

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Determinación de la eficiencia de un filtro lento para
tratamiento de aguas grises de lavadora y su reutilización en
riego y fines domésticos**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Katherine Hellen Diaz Amaya
Willian Andres Quispe Alvarez

Asesor:

Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas

Lima, abril 21 del 2021

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Mg. Joel Hugo Fernández Rojas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN FILTRO LENTO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES DE LAVADORA Y SU REUTILIZACIÓN EN RIEGO Y FINES DOMÉSTICOS**” constituye la memoria que presenta el (la) / los Bachiller(es) Katherine Hellen Diaz Amaya y Willian Andres Quispe Alvarez, para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 21 días del mes de abril del año 2021



Joel Hugo Fernandez Rojas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Naña, Villa Unión, a los 12 días día(s) del mes de abril del año 2021 siendo las 19:40 horas, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, el secretario: **Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio**, y los demás miembros: **Ing. Orlando Alan Poma Porras** y la **Ing. Nancy Curasi Rafael** y el asesor: **Mg. Joel Hugo Fernández Rojas**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Determinación de la eficiencia de un filtro lento para tratamiento de agua grises de lavadora y su reutilización en riego y fines domésticos"

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **KATHERINE HELLEN DIAZ AMAYA**

.....b) **WILLIAN ANDRES QUISPE ALVAREZ**

.....conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **KATHERINE HELLEN DIAZ AMAYA**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	Muy Bueno	Sobresaliente

Candidato (b): **WILLIAN ANDRES QUISPE ALVAREZ**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	Muy Bueno	Sobresaliente

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

 Presidente
 Mg. Milda Amparo
 Cruz Huaranga



 Secretario
 Mg. Jackson Edgardo
 Pérez Carpio

 Asesor
 Mg. Joel Hugo
 Fernandez Rojas

 Miembro
 Ing. Orlando Alan
 Poma Porras

 Miembro
 Ing. Nancy Curasi
 Rafael

 Candidato/a (a)
 Katherine Hellen Diaz
 Amaya

 Candidato/a (b)
 Willian Andres Quispe
 Alvarez

Determinación de la eficiencia de un filtro lento para tratamiento de aguas grises de lavadora y su reutilización en riego y fines domésticos

Determination of the efficiency of a slow filter for treating gray water from a washing machine and its reuse in irrigation and domestic purposes

Katherine Hellen-Diaz Amaya. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Peruana Unión. Lima, Perú.
<https://orcid.org/0000-0002-5157-021X>. hellendiaz@upeu.edu.pe

Willian Andres-Quispe Alvarez. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Peruana Unión. Lima, Perú.
<https://orcid.org/0000-0002-8852-5957>. willianquispe@upeu.edu.pe

Resumen

La reutilización de las aguas grises tratadas es una alternativa frente a la escasez del agua potable y al manejo inadecuado de efluentes. Por ello, en esta investigación se implementó un filtro lento con el objetivo de determinar su eficiencia en el tratamiento de DBO₅, DQO y detergentes en aguas grises provenientes de lavadoras utilizadas en viviendas, para posteriormente, ser empleadas en riego y fines domésticos.

Se realizó la captación del agua gris de la lavadora en un tanque de 120 litros por cada día, el agua gris colectada a fue pasada independiente por el filtro lento (tratamiento). Así, el DBO₅, DQO y detergentes fueron medidos antes y después del tratamiento en el periodo de funcionamiento en los días 7, 14, 21 y 28.

Los resultados mostraron una eficiencia de remoción del 99.31%, 98.74% y 99.04% para DBO₅, DQO, y detergentes, respectivamente. Además, los resultados obtenidos para los parámetros mostraron valores debajo del ECA Agua nacional.

Palabras claves: *agua gris, tratamiento, filtro lento, lavadora, reutilización*

Abstract:

The reuse of treated gray water is an alternative to the shortage of drinking water and the inadequate handling of effluents. For this reason, in this research a slow filter was implemented in order to determine its efficiency in the treatment of BOD5, COD and detergents in gray water from washing machines used in homes, to later be used for irrigation and domestic purposes.

The gray water from the washing machine was collected in a 120-liter tank for each day, the gray water collected was passed independently through the slow filter (treatment). Thus, BOD5, COD and detergents were measured before and after treatment in the operating period on days 7, 14, 21 and 28.

The results show a removal efficiency of 99.31%, 98.74% and 99.04% for BOD5, COD, and detergents, respectively. In addition, the results obtained for the update parameters values under the National Water ECA.

Keywords: *gray water, treatment, slow filter, washing machine, reuse*

1. Introducción

A mayor demanda del recurso hídrico mundialmente, la disponibilidad del agua (déficit) se convierte en un problema actual y complejo, como consecuencia del excesivo consumo humano, el desarrollo económico, cuyo recurso podría empeorar producto del cambio climático (Meléndez et al., 2019; WWAP, 2018).

Por ello, se ha visto la necesidad de buscar soluciones alternativas para minimizar y reusar este recurso empleado en diferentes actividades, ya que el tratar las aguas grises implica una solución frente a la escasez del agua, además al reutilizar las aguas tratadas ayuda en la conservación de fuentes naturales y reduce la cantidad de efluentes vertidos a los cuerpos de agua (Marecos do Monte, 2010; Martínez et al., 2017). Así también, es una alternativa confiable de conservación y económica porque busca reducir costos frente al uso del agua potable (WWAP, 2017).

Las aguas grises son aquellas provenientes de diversas actividades como lavaderos, duchas, lavadoras, etc., las cuales representan un flujo importante de agua en cada domicilio. Estas aguas grises comparado a las aguas residuales negras son más fáciles de tratar por la cantidad de contaminantes (jabón, detergentes, suciedad o bacterias) presentes en esta (Cuba Tello et al., 2019; Allen, 2015).

Existen diferentes métodos y formas de realizar el tratamiento de aguas residuales, los cuales son implementados según el grado de contaminación que se presente (Velarde et al., 2019). Uno de los tratamientos primarios utilizados es la filtración, la cual consiste en pasar las aguas grises a través de diferentes capas de materiales, las cuales se encargan de retener los contaminantes no deseados, dando como resultado agua tratada con mejores características fisicoquímicas y/o microbiológicas que la inicial (Palmer et al., 2018).

Madueño et al., (2018) planteó una solución para reducir el uso de agua potable en una institución educativa, tratando las aguas residuales grises usando un filtro lento para ser reutilizadas en el riego de un biohuerto, logrando reducir el consumo de agua potable y ahorrando costos. Así también, Palmer & Corpus, (2018) validó que los filtros lentos contribuyen al manejo de los efluentes domésticos, principalmente de las aguas grises, al darle un uso como agua de riego. (Velarde et al., 2019) ratifica el tratamiento de aguas grises de lavadora mediante filtración lenta ayuda a aprovechar y reutilizar el agua después de cada proceso de lavado evitando el desperdicio del recurso y disminuyendo el costo por consumo de agua en los hogares.

Ante el constante mal manejo de agua potable en hogares se planteó una alternativa de reúso de aguas grises. Por ello, esta investigación tuvo por objetivo determinar la eficiencia de un filtro lento para tratar aguas grises provenientes de una lavadora, y poder reutilizar el agua tratada en el riego y fines domésticos; logrando un

manejo adecuado de los efluentes, minimizando el consumo de agua potable al reutilizar el agua tratada y ahorrando costos por el servicio de agua.

2. Materiales y Métodos

2.1. Lugar de ejecución

El lugar donde se diseñó e implementó el filtro lento fue al interior de una vivienda unifamiliar de un área de 500 m² con área verde de 40 m², ubicada en el Centro poblado Virgen del Carmen - La Era, distrito de Lurigancho, Lima - Perú (11°58'45.4"S y 76°50'22.7"W).

2.2. Diseño del filtro

El filtro lento fue diseñado, tomando en consideración los criterios de captación de una lavadora de 14 kilos compuesta por una tubería de salida de PVC de ½" con un caudal 0,1 m³/hora - 0,3 m³/hora (OPS, 2005). Para ello, se utilizaron 2 tanques de plásticos adaptados de 120 litros, válvulas y conectores de PVC ½", codos de 90° ½" PVC, llaves de ½" PVC, y 1 tanque de 60 litros con material filtrante (punto 2.3). Para la conducción de las aguas grises hacia el filtro se usó el mismo flujo de la lavadora. Previo al proceso de filtración, se dejaron pasar las primeras aguas grises por el filtro con el objetivo de estabilizar el caudal de filtración.

2.3. Material Filtrante

Se colocó dentro del tanque de plástico de capacidad de 60 litros (altura de 60 cm y radio de 17 cm) el material filtrante mediante en el siguiente orden: i) grava para cubrir el drenaje ii) carbón activado, iii) arena fina, iv) arena gruesa y v) grava, considerando la altura proporcionada en la Tabla 1.

Tabla 1.

Lechos del Filtro (mm)

Lechos	Tipo	Diámetro de Partícula (mm)	Espesor de Lecho (mm)
Primera (Drenaje)	Grava	10 - 25	100
Segunda	Carbón activado	0.1 - 1	50
Tercera	Arena fina	1 - 2	50
Cuarta	Arena gruesa	2 - 5	50
Quinta	Grava	10 - 25	50

2.4. Procedimiento experimental

Una vez terminado el filtro, este fue implementado en la vivienda. La lavadora fue conectada al primer tanque, donde las aguas grises provenientes de ésta eran almacenadas (proceso que duraba entre 7 a 9 minutos), por consiguiente, esta agua fue impulsada hacia el segundo tanque (filtro lento) por el propio flujo de la lavadora, por donde transcurría por los lechos filtrantes reteniendo los contaminantes. Por último, el agua filtrada fue almacenada en un tercer tanque para ser reutilizado para fines domésticos o riego (Figura 1)

Figura 1.

Esquema General del Proyecto



2.5. Toma y Análisis de muestras

Para determinar la eficiencia del filtro implementado se analizó el funcionamiento por 28 días consecutivos, trabajando el filtro 2 horas al día. Se realizaron muestreos en los bidones antes y después del filtro, se tomaron 8 muestras en cuatro semanas (día 7, 14, 21 y 28), un pre y post. Los parámetros analizados fueron DBO_5 , DQO y Detergentes. Así también cabe recalcar que se midió el tiempo de filtración por 28 días. El ensayo, metodología y unidades empleadas para determinar los parámetros arriba mencionados se encuentran en la Tabla 2.

Tabla 2.

Metodología de ensayo

Ensayo	Método	Unidades
DBO_5	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test. 22nd Edition, 2012.	mg/L

DQO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method. 23rd Edition, 2017.	mg/L
S.A.A.M. (Detergentes)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5540 C. Surfactants. Anionic Surfactants as MBAS. 23rd Edition, 2017.	mg/L

Fuente: Laboratorio SAG

3. Resultados y Discusión

En la Tabla 3 se muestra los resultados de las muestras tomadas durante 4 semanas (días 7, 14, 21 y 28), antes y después de ser tratadas con el filtro lento para el DBO₅, DQO y detergentes. Además, el porcentaje de remoción también es reportado.

Tabla 3.

Resultados del Antes y Después de la Filtración con Porcentaje de Remoción

Semana	Muestras	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	Detergentes (mg/L)
1	Agua Gris	624	985	2
	Agua tratada	4.5	12.5	0.01
	% de remoción	99.28	98.73	99.50
2	Agua Gris	638	975	3
	Agua tratada	4.1	12.2	0.03
	% de remoción	99.36	98.75	99.00
3	Agua Gris	626	965	2
	Agua tratada	4.4	12.4	0.02
	% de remoción	99.30	98.72	99.00
4	Agua Gris	620	996	3
	Agua tratada	4.4	12.4	0.04
	% de remoción	99.29	98.76	98.67

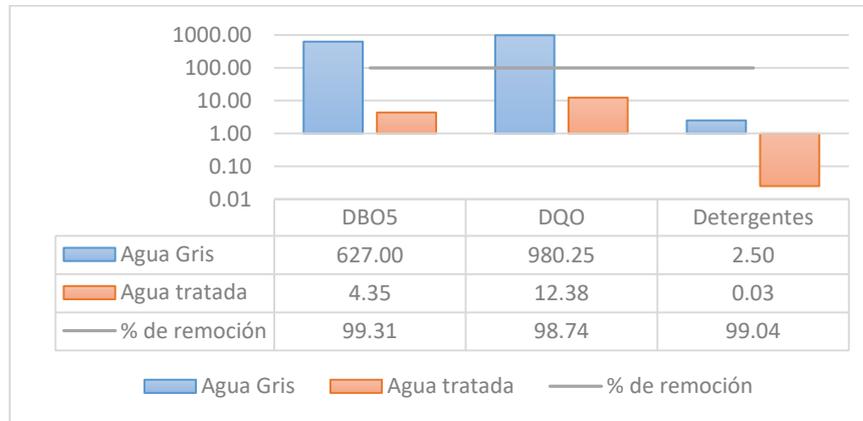
Según lo observado de la Tabla 3, existe una mayor remoción de detergentes (99.50%) en la muestra de la primera semana, y menor remoción en las semanas siguientes, por el contrario, se observó mayor remoción de DQO (98.76%) en la última semana y el DBO₅ en la segunda semana (99.36%).

Análisis del promedio de los resultados de las 4 semanas

En la Figura 2 se observa el promedio de los valores del efluente del agua, antes (columnas azules) y después de la filtración (columnas anaranjadas), se aprecia la diferencia en cada uno de los parámetros analizados.

Figura 2.

Promedio de Resultados de Análisis del Agua Gris y Agua Tratada



El promedio de los resultados de las muestras analizadas del agua gris y tratada en las cuatro semanas (análisis en los días 7, 14, 21 y 28), muestran el ingreso del agua gris con DBO₅ de 627 mg/l, DQO con 980.25 mg/l y detergentes con 2.50 mg/l, luego de pasar por el filtro lento se obtuvieron valores reducidos, siendo la salida promedio de 4.35 mg/l, 12.38 mg/l y 0.03 mg/l de DBO₅, DQO y detergentes, respectivamente, obteniendo una remoción de los contaminantes significativa.

Cuba et al., (2019) trató las aguas grises de una lavadora con el método de electrocoagulación con una intensidad de 5 amperios, obteniendo una remoción de 99.02% turbiedad, 90.83% DQO y 95.93% SST, logrando el rango permisible para su uso en riego de vegetales.

Velarde et al., (2019) para el tratamiento de agua gris de lavadora aplicó alumbre como coagulante, dejando reposar de 30 a 60 minutos el agua, antes de pasar por el filtro pequeño que consistía en carbón vegetal, algodón y una rejilla de plástico, obteniendo agua más limpia, la cual fue reutilizada en fines domésticos.

Análisis de comparación de resultados con el ECA AGUA

En la Figura 3 muestra los valores promedios del agua gris tratada (columnas azules) en comparación con el ECA AGUA (columnas verdes). Mientras que el agua tratada muestra valores promedio de DQO 12.38 mg/l, DBO₅ 4.35 mg/l y detergentes 0.03 mg/l, el ECA AGUA tiene los estándares de DQO 40 mg/l, DBO₅ 15 mg/l y Detergente 0.2 mg/l.

Figura 3.

Comparación de Agua Gris Tratada con el ECA AGUA



Esto comprueba que el agua tratada se encuentra dentro de los Estándares de Calidad Ambiental para agua, el D.S. 004-2017-MINAM, en la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.

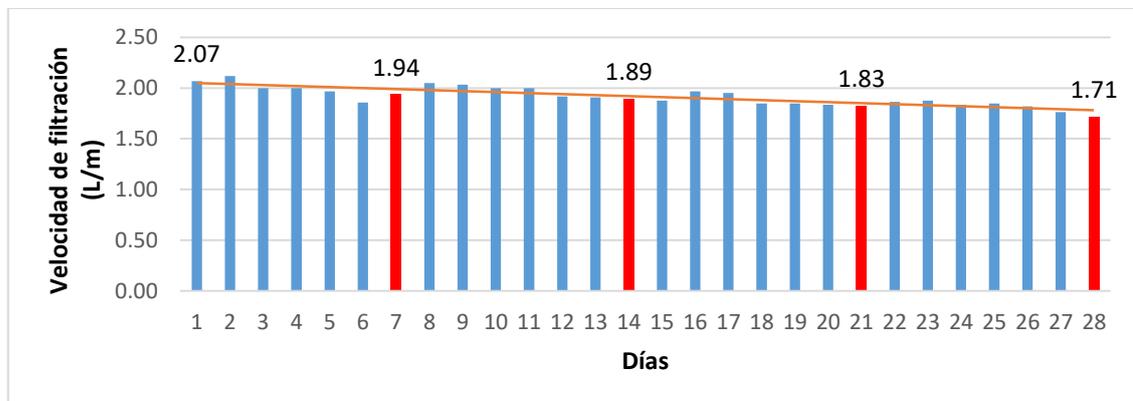
Por otro lado, Palmer et al., (2018) aplicó un filtro lento para tratamiento de aguas grises, logrando un 98% de remoción de turbiedad para el riego de dos biohuertas, pero sin lograr los parámetros establecidos por la normativa colombiana de la Resolución 2115 de 2007.

Análisis de la velocidad de filtración en 28 días

En la figura 4 se observa la velocidad de filtración (L/m) por cada día de funcionamiento de filtro

Figura 4.

Velocidad de Filtración.



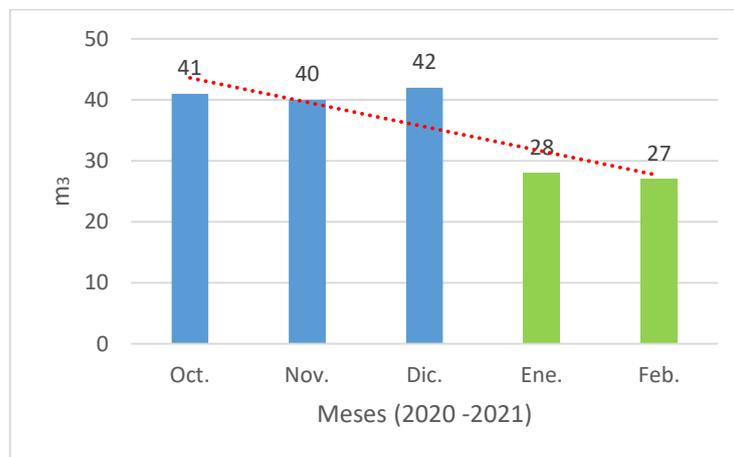
Se observa una tendencia de disminución en las velocidades tomadas por 28 días, lo que indica que, en este periodo, el filtro tuvo una saturación por cada lavado, e irá aumentando con los siguientes meses hasta realizar el mantenimiento.

Análisis del consumo de agua potable en la vivienda

En la Figura 5 se aprecia el consumo de agua (m^3) en los tres meses, antes de la implementación del filtro (octubre, noviembre y diciembre), con los dos meses en los que el filtro estaba operativo (enero y febrero).

Figura 5.

Consumo de Agua Potable por Mes.



Con la implementación del filtro lento en la lavadora se pudo lograr reducir el consumo de agua potable; como se puede apreciar en la gráfica 4, los meses de octubre a diciembre del año 2020 (columnas azules) tuvieron mayor consumo de agua en comparación a los meses de enero y febrero del año 2021 (columnas verdes), meses donde se implementó el filtro lento, pues el agua gris tratada se usó en otras actividades de la vivienda como el riego de plantas, lavado de superficies, entre otros mostrando una diferencia de $14 m^3$ en la reducción del agua mensualmente.

Sin embargo, Madueño et al., (2018) logró reducir el consumo de agua potable en una institución educativa aplicando el tratamiento de filtración para aguas grises, ya que el consumo era de $33.6 m^3$ para el riego de áreas verdes, así también, se aplicó un sistema de riego por goteo, logrando reducir $22.8 m^3$ mensuales.

4. Conclusiones

El filtro lento trabajó eficientemente en la remoción de DBO_5 , DQO y detergentes en las aguas grises de lavadora, logrando un porcentaje de remoción de 99.31%, 98.74% y 99.04% respectivamente.

Se logró cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental del agua para riego y bebidas de animales, ya que el agua gris tratada estaba dentro de los estándares.

Para la recuperación de las aguas grises de lavadora fue factible aplicar el sistema de tratamiento de filtración, ya que es fácil de ejecutar y tiene un precio módico.

La implementación del filtro fue beneficiosa, ya que se pudo lograr reducir el consumo de agua potable en la vivienda en 14 m³ mensuales, además de que la reutilización del agua filtrada es un mecanismo que contribuye al medio ambiente.

5. Referencias

Allen, L. (2015). *Manual de diseño para manejo de aguas grises*. <http://www.greywateraction.org>

Cuba Tello, M. V., Alcocer Meneses, P., & Pacheco Ortíz, M. (2019). Tratamiento de agua residual procedente de lavadoras por el método de electrocoagulación para la reutilización en riego de vegetales – Ate Vitarte. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 22(44), 65–74. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v1i1.17287>

Madueño Valdez, L. F., Meza Pinedo, M., & Rashta Maguiña, C. A. (2018). Tratamiento y reuso de aguas grises mediante un filtro lento de arena. *Revista TECNIA*, 28(1). <https://doi.org/10.21754/tecnia.v28i1.190>

Marecos do Monte, H., & Albuquerque, A. (2010). *Reutilização de Águas Residuais* (Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ed.); Entidade R). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. https://www.pseau.org/outils/ouvrages/esrar_guia_14_reutilizacao_de_aguas_residuais.pdf

Martínez Henao, P. N., Calderón Casallas, C. A., & Ruiz Ortiz, C. A. (2017). Metodología para el diseño de un biorreactor secuencial. *Ingenium*, 18(36), 11–25. <http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=a463a646-fb98-439b-91c0-59c7b02bbdeb%40pdc-v-sessmgr02>

Meléndez-Pérez, J. A., Lemos-Lima, M. M. C., Dominguez, I., & Oviedo-Ocaña, E. R. (2019). Reutilización de aguas grises domésticas para el uso eficiente del recurso hídrico: aceptación social y análisis financiero. Un caso en Portugal. *Revista UIS Ingenierías*, 18(1), 223–236. <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n1-2019020>

OPS. (2005). *Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas*.

Palmer Cantillo, S., & Corpus, W. (2018). Diseño e implementación de un filtro para

tratamiento de aguas grises en la aplicación de un sistema de riego para una huerta casera en San Andrés Islas, Colombia. *LOGINN Investigación Científica y Tecnológica*, 2(1). <https://doi.org/10.23850/25907441.1662>

Velarde, F., Sianca, E., Castro, G., Him, L., & Gómez, M. (2019). Tratamiento y reutilización del agua residual de lavadora. *Revista de Iniciación Científica*, 4(2), 36–39. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.2.2149>

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017 Aguas Residuales El recurso desaprovechado. In *ONU-Agua*. UNESCO. <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/>

WWAP (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos). (2018). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018 Soluciones Basadas en la Naturaleza para La Gestión del Agua. In *ONU-Agua*. <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/>