mejores que el estudio realizado por Hernández Juárez (2010) en un estudio utilizando siempre un sistema de filtros múltiples. Este autor obtuvo una remoción del 17.86% de DBO5 y 29.19% de DQO en el primer filtro, y una remoción del 18.50% de DBO5 y 31.45% de DQO en el segundo

filtro. Esta comparación demuestra la eficiencia de las características de la combinación de los filtros utilizados en el Barrel-System modificado.

Similar comportamiento se obtiene al comparar los resultados obtenidos en este estudio con la investigación realizada por León Urrutia (2022) quien obtuvo una remoción del 16% de DQO y 17% de DBO5 en el primer filtro, y del 13% de DQO y 15% de DBO5 en el segundo filtro integrados estos con geotextiles. Los resultados obtenidos por esta autora son inferiores a los alcanzados en este estudio con el Barrel-System modificado.

A pesar de lo expuesto, existen otros estudios que han utilizado distintos medios filtrantes para tratar aguas grises donde se han obtenido resultados muy similares a los de este estudio, tal como la investigación de Anaya Meléndez y colaboradores (2022) y Ángel Palomino (2019) quienes obtuvieron una remoción de DBO5 de 89% y 86% respectivamente. Estos valores se encuentran cercanos a la máxima remoción obtenida en este estudio de 79%, y por arriba de la remoción promedio de 54%.

En cuanto a la remoción de sólidos totales, el estudio de Ángel Palomino (2019) obtuvo un porcentaje de reducción de 90%, mientras que en este estudio para sólidos sedimentables se obtuvo un valor de 75%.

Finalmente es interesante observar que en la recopilación realizada por Bino y Al-Beirut (2007), sobre investigaciones utilizando medios filtrantes, estos presentan una remoción de DBO5 promedio 50%, similar al 54% obtenido en esta investigación.

## Conclusiones

El sistema Barrel-System modificado utilizado en este estudio alcanzó remociones de DQO de 48% y DBO de 54%, valores similares a los obtenidos en otros estudios que fueron recopilados por Bino y Al-Beirut (2007), con lo cual se confirma que este tipo de dispositivo puede aportar un proceso de tratamiento a las aguas residuales domésticas.

En cuanto a las remociones de sólidos sedimentables y fosforo total, se evidencia que sí existe una diferencia significativa entre sus valores iniciales y finales, sin

embargo, al no haberse cumplido la prueba de normalidad, no se puede concluir con el porcentaje de remoción para estas variables, por lo que deberá ampliarse el número de muestras y asegurar que estas se encuentren dentro de un rango controlado para evitar grandes desviaciones que no permitan determinar el valor de reducción.

El prototipo utilizado en este estudio puede modificarse al incorporar más módulos, para variar los tipos de filtros y evaluarlo en distintos entornos, a fin de abrir más oportunidades para futuras investigaciones e innovación orientadas a optimizar la capacidad del prototipo, así descubrir mejoras significativas en la eficiencia y el rendimiento.

### Agradecimientos

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis amigos, compañeros de estudio, colegas y compañeros de trabajo, por su apoyo inquebrantable. También deseo reconocer la comprensión y el apoyo de los profesores de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, en particular, a mi asesor, el ingeniero Zenon Much, por su valiosa orientación y conocimiento. Asimismo, agradezco al equipo de laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini, por su contribución invaluable, en especial al señor Adolfo Dubón, por el apoyo y el conocimiento brindado.

### Financiamiento

Este trabajo fue financiado con recursos propios del autor.

### Conflicto de interés

El autor declara no tener ningún tipo de conflicto de interés que pudiera haber influido en esta investigación.

### Como citar este documento

Pichiyá Umul, E.R. (2023). Evaluación de un sistema de tratamiento de agua gris domiciliar a base de filtros múltiples. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 18(2), Artículo e1521.  
<https://doi.org/10.36829/08ASA.v18i2.1521>

### Consentimiento informado

No aplica.

### Contribuciones de autor

Conceptualización, trabajo de campo, tabulación, análisis y escritura: E.R.P.U.

### Referencias

- Al-Hamaiedeh, H., & Bino, M. (2010). Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants. *Desalination*, 256(1-3).  
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.02.004>
- Al-Jayyousi, O. (2003). Greywater reuse: towards sustainable water management. *Desalination*, 156(1-3), 181-192.  
[https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(03\)00340-0](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(03)00340-0)
- American Public Health Association [APHA], American Water Works Association [AWWA] and Water Environment Federation [WEF]. (2023). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Lipps W.C, Braun Howland E.B, Baxter, T.E. Editors. 24<sup>th</sup> Edition. Washington D.C: APHA Press.
- Anaya Meléndez, F., Espinosa Descalzo, E.N., Loayza Pérez, J.E., Zamudio Castillo, R. A., & Yáñez López, M.A. (2022). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises claras para reuso como agua de riego. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 88(1), 52-62.  
<https://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v88i1.375>
- Ángel Palomino, J. R. (2019). *Evaluación del potencial de tratamiento de aguas grises domésticas con sustratos orgánicos y plantas utilizadas comercialmente en paredes verdes*. [Tesis de pregrado en Ingeniería Ambiental, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Los Andes].  
<http://hdl.handle.net/1992/45791>
- Argueta Gálvez, J. E., & Aguilar Carrera, F. A. D. (2017). Efectos de la variabilidad de concentraciones de nutrientes en un medio de algas clorofitas en agua residual. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 12(1), 26–33.  
<https://doi.org/10.36829/08ASA.v12i1.1426>
- Bino, M.J., Al-Beirut, S. (2007). *Studies of IDRC supported research on greywater in Jordan conducted by INWRDAM*. Inter-Islamic Network on Water Resources Development and Management (INWRDAM), Amman, JO.  
<https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/items/052709ba-ab87-43cb-8d6b-88a5464c859f>

- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, 4(1), 85-104.  
[https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4)
- Flowers, B. (2004). *Domestic water conservation: greywater, rainwater, and other innovations*. Standards Council of Canadian.
- Friedler, E., & Hadari, M. (2006). Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi storey buildings. *Desalination*, 190(1-3), 221-234.  
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.10.007>
- Hernández Juárez, J. R. (2010). *Alternativas para el tratamiento de las aguas grises de origen doméstico*. [Tesis de maestría, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala].  
[https://eris.ingenieria.usac.edu.gt/tesis\\_is](https://eris.ingenieria.usac.edu.gt/tesis_is)
- Hocaoglu, S., Insel, G., Ubay, E., Baban, A. & Orhon, D. (2010). COD fractionation and biodegradation kinetics of segregated domestic wastewater: black and grey water fractions. *Chemical Technology and Biotechnology*, 85(9), 1241-1249.  
<https://doi.org/10.1002/jctb.2423>
- León Urrutia, M. N. (2022). Oportunidades para el uso de geotextiles para el tratamiento de aguas grises. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 16(2), 27-33.  
<https://doi.org/10.36829/08ASA.v16i2.1325>
- Li, F., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment*, 407(11), 3439-3449.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.02.004>
- March, J.G., Gual, M., & Orozco, F. (2004). Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain). *Desalination*, 164(3), 241-247.  
[https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(04\)00192-4](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(04)00192-4)
- Morel, A., & Diener, S. (2006). *Greywater Management in low and middle-income countries, review of different treatment systems for households or neighbourhoods*. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland.  
<https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/947#>
- Narváez, L.E., Miranda, J.M., & Narváez, L. (2012). *Remoción de contaminantes de aguas grises mediante el uso de humedales artificiales en viviendas sustentables del estado de Querétaro*. Encuentro Nacional de Ecotécnicas.  
<https://www.researchgate.net/publication/233398876>
- Rojas, J. A. (1999). *Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño*. Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería.